

YA.T. YUSUPOV

RADIOTEXNIK SISTEMALAR NAZARIYASI ASOSLARI



O'ZBEKISTON RESPUBLIKASI
OLIY VA O'RTA MAXSUS TA'LIM VAZIRLIGI

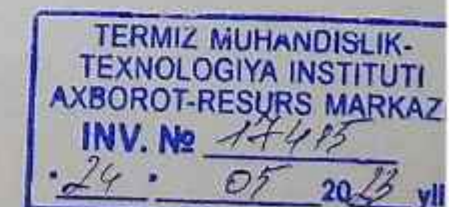
Ya.T. Yusupov

RADIOTEXNIK SISTEMALAR NAZARIYASI ASOSLARI

“5350700-Radioelektron qurilmalar va tizimlar” bakalavriat
ta'lim yo'nalishi talabalari uchun darslik

*O'zbekiston Respublikasi oliy va o'rta maxsus ta'lim vazirligi
tomonidan darslik sifatida tavsiya etilgan*

«BOOK TRADE KO»
Toshkent-2022



UO'K: 621.396.96
K BK: 32.96

Yusupov Ya.T. Radiotexnik sistemalar nazariyasi asoslari. Darslik. – T.: «BOOK TRADE KO», 2022. – 436 bet.

Darslikda radiotexnik tizimlar haqida umumiy tushunchalar, radiotexnik tizimlarda signallar va xalaqitlar hamda signallarni aniqlash, farqlash va ajratish nazariyasi asoslari ko'rib chiqilgan. Shuningdek axborot uzatish radiotexnik tizimlari, radiolokatsiya va radionavigatsiya tizimlari, radioboshqaruv tizimlarining turlari, fizik asoslari, tuzilishi va ishlash prinsiplari hamda xarakteristikalar etarli darajada keng yoritilgan.

Matada sodda tilidan foydalanilgan va asosiy e'tibor ko'rilayotgan hodisa va jarayonlarning fizik asoslariga qaratilgan. Darslikdagi material tushunishga oson bo'lishi uchun ko'p sonli rasmlar bilan to'ldirilgan.

Darslik oliy o'quv yurtlarining "5350700-Radioelektron qurilmalar va tizimlar" bakalavriat ta'lim yo'nalishi talabalari uchun mo'ljallangan.

В учебнике рассмотрены общие сведения о радиотехнических системах, сигналах и помехах в радиолокационных системах, основы теории обнаружения, различения и разрешения сигналов. А также в достаточной степени освещены виды, характеристики, физические основы, построения и принципы работы радиотехнических систем передачи информации, радиолокационных, радионавигационных систем, и систем радиоуправления.

В тексте использован относительно простой язык и главное внимание обращено на физическую сторону рассматриваемых явлений и процессов. Для облегчения понимания излагаемого материала учебник иллюстрирован большим количеством рисунков.

Учебник предназначен для студентов высших учебных заведений, обучающихся по направлению обучения «5350700-Радиоэлектронные устройства и системы».

The textbook covers general information about radio engineering systems, signals and interference in radar systems, the basics of the theory of detection, discrimination and resolution of signals. And also the types, characteristics, physical foundations, constructions and principles of operation of radio engineering systems for transmitting information, radar, radio navigation systems, and radio control systems are adequately covered.

The text uses a relatively simple language and focuses on the physical side of the considered phenomena and processes. To facilitate understanding of the material presented, the textbook is illustrated with a large number of figures.

The textbook is intended for students of the higher educational institutions studying in the direction of training "5350700-Radioelectronic devices and systems".

O'zbekiston Respublikasi Oliy va o'rta maxsus ta'lim vazirligining 2021 yil 23-noyabrda 500-sonli buyrug'i ga asosan O'zbekiston Respublikasi Vazirlar Mahkamasi tomonidan litsenziya berilgan nashriyotlarda nashr etishga ruxsat berilgan.

Tag'rizchilar:

Raximov B.N. – O'zbekiston Respublikasi Mudofaa Vazirligi Axborot kommunikatsiya texnologiyalari va aloqa harbiy instituti boshlig'ining o'quv va ilmiy ishlar bo'yicha birinchi o'rinbosari, t.f.d., professor.

Yarmuhamedov A.A. – Islom Karimov nomidagi Toshkent davlat texnika universiteti "Radiotexnik qurilmalar va tizimlar" kafedrasini mudiri, t.f.n., dotsent.

ISBN: 978-9943-8561-7-2

© Yusupov Ya.T., 2022-yil.
© «BOOK TRADE KO» nashriyoti, 2022-yil.

QISQARTMALAR

- | | | |
|-----|-------|---|
| 1. | A | – antenna |
| 2. | ABT | – axborotni buzish tizimi |
| 3. | AchOT | – axborotni chiqarib olish tizimi |
| 4. | AChX | – amplituda-chastota xarakteristikasi |
| 5. | AD | – amplituda detektori |
| 6. | AG | – avtogeneratedor |
| 7. | AK | – aloqa kanali |
| 8. | AKF | – avtokorrelyatsiya funksiyasi |
| 9. | AL | – aloqa liniyasi |
| 10. | AM | – amplituda modulyatsiyasi |
| 11. | Amb | – axborot manbai |
| 12. | AO | – axborot oluvchi |
| 13. | ARO | – analog raqam o'zgartirgich |
| 14. | AUT | – axborot uzatish tizimi |
| 15. | AYD | – antenna yo'naltirilganlik diagrammasi |
| 16. | BE | – boshqaruvchi element |
| 17. | BG | – boshqaruvchi generator |
| 18. | ChA | – chastota almashtirgich |
| 19. | ChBA | – chastota bo'yicha ajratish |
| 20. | ChD | – chastota detektori |
| 21. | ChE | – chiziqli element |
| 22. | ChFAS | – chastotani fazaviy avtomatik sozlash |
| 23. | ChK | – chastota ko'paytirgich |
| 24. | ChM | – chastota modulyatsiyasi |
| 25. | ChO | – chastota o'zgartirgich |
| 26. | ChS | – chastota sintezatori |
| 27. | DK | – dekoder |
| 28. | Dm | – demodulyator |
| 29. | EM | – elektr manbai |
| 30. | YeSY | – Yer sun'iy yo'ldoshi |
| 31. | FChX | – faza chastota xarakteristikasi |
| 32. | FD | – faza detektori |
| 33. | FIK | – foydali ish koeffitsiyenti |
| 34. | FM | – faza modulyatsiyasi |
| 35. | IKM | – impuls kod modulyatsiyasi |

36. IM – impuls modulyatsiyasi
37. KA – kosmik apparat
38. KAB – kuchaytirishni avtomatik boshqarish
39. KAM – kvadratura amplituda modulyatsiyasi
40. KBA – kod bo'yicha ajratish
41. KIM – kenglik impuls modulyatsiyasi
42. KQ – kuchaytirish qurilmasi
43. KSRAT – ko'chma sotali radioaloqa tizimlari
44. KVA – kanallarni vaqt bo'yicha ajratish
45. M – modulyator
46. MChM – minimal chastota modulyatsiyasi
47. MF – moslashgan filtr
48. MTA – musbat teskari aloqa
49. NE – nochiziqli element
50. NFD – nisbiy faza detektori
51. NFMp – nisbiy faza manipulyatsiyasi
52. NRZ – nochiziqli radiotexnik zanjir
53. O'KF – o'zaro korrelyatsiya funksiyasi
54. OChF – oraliq chastota filtri
55. OChK – oraliq chastota kuchaytirgichi
56. OK – operatsion kuchaytirgich
57. PChF – past chastotalar filtri
58. PChK – past chastotalar kuchaytirgichi
59. PK – parametrik kuchaytirgich
60. PTK – Psevdotasodifiy ketma-ketlik
61. QQ – qabullash qurilmasi
62. RAK – radioaloqa kanali
63. RAO' – raqam analog o'zgartirgich
64. RBT – radioboshqaruv tizimi
65. REH – radioelektron himoya
66. REK – radioelektron kurash
67. REV – radioelektron vosita
68. RF – raqamli filtr
69. RK – radiokanal
70. RLS – radiolokatsion stansiya
71. RLT – radiolokatsiya tizimi
72. RNT – radionavigatsion tizim

73.	RQQ	– radioqabullash qurilmasi
74.	RTT	– radiotexnik tizim
75.	RUQ	– radiouzatish qurilmasi
76.	S/X (SXN)	– signal xalaqit nisbati
77.	SAT	– sotali aloqa tizimlari
78.	SD	– sinxron detektor
79.	ShSS	– shovqinsimon signal
80.	SQQ	– signal qabullash qurilmasi
81.	SRIB	– signallarga raqamli ishlov berish
82.	SS	– siklik sinxronizatsiya
83.	SShN	– signal shovqin nisbati
84.	SYA	– sun'iy yo'ldoshli aloqa
85.	TG	– tayanch generatori
86.	TK	– tebranish konturi
87.	TS	– takt sinxronizatsiyasi
88.	UQ	– uzatish qurilmasi
89.	VBA	– vaqt bo'yicha ajratish
90.	XM	– xabar manbai
91.	YuChF	– yuqori chastotalar filtri
92.	YuChK	– yuqori chastotalar kuchaytirgichi

KIRISH

XX asr radiotexnik tizimlarning paydo bo'lish va tezkorlik bilan rivojlanish davri bo'ldi. Radiotexnik tizimlarsiz inson faoliyatining va jamiyatning rivojlanishini tasavvur qilib bo'lmaydi. Radiotexnik tizimlardan davlatni boshqarishda, sanoatda, transportda, radioaloqa, radioeshittirish, teleko'rsatuvlar, qishloq xo'jaligida, ta'lim sohasida, ilmiy tadqiqot ishlarida, madaniyatda va boshqa bir qator sohalarda foydalaniladi.

Radiotexnik tizimlarida axborot texnologiyalarini o'rganish radioinjenerlarni tayyorlashda asosiy o'rinni egallaydi. Ammo radiotexnik tizimlar bo'yicha mutaxassislarni tayyorlash ma'lum qiyinchiliklarga duch kelmoqda, bulardan asosiylari quyidagilar hisoblanadi. Turli vazifalarni bajaruvchi radiotexnik tizimlar qo'llanish sohasiga qarab tezkorlik bilan kengayib bormoqda. Masalan, axborot uzatish uchun: troposfera, radiorele, sun'iy yo'ldosh orqali aloqa, sotali aloqa, radioeshittirish, teleko'rsatuv, radioteleometriya, radiotelemedisina, radioboshqaruv, radioelektron kurash va boshqalarni keltirish mumkin. Bundan tashqari radiosignallardan foydalanib axborot ajratib olishdan radiolokatsiya, radionavigatsiya, masofadan atrof muhitni tahlil qilish (zondlash), foydali qazilmalarni qidirib topish, yer yuzasi holatini – ko'rinishini aniqlashda, radiotexnik razvedka va boshqa sohalarda ham keng foydalaniladi.

Radiotexnik tizim (RTT) larda foydalanilayotgan axborot texnologiyalari so'nggi 20-25 yilda jadallik bilan rivojlanmoqda. Bunda qatoriga signallarga raqamli ishlov berish va ularni shakllantirish, integral va maxsus amallarni bajaradigan – funksional elektronika, gibrid integral sxemalar, radiotexnik tizimlarning imkoniyatlarini yanada kengaytiruvchi qattiq jism – o'ta yuqori chastota qurilmalaridan foydalanish vaqt birligida ishlov berilishi va foydalanishi mumkin bo'lgan axborot hajmining keskin kattalashishi, natijada bungacha yechilishi kerak bo'lgan bir qator masalalarni hal etish imkoniyati yaratildi.

Ohirgi yillarda adaptiv radiotexnik tizimlarning yaratilishi va undan foydalanish natijasida ular tashqi xalaqitlar ta'sirida ishlashga moslashishi, radioto'lqinlar tarqalish xususiyatlariga moslashishi va boshqalar asosida qo'yilgan vazifani talab darajasida sifatli bajarish imkoniyati paydo bo'ldi.

Yuqorida keltirilgan turli sohalarda foydalanishga mo'ljallangan radiotexnik tizimlar o'zlarining tuzilishlari bo'yicha bir qator umumiy qismlarga ham ega.

Ushbu darslikda asosiy e'tibor raqamli radiotexnik tizimlarning umumiy tuzilish tarkibi, bajaradigan vazifalar turlariga qarab ularning texnik

ko'rsatkichlari va ushbu ko'rsatkichlarni talab darajasida bo'lishini ta'minlash usullariga alohida e'tibor berilgan.

Darslik qisqartmalar, kirish, 7 ta bob, glossariy, adabiyotlar ro'yxati va ilovadan iborat bo'lib, fanning o'quv dasturi asosida tayyorlangan. Darslikning oxirida glossariy keltirilgan bo'lib, atamalarning rus va ingliz tilidagi tarjimasi ham berilgan.

Ushbu darslik "5350700- Radioelektron qurilmalar va tizimlar" bakalavriat ta'lim ta'lim yo'nalishi bo'yicha bakalavrlar tayyorlashga mo'ljallangan bo'lib, undan sohaga qiziquvchi muhandislar ham foydalanishlari mumkin.

Shuningdek, mazkur darslikni tayyorlashda so'ngi yillarda chop etilgan bir qator xorijiy adabiyotlardan ham keng foydalanildi. Masalan, darslikning 2-, 3-, 6- boblari [5-7] adabiyotlarning bo'limlaridagi materiallar asosida tayyorlangan.

Ushbu darslik muallifning bir necha yillar davomida talabalarga radiotexnik tizimlar nazariyasi, radiolokatsiya va radionavigatsiya tizimlari kabi kurslar hamda bir qator turdosh fanlardan o'qigan maruzalari asosida davlat tilida tayyorlangan. Muallif ushbu darslik mazmuni va undagi kamchiliklar haqida o'z fikr-mulohazalarini bildirganlarga avvaldan o'z minnatdorligini bildiradi.

Muallif ushbu o'quv adabiyotining yaxshilanishi yo'lida bildirgan fikr-mulohaza va takliflari uchun Islom Karimov nomidagi Toshkent davlat texnika universiteti "Radiotexnik qurilmalar va tizimlar" kafedrası professori, t.f.d. A.M. Nazarovga, hamda taqrizchilar: Islom Karimov nomidagi Toshkent davlat texnika universiteti "Radiotexnik qurilmalar va tizimlar" kafedrası mudiri, t.f.n. A.A. Yarmuhamedovga hamda O'zbekiston Respublikasi Mudofaa Vazirligi Axborot kommunikatsiya texnologiyalari va aloqa harbiy instituti boshlig'ining o'quv va ilmiy ishlar bo'yicha birinchi o'rinbosari, t.f.d., professor B.N. Raximovga o'z minnatdorligini izhor etadi.

1. RADIOTEXNIK TIZIMLAR HAQIDA UMUMIY TUSHUNCHALAR

Ushbu bobda radiotexnik tizim (RTT)larning hozirgi axborot globallashuv davrida tutgan o'rni, ularning bir-biridan farqlanishi, shu bilan birga radiotexnik tizimning taktik va texnik xarakteristikalari, ulardagi energetik munosabatlar, bundan tashqari radiotexnik tizimlarning kelajak rivojlanish yo'nalishlari yoritilgan.

1.1. Radiotexnik tizimlarning hozirgi zamon jamiyatida tutgan o'rni

Radiotexnik tizim deb axborotlarni uzatish, chiqarib olish va o'zgartirish bilan bog'liq bo'lgan yagona vazifa yoki bir qator vazifalarni maqsadli bajarishga mo'ljallangan, o'zaro bog'langan qurilma va vositalarning majmuiga aytiladi.

Radiotexnik tizimning axborotlarni uzatuvchi, qabul qiluvchi va o'zgartiruvchi boshqa tizimlardan asosiy farqi shundaki, RTTlarda axborot tashuvchi bu radiosignal hisoblanadi. RTTning apparatura qismida bu signallar tok va kuchlanish ko'rinishida; atmosferada, kosmik fazoda, yo'naltiruvchi sun'iy liniyalarda esa elektromagnit to'lqin ko'rinishida namoyon bo'ladi.

Insoniyat jamiyati rivojlangan sari, tezkorlik bilan axborot almashishga, ularni turli signallardan ajratib olishga, ularga ishlov berish va turli usullarda ularni saqlash, shu jumladan elektron shaklda saqlashga bo'lgan talab yuqori tezlik bilan oshib bormoqda. Ishlab chiqarish hajmining oshib borishi natijasida ularni yaratishda qatnashadigan mutaxassisliklarning turi va boshqalar ko'payib bormoqda. Ishlab chiqarishning o'sishiga qaraganda, ushbu o'sishni ta'minlash uchun kerak bo'lgan ishlab chiqarishni kengaytirish koeffitsienti kvadratiga teng bo'lgan axborot talab qilinadi. Xo'jalik sohasida axborot almashish har yili 10...15% oshib bormoqda. Xalq xo'jaligini boshqarish, korxonalar, birlashmalar, hattoki kichik fermerlik va ishlab chiqarish korxonalarining bugungi ish faoliyatida ham axborot almashish katta ahamiyatga ega. Shuning uchun ham keyingi yillarda O'zbekistonning hamma davlat boshqaruv organlari, bank tizimi, soliq, axborot resurs markazlarida va boshqalarda tezkorlik bilan axborot almashish imkoniyatini beruvchi yagona davlat axborot almashuv tizimini tashkil etishga, undan keng va samarali foydalanishga katta ahamiyat berilmoqda.

Misol uchun, transport tizimining, ayniqsa havo transporti tizimining rivojlanishi ob-havo, samolyotlar qatnovi haqidagi va ularni boshqarishga tegishli axborotlar bilan ta'minlashni talab etadi.

Insonlar yashash sharoitlarining kundan kunga yaxshilanib bormoqda. Insonlar uchun axborotlar almashish hajmining oshishi shu hududda yoki mahallada, davlatda yashovchi aholi sonining oshishiga qaraganda yuqori sur'atlik bilan ortib bormoqda. Jamiyatning tezkorlik bilan rivojlanishida texnik vositalar, birinchi navbatda turli radiotexnik tizimlarning yaratilganligi va kelajagi katta ahamiyatga ega.

Radioaloqa insonning ishlab chiqarish faoliyatida va shaxsiy hayotida katta o'rin egallasa, radioeshittirish va teleko'rsatuv tizimlari ularga yangi imkoniyatlarni yetkazadi, madaniy hordiq chiqarishiga, bilimlar olishiga va boshqa turdagi axborotlarni u yashayotgan manzil qo'lda bo'lishidan qat'iy nazar olishiga xizmat qiladi. Radiolokatsiya va radionavigatsiya tizimlari esa havo va suv transportini tashkil etishda ularning xavfsiz harakatiga xizmat qiladi.

Radiotexnik tizimlardan meditsinada, turli ilmiy-tekshirish ishlarini bajarishda, metrologiyada, geologiyada, fizikada va boshqa turli sohalarda keng foydalanish ushbu sohalarining o'z oldiga qo'yilgan murakkab muammolarini yechishiga katta hissa qo'shmoqda. Hozirda birorta katta ilmiy salohiyat talab qiladigan fizik yoki meditsina, biologiya muammosini yechish turli radioelektron vositalar yordamida amalga oshiriladi.

Radiotexnik tizimlar kosmik fazoni tahlil etishda ham asosiy vosita hisoblanadi. RTTlardan qurolli kuchlar, davlat xavfsizligi, ichki ishlar va transportda vaziyatlar organlarida keng foydalaniladi.

Inson faoliyatining deyarli hamma sohalarida radioelektronika vositalaridan keng foydalaniladi. Radiotexnika va elektronikasiz jamiyatning rivojlanish kelajagini tasavvur qilib bo'lmaydi.

1.2. Radiotexnik tizimlarning turlarga bo'linishi

1.2.1. Radiotexnik tizimlarni ularning vazifasiga qarab ajratish

Radiotexnik tizimlarni ularning vazifasiga qarab quyidagi turlarga bo'lish mumkin. Radiotexnik tizimlarni ularning turli belgilariga qarab bir-biridan farqlash mumkin. RTTning asosiy vazifasi iste'molchiga axborot yetkazib berish, shuning uchun uning asosiy belgisi sifatida axborotning mazmuni yoki tizim bajaradigan vazifa tanlanadi.

Yuqoridagilar asosida hamma RTTlarni quyidagi turlarga ajratish mumkin [27]:

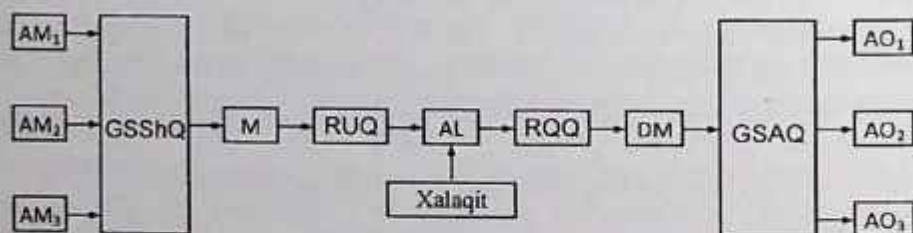
- *axborot uzatish tizimi (AUT);*

- *axborotni chiqarib olish tizimi (AChOT);*
- *radioboshqaruv tizimi (RBT);*
- *axborotni buzish tizimi (ABT);*
- *kombinatsion tizim (KT).*

Axborot uzatish tizimlari (AUT). Bu tizimning o'ziga xos xususiyatlaridan biri unda axborot uzatuvchi va axborotni oluvchi qismining borligidir.

Axborot uzatish tomonida axborot aloqa liniyasi (AL) orqali uzatiladigan radiosignalga aylantiriladi va axborot oluvchiga yetkazib beriladi, qabul qilib olingan radiosignaldan axborot ajratib olinadi.

1.1-rasmda axborot uzatish tizimining soddalashtirilgan strukturaviy sxemasi keltirilgan. AUT quyidagi qismlardan iborat: axborot manbai (AMb); guruh signalini shakllantiruvchi qurilma (GSShQ) – bir necha axborot manbai signallarini birlashtiruvchi; radiosignalni shakllantiruvchi – modulyator (M); radiouzatish qurilmasi (RUQ); radiosignallarni RUQ chiqishidan radioqabullash qurilmasi (RQQ) kirishiga yetkazib beruvchi aloqa liniyasi (AL); radioqabullash qurilmasi (RQQ); guruh signalini qayta shakllantiruvchi demodulyator (DM); guruh signallarini ajratish qurilmasi (GSAQ) – guruh signalini alohida birlamchi axborot signallar shakliga keltiruvchi, ushbu GSAQ chiqishidan axborot signali axborotni oluvchi (AO)ga yetkazib beriladi. Axborot oluvchi inson, qandaydir komandani bajaruvchi qurilma (mexanizm), hisoblash mashinasi va hokazolar bo'lishi mumkin [3].



1.1-rasm. Axborot uzatish tizimining soddalashtirilgan strukturaviy sxemasi

Aloqa liniyasida foydali signalga turli xalaqitlar ta'sir etadi, bular: RTTning ichki shovqinlari; RTT majmuasi tarkibida foydalanilayotgan boshqa RTTlarning nurlatishlari; foydali signal chastotasiga yaqin chastotada ishlayotgan boshqa RUQlarning nurlatishlari; atmosfera va kosmik xalaqitlar, maxsus shakllantirilgan radioxalaqitlar; turli sanoat va medicina qurilmalari tarqatayotgan radionurlanishlar va boshqalar bo'lishi mumkin.

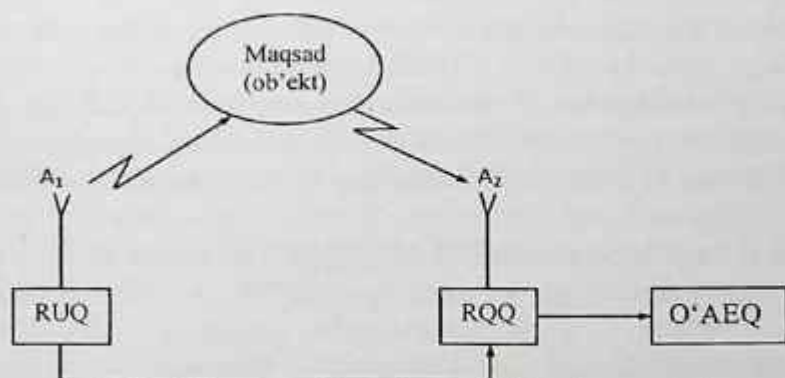
Bajaradigan vazifasiga qarab axborot uzatish tizimlari quyidagilarga ajratiladi: radioaloqa tizimlari; harakatdagi ob'ektlar o'rtasida axborot almashish tizimlari; radiorele aloqasi tizimi; sun'iy yo'ldosh orqali aloqa tizimi; radioeshittirish va teleko'rsatuv tizimlari; radiotelemetriya, radioboshqaruv tizimlari va boshqalar.

Axborotni chiqarib olish tizimi (AChOT). Bu tur RTTning o'ziga xos xususiyati shundan iboratki, bu tizimlarda foydali axborot radiosignalda aksini topadi, ya'ni radioto'lqinning tarqalishi (nurlanishi) va radioto'lqinning ob'ektdan qaytishi, yoki RTTga bog'liq bo'lmagan holatda radioto'lqinlarning shakllanishi va tarqalishi (ob'ektlarning tabiiy nurlatishlari, dushman radiotexnik vositalarining radionurlatishlari va shunga o'xshash nurlatishlar).

Axborotni chiqarib olish RTTlariga quyidagilar kiradi:

- radiolokatsiya tizimlari (RLT), faol javob radionurlanishlari nurlatuvchi RLTlar bundan mustasno;
- radionavigatsion tizimlar (RNT);
- atrof muhitni masofadan zondlovchi tizimlar;
- dushman radiotexnik vositalarini razvedka qiluvchi (izlovchi) tizimlar.

1.2-rasmda radiolokatsiya tizimining soddalashtirilgan funksional sxemasi ko'rsatilgan bo'lib, u radiouzatish qurilmasi, radioto'lqinlarni ob'ekt (maqsad) atrofiga nurlatuvchi antenna (A_1), ob'ekt (maqsad)dan qaytgan signalni qaytarib beruvchi antenna (A_2), qabul qilingan signalga ishlov beruvchi RQQ, ob'ekt (maqsad) harakati haqidagi axborot signali qiymatlarini o'lchovchi va aks ettiruvchi qurilma (O'AEQ) lardan iborat.



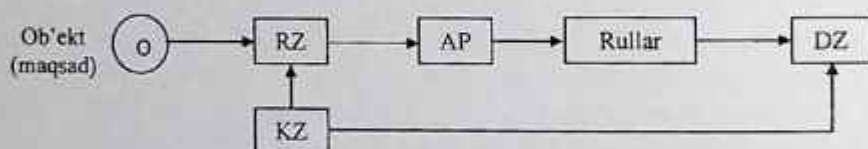
1.2-rasm. Radiolokatsiya tizimining soddalashtirilgan strukturaviy sxemasi

Qabul qilingan signaldan kerakli axborotni chiqarib olish RTTning xususiy xalaqitlari ta'sir etgan, shu bilan birga boshqa radioelektron vositalar

(REV) va RLS ish holatini keskin yomonlashtirish uchun dushman tomonidan maxsus shakllantirilgan xalaqitlar mavjud bo'lgan holatda amalga oshiriladi.

Radioboshqaruv tizimlari (RBT). Bu tur RTTlari harakatdagi ob'ektlar (raketalar, Yer sun'iy yo'ldoshlari), kosmik kemalar (apparatlar), samolyotlar, paroxodlar va boshqalarni masofadan boshqarishga xizmat qiladi. Bu tur RTTlarning o'ziga xos xususiyatlari shundan iboratki, bunda boshqarilayotgan ob'ektda joylashgan radiotexnik tizimi uni boshqarayotgan RTTga o'zining boshqarilayotgani haqidagi signalni muntazam yetkazib turadi, ushbu signal asosida boshqaruvchi RTT o'z boshqaruvchi signaliga muntazam ravishda tuzatishlar kiritib boradi [4].

1.3-rasmda raketaning ob'ekt (maqsad)ga o'zini-o'zi sozlab boradigan radioboshqaruv RTTning soddalashtirilgan strukturaviy sxemasi keltirilgan. Bu tizim raketa va ob'ektning fazodagi o'zaro joylashganlik holati va harakati haqidagi signalni shakllantiruvchi – raketada joylashgan avtopilot (AP)ga uni boshqaruvchi komanda (signal)ni muntazam berib turishga xizmat qiladigan radiotexnik zveno (RZ) bo'lib, u AP rulini boshqaradi.



1.3-rasm. Radioboshqaruv tizimining soddalashtirilgan strukturaviy sxemasi

Ushbu 1.3-rasmdagi dinamik zveno (DZ) raketaning uni boshqarayotgan RTTga o'z aks ta'siri signalini shakllantiradi; kinematik zveno (KZ) raketaning fazodagi holati va harakatini ob'ekt (maqsad) ga nisbatan o'zgarishini muntazam ravishda aniqlab boradi va bu haqidagi signalni RZga berib boradi. Ob'ekt va raketa holati haqidagi I_m va I_r axborotga RZda ishlov beriladi.

Axborotni buzish tizimi (ABT). Bu tur RTTlar dushman RTTlarining ish holatini yomonlashtirishga yo'naltirilgan bo'lib, u dushman RTTning normal ish holatini yomonlashtiruvchi maxsus shakllantirilgan radioto'lqinlarni tarqatadi.

Kombinasion tizimlar (KT) – yuqoridagi vazifalardan ikki va undan ortig'ini bajarishga mo'ljallangan tizim. Bu tizimlar qatoriga faol javobli RLS kiradi. Bu tur RTTlari axborotni chiqarib olish va uzatish amallarini bajaradilar.

Yuqorida keltirilgan RTTlarni turlarga ajratish qat'iy emas. Amalda foydalanadigan RTTlar bir necha tur RTTlar bajaradigan vazifalarni bajarishlari mumkin. Misol uchun, radioboshqaruv RTTi tarkibiga axborotni chiqarib olish radiolokatsiya va radionavigatsiya RTTlari hamda axborotni uzatish radiotelemetriya, komandalarni uzatish RTTlardan iborat bo'lishi mumkin.

1.2.2. Radiotexnik tizimlarni uzatiladigan xabar turiga qarab ajratish

Turli radiotexnik tizimlarda axborotlarni uzatish, axborotni chiqarib olish, axborotga ishlov berish va zahiralash jarayonida (xabarlarni elektr signallari bilan almashtirishda, radiouzatish qurilmalarida, modulyatorlarda, demodulyatorlarda) turli signallardan foydalaniladi.

Uzatiladigan xabar va signal turiga qarab RTTlar quyidagicha bo'linadi:

- ***uzluksiz;***
- ***impulsli;***
- ***raqamli.***

Uzluksiz RTTlarda xabarlarga ishlov berish uzluksiz bo'lib, radiosignalning bir yoki bir necha parametrining uzluksiz o'zgarishida o'z aksini topadi. Bu tur tizimlarga radioeshittirish va teleko'rsatuv (analog signallarga asoslangan) tizimlari va ba'zi radionavigatsiya RTTlari va boshqalar kiradi.

Impulsli RTTlarda uzatilayotgan axborot impulssimon radiosignallarning biron-bir parametrlarining mos ravishda o'zgarishida o'z aksini topadi. Bu tur RTTlarga impulsli signallardan foydalanishga asoslangan RLSlar va impulsar ketma-ketligini birlamchi xabar signaliga mos ravishda modulyatsiyalashga asoslangan RTTlar kiradi.

Raqamli RTTlarda xabarlar kodlar kombinatsiyalari ko'rinishida uzatiladi va qabul qilib olinadi, dekoder yordamida birlamchi diskret xabarning diskret elementlari yoki uzluksiz xabar qayta tiklanadi. Bir-biridan farqlanuvchi kod simvollar (elementar signallari) kod asosi deb ataladi. Kod simvollar turli bir-biridan ajratib olinishi mumkin bo'lgan radiosignallar ko'rinishida uzatiladi.

1.2.3. Radiotexnik tizimlarni foydalaniladigan chastotalar asosida turlarga ajratish

Radiotexnik tizimlar 3 kHz dan 300 GHz chastotalar diapazonida ishlashi mumkin. RTT tashuvchisi chastotasi ko'p hollarda uning xususiyatlari va imkoniyatlarini belgilab beradi. RTT ishlash chastotasi radioto'l-

qinlarning tarqalishi, aks etishi va yoyilishiga ta'sir ko'rsatadi. Shuning uchun chastotalar diapazoni qismlarga bo'lingan bo'lib, ularning har birida radioto'lqinlar ma'lum bir asosiy xususiyatlarga ega (1.1-jadval).

1.1-jadval

Chastotalar diapazonining bo'linishi

TR	Radiochastotalar diapazoni nomalanishi	Diapazon chegarasi	Radioto'lqinlar diapazoni nomalanishi	Diapazon chegarasi	Foydalanish sohasi
1	Haddan tashqari past chastota (HTPCh)	3...30 Hz	Dekamegаметrlar	$10^5 \dots 10^4$ km	-
2	Juda juda past chastota (JJPCh)	30...300 Hz	Megаметrlar	$10^4 \dots 10^3$ km	-
3	Infra past chastota (IPCh)	300...3000 Hz	Gektokilometrlar	$10^3 \dots 10^2$ km	-
4	Juda past chastota (JPCh)	3...30 kHz	Miriametrlar	100...10 km	-
5	Past chastota (PCh)	30...300 kHz	Kilometrlar	10...1 km	Uzoq masofa radionavigatsiyasi
6	O'rta chastota (O'Ch)	300...3000 kHz	Gektometrlar	1000...100 m	Radioeshittirish
7	Yuqori chastota (YuCh)	3...30 MHz	Dekametrlar	100...10 m	Radioesh-sh, gidro meteo va aviatsiya uchish xizmati
8	Juda yuqori chastota (JYuCh)	30...300 MHz	Metrlar	10...1 m	Radioesh-sh, mobil radioaloqa, radioxavaskorlar aloqasi (27 MHz diapazon)
9	Ultra yuqori chastota (UYuCh)	300...3000 MHz	Detsimetrlar	100...10 sm	UQD-ChM radioesh-shi, teleko'rsatuv, mobil aloqa, samolyot radioaloqasi
10	O'ta yuqori chastota (O'YuCh)	3...30 GHz	Santimetrlar	10...1 sm	Teleko'rsatuv, kosmik radioaloqa va radionavigatsiya, mobil aloqa, radiolokatsiya
11	Haddan tashqari yuqori chastota (HTYuCh)	30...300 GHz	Millimetrlar	10...1 mm	Kosmik radioaloqa, radionavigatsiya, radiolokatsiya, radioastronomiya
12	Giper yuqori chastota (GYuCh)	300...3000 GHz	Detsimillimetrlar	1...0,1 mm	Kosmik radioaloqa, radiolokatsiya, radioastronomiya, radiooptik aloqa

Miriametrli to'liqlar tuproq va suv ostiga kirib borish, Yer sharini o'rab tarqalish, kunduz va kechasi ionosferadan aks etib qaytish, turli ob'ektlardan aks etib qaytmasdan uni o'rab tarqalish xususiyatiga ega.

Kilometrli to'liqlarni Yer yutadi va qisman uni qamrab tarqaladi, kechasi ionosferadan aks etib qaytish, turli ob'ektlarni o'rab, undan aks etmasdan tarqalish xususiyatiga ega.

Gektometrli to'liqlar Yer tomonidan yutiladi, kechasi ionosferadan juda yaxshi aks etib qaytib, ob'ektlardan aks etib qaytmasdan uni o'rab tarqalish xususiyatiga ega.

Dekametrli to'liqlar Yerda juda katta so'nadi, ionosferada radiosignal chastotasiga bog'liq ravishda turlicha (tanlovchan) so'nadi, oddiy ob'ektlardan kuchsiz aks etib tarqaladi.

Metrli to'liqlar Yerda juda katta so'nadi, ionosferadan aks etib qaytmaydi, to'g'ridan-to'g'ri ko'rinish masofasida tarqaladi, oddiy ob'ektlardan yuqori darajada aks etib tarqaladi.

Detsimetrli to'liqlar faqat to'g'ridan-to'g'ri ko'rinish masofasida tarqaladi, oddiy ob'ektlardan juda yuqori darajada aks etib tarqaladi.

Santimetrli to'liqlar faqat to'g'ridan-to'g'ri ko'rinish masofasida tarqaladi, ob'ektlardan juda yuqori darajada aks etib tarqaladi. Radioto'liqlarni yuqori darajada yo'naltirilganlik bilan tarqalishiga va qabullanishiga erishish mumkin.

Millimetrli to'liqlar atmosferada juda yuqori darajada so'nadi, yuqori darajada yo'naltirilganlik bilan tarqalish va qabullashga erishish mumkin.

Radiotexnik tizimlarda, ko'p hollarda juda yuqori chastota (JYuCh), ultra yuqori chastota (UYuCh) va o'ta yuqori chastota (O'YuCh) diapazoni chastotalaridan foydalaniladi. Bu diapazonlarning radioto'liqlari ob'ektlardan aks etib tarqalishi juda yuqori bo'lib, bu diapazon antennalari kichik o'lchamli — ixcham bo'lib, yuqori yo'naltirilganlik bilan tarqalish va qabullanish xususiyatiga ega.

Shuni alohida ta'kidlash kerakki, turli RTTlarda u yoki bu chastotalar diapazonidan foydalanish va chastotalar spektrining kengligi Xalqaro elektraloqa ittifoqi (XEI) ning Xalqaro radiochastotalarni taqsimlash komissiyasi (XRTK) tomonidan belgilanadi. Bunday cheklanishlar radiosignal shakliga, RTTni yaratishga va natijada uning texnik xarakteristikalariga ta'sir etadi.

1.2.4. Radiotexnik tizimlarni uni radiosignalining modulyatsiyalanadigan parametriga qarab turlarga ajratish

Axborotni chiqarib olishga asoslangan RTTlar radiosignalining axborot parametriga bog'liq ravishda amplitudaviy, chastotaviy va fazaviy tizimlar sifatida bir-biridan farqlanadi. Bulardan birinchisi amplitudaviy RTTlarga yo'naltirilgan diagrammali antenna yordamida radiosignal kelayotgan yo'nalishni aniqlash tizimi, fazaviy RTTga radionavigatsiya tizimlari va chastotaviy RTTga doppler effekti asosida uchayotgan ob'ektning radial tezligini o'lchash tizimini misol shaklida keltirish mumkin.

Axborot uzatish RTTlarida radiosignallar yuqori chastotali tashuvchisining parametrlaridan birini yoki ba'zi hollarda ikkitasini uzatilayotgan xabar o'zgarishiga mos ravishda o'zgartirish natijasida shakllantiriladi. Tashuvchining parametrlaridan birini uzatiladigan uzluksiz xabarga mos ravishda o'zgartirish jarayoni modulyatsiya deb ataladi. Agar modulyatsiyalovchi xabar diskret bo'lsa, u holda bu jarayon manipulyatsiya deb ataladi. Agar yuqori chastotali tashuvchi sifatida garmonik shakldagi tebranishlardan foydalanilsa, u holda modulyatsiyalanuvchi parametr uning amplitudasi, chastotasi yoki fazasi bo'lishi mumkin. Yuqoridagilar asosida RTTlar amplitudasi, chastotasi yoki fazasi modulyatsiyalangan tizimlar deb ataladi.

Tashuvchisi sifatida impulslar ketma-ketligidan foydalaniladigan RTTlarda impulslarning amplitudasi, takrorlanish chastotasi, kengligi yoki takt liniyasiga nisbatan fazasining joylashishini uzatiladigan xabar signaliga mos ravishda o'zgartirish jarayoni orqali modulyatsiya amalga oshiriladi. Ba'zi hollarda impulslar ketma-ketligidagi pauza (sokinlik) "0" va tokli impulslar ketma-ketligini uzatiladigan diskret xabarga mos ravishda o'zgartirilib, manipulyatsiya (kodlash) jarayoni amalga oshiriladi.

Impulslari radiotexnik tizimlarda yuqorida keltirilganlarga asosan axborot uzatish uchun quyidagi modulyatsiya turlaridan foydalaniladi:

- *impuls amplitudasi modulyatsiyasi (IAM);*
- *impuls kengligi modulyatsiyasi (IKM);*
- *impuls chastotasi modulyatsiyasi (ICHM);*
- *impuls fazasi modulyatsiyasi (IFM);*
- *impuls kod modulyatsiyasi (IKM).*

RTTlarda bundan tashqari yangi murakkab modulyatsiya turlaridan foydalaniladi. Raqamli radiotexnik tizimlarda axborot uzatish uchun: nisbiy faza manipulyatsiyasi (NFMp), chastota manipulyatsiyasi (ChMp), amplituda manipulyatsiyasi (AMp) va boshqa murakkab modulyatsiya turlaridan ham foydalaniladi.

RTTlarning ularda axborot uzatish uchun foydalaniladigan radio-signallar turlariga qarab farqlanishidan ularning o'ziga xos xususiyatlarini aniqlash va natijalaridan ularni loyihalashda foydalanish mumkin bo'ladi.

1.3. Radiotexnik tizimlarning taktik-texnik xarakteristikalar

RTTlarning asosiy xarakteristikalarini ikki guruhga bo'lish mumkin:

– **taktik xarakteristikalar**, bularga: tizimning vazifa va amaliy imkoniyatlarini ko'rsatuvchi parametrlar kiradi, ya'ni RTTning ta'sir etish (axborot uzatish) hududi, axborot uzatish aniqligi, axborot uzatish xalaqitbardoshligi, axborot o'tkaza olish imkoniyati, sezgirliigi, elektromagnit moslashuviga tegishli parametrlari va boshqa parametrlar kiradi;

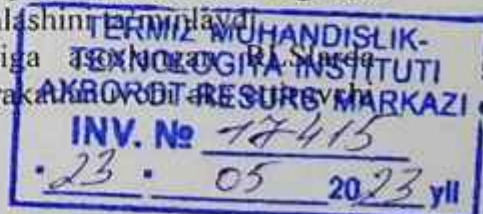
– **texnik xarakteristikalar**, bularga: tizimning asosiy xususiyatini ko'rsatuvchi parametrlar kiradi, ya'ni foydalaniladigan chastota qiymati va chastotaning barqarorligi (stabilligi), modulyatsiya turi va modulyatsiyallangan signal parametrlari, antennasining yo'naltirilganlik diagrammasi, radiouzatgichining chiqish quvvati, radioqabullagichining sezgirliigi va boshqalar kiradi.

RTTning texnik parametrlari uning taktik parametrlarining talab darajasida bo'lishini ta'minlovchi vositalarni anglatadi. Texnik parametrlarning talab etiladiganidan har qanday farqlanishi uning taktik parametrlariga salbiy ta'sir ko'rsatadi, natijada RTTning texnik parametrlari ruxsat etilgan, belgilangan qiymatidan katta miqdorda o'zgarishiga, ish sifati ko'rsatkichlarining keskin yomonlashuviga va RTT axborot uzatishga yaroqsiz holatga kelishiga sabab bo'ladi.

Radiotexnik tizimlarning asosiy xarakteristikalarini ko'rib chiqamiz.

RTTning ta'sir hududi – bu fazoning axborotni uzatish va qabul qilib olish, ajratib olish yoki buzish hududi, yoki qandaydir ob'ektni boshqarish hududi. Sferik koordinatalar tizimida bu eng yaqin va eng uzoq masofa, azimut va ob'ekt joylashgan joyning chegaraviy qiymatlari orqali baholanadi. Ba'zi hollarda RTT radiosignali ta'sir hududini ko'p o'lchamli faizo deb hisoblash va uning koordinatalari sifatida ob'ektgacha bo'lgan masofa, azimut burchaklari va ob'ekt joylashgan nuqta, shu bilan birga uning harakat tezligi va tezlanishini qabul qilish kerak bo'ladi. Bunday holat ob'ekt harakatlanish tezligi va tezlanishi ma'lum bir miqdordan katta bo'lmaganda uni radioboshqaruv tizimining talab darajasida ishlashini ta'minlaydi.

Xuddi shunga o'xshash Doppler effektiga ega harakatdagi ob'ektlarni harakatsiz yoki sekin harakatlanishini ta'minlaydi.



vositalarga nisbatan aniqlash ular orasidagi nisbiy harakat tezligini aniqlash orqali amalga oshiriladi. Shuning uchun RLSning ta'sir hududini aniqlashga kerak bo'ladigan to'rtinchi koordinata sifatida ob'ektning radial tezligi olinadi.

Axborot uzatish RTTlari uchun uning ishlash hududi qabul qilingan signalning asliga mosligini ta'minlovchi hudud bilan chegaralanadi. Bu masofa hozirda yuz million kilometrlardan iborat, misol uchun kosmik apparatlar bilan aloqa o'rnatishda foydalaniladigan radiotexnik tizimlar.

RLS uchun uning qo'llanish hududi ob'ektni ishonchli aniqlash maksimal uzoqligi bilan va ob'ektni aniqlash imkoniyati bo'lmaydigan eng kichik (minimal – o'lik hudud) masofa bilan, RLS antenasi yo'naltirilganlik diagrammasining azimuti burchagi chegaraviy qiymati va joy koordinatalari, skanerlash chegarasi bilan aniqlanadi.

RTTning ajratish xususiyati uni radiosignaldagi bir-biridan kam farqlanuvchi xabarlarni ajratish va ularni qayta aks ettirish qobiliyatini belgilaydi. Bu parametrlar bir-biridan juda oz farqlanuvchi chastotalar, vaqt bo'yicha kechikish yoki radiosignal kelayotgan turli yo'nalishlar bo'lishi mumkin.

Qabul qilib olinayotgan axborotning aniqligi olingan axborotning ma'lum bir xarakteristikalar: xalaqitbardoshlik, aloqa o'rnatish masofasi va RTTdan foydalanish sharoitlariga bog'liq. Agar axborot qandaydir diskret qiymatlarning o'zgarishi bilan bog'liq bo'lsa, u holda RTTning ishlash sifatini to'g'ri yoki xato qabul qilinganlik ehtimolligi bilan baholash mumkin, masalan, diskret xabarlarni uzatish radiotexnik tizimlarida.

Uzluksiz (analog) xabarlarni uzatish RTTlarida xatolikning qiymati ham uzluksiz o'zgaruvchi ko'rinishga ega bo'lib, bu xatolikni absolyut xatolik

yoki o'rtacha kvadratik xatolik

$$\varepsilon_x = v(t) - u(t)$$
$$\bar{\varepsilon}_x^2 = \frac{1}{T} \int_0^T [v(t) - u(t)]^2 dt$$

orqali aniqlash mumkin.

Xatoliklar – qabul qilingan xabarning aslida uzatilgan xabardan farqlanishi davriy takrorlanuvchi yoki tasodifiy ko'rinishda bo'lishi mumkin. Davriy takrorlanuvchi xatoliklar aniq bir qonuniyatga bo'ysunadi, uning sabablari ham ma'lum bir qonuniyatga bo'ysunadi va uning sabablari ma'lum bo'ladi. Shuning uchun bu sabablarni RTTni loyihalash ishlarini amalga oshirish, ularni tajriba usullari va hisoblashlar orqali aniqlash

imkin. Tasodifiy xatoliklar – qabullash qurilmasining xususiy shovqinlari, radioto‘lqinlar tarqalayotgan muhitdagi xalaqitlar, ob’ektdan aks etib tarqatayotgan radioto‘lqinlarning tasodifiy o‘zgarishlari va shunga o‘xshashlar. Tasodifiy xalaqitlarning asosiy xarakteristikalaridan biri, bu xalaqitning zichligi taqsimoti qonuni, o‘rtacha matematik qiymati, korrelyatsiya xarakteristika va boshqalar. Tasodifiy xalaqitlarning spektral zichligi hisoblanadi.

RTTning axborot o‘tkazish imkoniyati – bu tizim orqali vaqt birligida o‘tkazilishi (qabul qilib olinishi) mumkin bo‘lgan axborotning maksimal miqdori. Odatda axborot uzatish imkoniyati tushunchasi axborot uzatish tezligi va radiolokatsiya tizimlariga nisbatan qo‘llaniladi.

RTTning tezkorligi – bu uning kirishiga bitta sakrashli impuls signal qabul qilish jarayonining davomiyligi orqali aniqlanadi. Tezkorlik tushunchasi radioboshqaruv RTTlariga nisbatan qo‘llaniladi. Bunda, tezkorlik deganda RTTning kirishiga berilgan tez o‘zgaruvchi signalning o‘zgarishini kechikishsiz kuzatish qiymati tushuniladi.

Xalaqitbardoshlik deganda RTTning xalaqitlar ta’siri ostida o‘z sifatini saqlash qobiliyatini saqlab qolish qobiliyati tushuniladi. Misol uchun RTTning ta’sir aniqligi, qabul qilingan xabarning asliga mosligi, masofani o‘lchash aniqligi va shu kabilar. Xalaqitbardoshlik kodlash turi, modulyatsiya shakli, kodlash usuli, qabullash qurilmasi kirishidagi signal-xalaqit quvvatlari va foydalanilayotgan signallarning bir-biridan farqlanish darajasiga bog‘liq. Diskret xabarlarni uzatish RTTlarida xalaqitbardoshlik qabul qilish imkoniyati kirishida signal-xalaqit o‘rtacha quvvatining talab etiladigan quvvatiga nisbatan ta’minlovchi nisbati bilan belgilanadi.

Uzatsa xabarlarni uzatish RTTlarida xalaqitbardoshlik tizimdan talab etiladigan xalaqitbardoshlikni ta’minlovchi qabullash qurilmasi kirishidagi talab xalaqitlar o‘rtacha quvvati nisbatida aniqlanadigan o‘rtacha xatolik bilan baholanadi.

Uzatsa xabarlarni o‘zaro taqqoslashda umumlashgan yutuq ko‘rsatkichidan baholash Umumlashgan yutuq quyidagi ifoda orqali aniqlanadi

$$Y_u = \frac{(P_c/P_{sh})_{chiq} F_{xus}}{(P_c/P_{sh})_{kir} F_s}, \quad (1.1)$$

bu yerda $(P_c/P_{sh})_{chiq}$, $(P_c/P_{sh})_{kir}$ – qabullash qurilmasi chiqishi va kirishidagi signal quvvati nisbati; F_{xus} , F_s – uzatilayotgan xabar va unga mos signal quvvati.

Elektromagnit moslashuvi deganda uning mavjud bo‘lgan muhitda o‘z vazifasini talab etiladigan darajadagi sifat bilan boshqa radioelektron vositalariga ruxsat etilganidan ortiq bo‘lmagan ta’sir etmaslik xususiyati tushuniladi.

RTTning ishonchliligi – bu RTTning talab etiladigan vaqt davomida o'z vazifasini saqlab qolgan holda texnik foydalanishga yaroqli bo'lish qobiliyatini anglatadi.

RTTning yashirinligi deganda uning signali va joylashgan nuqtasini aniqlash (energetik yashirinlik), tarkibini aniqlash (tarkibiy yashirinlik), radiosignal dan axborotni ajratib olish (axborot yashirinligi) kabi radiotexnik xurujlarga nisbatan qarshilik ko'rsata olish imkoniyati tushuniladi.

RTTning yashirinligini oshirishga nurlatilayotgan signal quvvatini iloji boricha kamaytirish, radiosignalni nurlatish davomiyligini qisqartirish, radiosignal tarkibini murakkablashtirish va radiosignalning parametrlarini axborot uzatish davrida tasodifiysimon o'zgartirish orqali erishish mumkin.

RTTning og'irligi, o'lchamlari, u talab qiladigan elektr quvvati, uni joylashtirish va texnik foydalanish kabi ko'rsatkichlari RTTni harakatlanuvchi texnikaga o'rnatishda qulayliklar yaratadi. RTTning kelajagi uni uzoq muddat davomida jamiyatga xizmat qilish imkoniyatini bildiradi.

RTTning yuqorida keltirilgan xarakteristikalarining ko'pchiligi uning sifat ko'rsatkichlari hisoblanadi. Misol uchun, aloqa o'rnatish masofasining uzoqligi, xalaqitbardoshlik, qabul qilingan xabarning asliga mosligi, xabar o'tkazish qobiliyati va boshqalar.

RTTning xarakteristika va sifat ko'rsatkichlarini tahlil etishda va ularni yaxshilashga yo'naltirilgan chora-tadbirlarni ishlab chiqishda tabiiy cheklanishlarga e'tibor berish kerak. Bu cheklanishlarga quyidagilar kiradi:

- chastotalar diapazonining cheklanganligi;
- har qanday radiokanallarda turli xalaqitlarning mavjudligi;
- turli diapazonlar radioto'lqinlari tarqalishining o'ziga xos xususiyatlari;
- RTT qurilmalari o'rnatiladigan joy hajmining cheklanganligi, misol uchun samolyotlar bortida, raketalarda, Yer sun'iy yo'ldoshi bortida va h.k.

RTTlarni loyihalashda va yaratishda iqtisodiy ko'rsatkichlarga, RTTdan foydalanishning qulayligiga va ergonomikaga alohida e'tibor berish kerak.

1.4. Radiotexnik tizimlarda energetik munosabatlar

RTTni loyihalash va yaratishda uning texnik hamda sifat ko'rsatkichlari talab darajasida bo'lishini ta'minlash uchun energetik hisoblarni amalga oshirish kerak. Bu masalalani yechish uchun RTTning axborot uzatish masofasi, chastotalar diapazoni, anten nasining o'lchamlari, radioqabul qilish qurilmasining eng katta sezuvchanligi, radiouzatish qurilmasining

chiqish quvvati, radiokanallarda hamma vaqt mavjud bo'lgan xalaqitlar, radioqabullash qurilmasining xususiy shovqini, antenna-fider traktidagi shovqinlar (quyosh aktivligi natijasida yuzaga keladigan shovqinlar, Yer va kosmik jismlar nurlatadigan shovqinlar, sanoat qurilmalari xalaqitlari va toshqalar)ni hisobga olish kerak.

RTTning sifat ko'rsatkichlari talab darajasida bo'lishi uchun tizim radioqabullash qurilmasi chiqishidagi $P_{s.chiq}/P_{sh.chiq}$ nisbati ma'lum qiymatlardan kichik bo'lmashligi shart. Shuningdek RQQsining kirishidagi $P_{s.kir}/P_{sh.kir}$ ham talab etiladigan bo'sag'aviy sath bo'sag'aviy koeffisient K_b dan kichik bo'lmashligi kerak

$$P_{s.kir}/P_{sh.kir} \geq K_b. \quad (1.2)$$

(1.2) ifodadan foydalanib RQQ kirishidagi shovqin quvvati $P_{sh.kir}$ berilgan holat uchun RTT talab darajasidagi sifatni ta'minlashi uchun talab etiladigan kirish signalining eng kichik quvvatini aniqlash mumkin:

$$P_{s.kir \min} = K_b P_{sh.kir}, \quad (1.3)$$

unda, $P_{s.kir \min}$ – RQQsining sezgirliги deb ataladi.

RQQ kirishidagi shovqin quvvatini quyidagi ifoda orqali aniqlash mumkin:

$$P_{sh.kir} = N_{sh} \cdot \Delta f_{ef} = kT_{\xi} \cdot \Delta f_{ef}, \quad (1.4)$$

unda, N_{sh} – shovqin quvvati spektri zichligi; Δf_{ef} – RQQsi signal o'tkazish effektiv polosasi kengligi; $k = 1,38 \cdot 10^{-23}$ Dj/grad – Bolsman doimiysi; T_{ξ} – Kelvin natijaviy temperaturasi.

Kelvin natijaviy temperaturasi quyidagi ifoda orqali aniqlanadi:

$$T_{\xi} = T_{RQQ} + T_A + T_F,$$

unda, T_{RQQ} – qabullash qurilmasi shovqin effektiv temperaturasi; T_A – silhqi va antenna shovqini temperaturasi; T_F – antenna-fider traktining shovqin temperaturasi.

RQQ shovqinlari quvvati

$$P_{shRQQ} = kT_{RQQ}\Delta f_{ef}$$

qabullash qurilmasining chegaraviy sezgirliги deb ataladi. T_{RQQ} ning qiymatini qabullash qurilmasi kirish kaskadlari belgilaydi va u kristalli qurilmalash tirgich uchun 1200...1900 K gacha bo'lgan keng oraliqda bo'lishi mumkin, suyuq geliy bilan sovutilgan molekulyar kuchaytirgich uchun 0...40 K oralig'ida bo'ladi. T_A ning qiymati 40...120 K oralig'ida bo'lib, u faqat tashqi shovqinlarga bog'liq, shu bilan birga antenna yuzasi dielektrik qurilmalashining issiqlik shovqiniga ham bog'liq. T_F ning qiymati antenna-fider trakti konstruksiyasiga bog'liq [4].

uzatish tarmog'i, Internet va keng polosali simsiz radioaloqa tizimlari keng rivojlandi. Natijada mamlakatlar, korxonalar, alohida insonlar o'rtasida tezkor axborot almashish imkoniyati yaratildi.

Halqaro va shaharlararo telefon-telegraf aloqasini, radioeshittirish va teleko'rsatuvlarni tashkil etishda Yer sun'iy yo'ldoshi orqali aloqa tizimi muhim o'rin egallaydi. Yer sun'iy yo'ldoshi orqali aloqa o'rnatish hududi juda katta va aholisi nisbatan zich bo'lmagan, tabiati sovuq, transprot tarmog'i rivojlanmagan joylar bilan aloqa o'rnatishda yagona radioaloqa tizimi hisoblanadi. Yer sun'iy yo'ldoshi orqali nafaqat telefon aloqasi, shu bilan birga Rossiya, shimoliy Amerika va boshqa davlatlar bilan radio va teledasturlar ayirboshlashga ham xizmat qiladi. O'zbekistonda ham olis qishloqlar va aholisi zich bo'lmagan joylarga respublikaning bir necha radio va teledasturlari Yer sun'iy yo'ldoshi orqali yetkazib beriladi. Respublikada raqamli teleko'rsatuvga o'tish natijasida hozirgi ikki teledastur o'rniga kamida 10-12 ta respublika va boshqa davlatlar teledasturlarini respublikaning uzoq hududlariga sun'iy yo'ldosh orqali yetkazib berish va joylarda bu teledasturlarni kichik quvvatli televizion uzatkichlar orqali efirga tarqatish imkoniyati paydo bo'ldi. Umuman sun'iy yo'ldosh orqali aloqa tarmoqlari orqali qo'shimcha aloqa liniyalari, harakatdagi mobil aloqa tizimlari orqali axborot ayirboshlash, halqaro sun'iy yo'ldosh orqali katta hajmdagi axborotlarni uzatish va qabul qilish imkoniyati hozirgi kunda yo'lga qo'yilgan.

Radio va simli aloqa tizimining ohirgi yutuqlaridan biri bu axborotlarni telematika tizimlari orqali uzatish bo'lib, bu EHM va yangi aloqa tizimlarining bir-biri bilan qo'shib aholiga yangi tur xizmatlarni ko'rsatish va kundan-kunga axborot almashlashga bo'lgan aholi talabini qondirishga yo'naltirilgan aloqa tarmoqlarining qurilayotgani va foydalanishi hisoblanadi.

Hozirda radiolokatsiya va radionavigatsiya tizimlari ham tezkorlik bilan yangidan-yangi yuqori darajadagi texnik talablarga javob berish imkoniyatiga ega bo'ldi. Zamonaviy RLSlar ilgari yakka shaklda mavjud bo'lgan stansiyalarga nisbatan keng va juda keng polosali signallardan foydalanishga asoslangan bo'lib, ular yuqori darajada qaytgan radiolokatsiya signallaridan kerakli axborotlarni yuqori aniqlik bilan, misol uchun ob'ektgacha bo'lgan masofani, ob'ekt harakatlanish tezligi va tezlanishini, ba'zi hollarda ob'ekt qanday materiallar bilan qoplanganligini aniqlash imkoniyatini beradi. Bunga qabul qilingan signallarga kogerent va raqamli ishlov berish, katta davomiylikka ega bo'lgan signallar va yo'naltirilganlik

diagrammasi o'ta tor bo'lgan antennalardan foydalanishlar asosida e'rishilgan.

Zamonaviy RLSlar o'lchanadigan koordinatalar sonini oshirish (misol uchun, uch koordinatali RLS), ob'ektni va atrofni zondlashda ko'p rejimlilikni qo'llash, signallar kogerentligini ta'minlash, ob'ektlar joylashishi mumkin bo'lgan hududda ob'ektlar trassasini yaratish, elektr energiyasidan tejamkorlik bilan foydalanish, zamonaviy murakkab panjarasimon antennalar bilan bir qatorda yo'naltirilganlik diagrammalarining yon tomon yaproqchalari kichiklashtirilgan nisbatan arzon antennalardan foydalanish, RLSlarining ishonchliligi va texnik foydalanish muddatini oshirish, ularda yuzaga keladigan nosozliklarni oldindan tashxis qilib berish va normal ish holatiga qaytarish, RLSdan foydalanishda qatnashadigan mutaxassislar sonini qisqartirish, RLSlarni masofadan turib boshqarish orqali RLSni to'g'ridan-to'g'ri boshqaruvchi mutaxassislar sonini qisqartirishga yo'naltirilgan [18].

Yer yuzidan uncha uzoq bo'lmagan masofada uchuvchi ob'ektlarni aniqlashda va uning ko'rsatkichlarini o'lchashda balandligi 10...20 m bo'lgan machtalarga o'rnatilgan RLSlardan foydalaniladi.

Hozirda faol javob beruvchi RLSlarning texnik ko'rsatkichlarini yanada yaxshilashga ham alohida ahamiyat berilmoqda. Bunday RLS tizimiga havo harakati (samolyotlar, raketalar uchishi)ni ta'minlovchi tizim kiradi. Ko'p tur RLSlar turli davlatlarning uchish apparatlari qaysi davlatga tegishli ekanligini aniqlovchi alohida kanallarga ega. Bu tur RLSlarning xalaqitlardan himoyalanganligi yuqori darajada bo'lishi, radiosignallar ta'sirida o'z-o'zidan harakatga keluvchi snaryadlarni aniqlashda ham yuqori darajadagi talablarga javob berishi kerak. Keyingi davrda aniqlanishi qiyin bo'lgan uchuvchi ob'ektlarni aniqlashda to'liq uzunligi metrlar diapazonida bo'lgan signallardan foydalaniladigan RLSlardan foydalanilmoqda. RLSlar qaysi chastotalar diapazonida ishlashidan qat'iy nazar uchayotgan ob'ektni (kerak hollarda uni turini) aniqlash imkoniyatiga ega bo'lishi ta'minlanmoqda.

Ohirgi yillarda yer ostini radiolokatsiya qilishga alohida qiziqish bildirilmoqda. Bu tur radiolokasion stansiyalar – georadarlar ham radiolokatsiyaning asosiy prinsiplariga asoslangan. Bunda uzatuvchi antenna davomiyligi o'ta qisqa 10...15 davrga ega bo'lgan kvazigarmonik (garmonik signalga o'xshash) elektromagnit impuls signallarini nurlatadi. Bu tur signallar o'ta keng polosali signallar turiga kiradi, bunday signallar polosasining kengligini uning maksimal chastotasiga nisbati birga yaqin bo'ladi. Bu signalning o'rtacha chastotasi va davomiyligi zondlash talab

etiladigan yer qatlami chuqurligiga va georadarning zondlash aniqligiga bog'liq. Uzatuvchi antenna bilan Yer ostiga nurlatilgan signal yer ostining zichligi, tarkibi turlicha qatlamlaridan qaytadi va signalni qabullash antenasi qabul qilib oladi. Bu signalga ishlov berish natijasida olingan axborot monitorida o'z aksini topadi.

Yer ostini radiolokatsiya qilishdan geofizikada, muhandislik geologiyasida, yo'l, sanoat va aholiga uy-joy qurilishlarida, arxeologiyada, quyosh tizimi planetalari va ularning yo'ldoshlarini kosmosdan tadqiqot qilishda, mudofaa ishlarida va boshqa sohalarda foydalaniladi. Yer osti radiolokatsiyasidan yer osti qatlamlarining geologik kesimlarini, yer osti suv xavzalarining shaklini, yer osti suvlarining sathini aniqlashda, yer ostidagi turli foydali qazilmalar joylashgan hudud chegaralarini, chuchuk suv xavzalaridagi suv qatlamining qalinligini va okeanlardagi muzliklar o'lchamlarini aniqlashda, yer ostidagi turli kommunikatsiya tizimlari (vodoprovod temir va plastik trubalari, elektr va aloqa kabellari) joylashgan joy va uning qanday chuqurlikda ekanligi, beton konstuksiyalar: ko'priklar, suv dambalari va platinalari holatini uzluksiz kuzatib, nazorat qilib borishda, neft-moy mahsulotlari trubasini teshib chiqqan joylarni, ekologik nuqtai nazardan katta xavfga ega bo'lgan zaharli moddalar ko'milgan joylarni, arxeologik ob'ektlarni, torfli, qumli, ohakli va yer ostidagi muz qatlamlarini aniqlashda keng foydalaniladi. Mudofaa sohasida yer osti tunnellari, minalar, turli kommunikatsiyalar, omborxonalar va omborxonalarga yashirin yer osti yo'llarini aniqlashda georadarlardan foydalaniladi [25].

1.5. Radiotexnik tizimlarning rivojlanish yo'nalishlari

Radiotexnik tizimlar sohasidagi ilmiy-texnik taraqqiyot radiotexnik tizim texnik tarkibining yangilanishida, eskirgan texnik vositalarning yangisiga almashtirilishida namoyon bo'ladi. Yaratilayotgan yangi radiotexnik tizim eng yaxshi sifat ko'rsatkichlariga va nisbatan kengroq funksional imkoniyatlarga ega bo'lishi hamda axborot iste'molchisining talablarini yuqori darajada qanoatlantirishi lozim.

Qurilmalar va tizimlar ishlashining yangi fizik prinsiplarini kashf etuvchi fundamental fanlar yutuqlari bilan bir qatorda zamonaviy elektronika yutuqlari radiotexnik tizimlar rivojlanishining asosi hisoblanadi.

RTTlar rivojlanishida quyidagi yo'nalishlarni ajratib ko'rsatish mumkin:

- hisoblash vositalari asosida RTTni intellektuallashtirish;

- yaratilayotgan radioelektron texnikada keng radioto‘lqinlar: millimetrdan to o‘ta uzun to‘lqinlargacha diapazonidan foydalanishni o‘zlashtirish;
- zamonaviy apparaturada foydalaniladigan tor ko‘lamli alohida elektron elementlar (tranzistorlar, mantiqiy yacheykalar, xotira yacheykalari)dan funksional murakkab integral mikrosxemalarga o‘tish;
- RTTlarda axborotlarga ishlov berish qurilmalarining rolini oshirish;
- RTTlarning qo‘llanilish sohasini kengaytirish.

Elektronika sohasidagi yutuqlar RTTlarning rivojlanishida muhim o‘rin egallaydi. Funksional elektronika rivojlanishda davom etmoqda: akus-toelektron protsessorlar, zaryadli aloqa asboblari va ular asosidagi qurilmalar paydo bo‘ldi.

Axborotlarni uzatish, jamlash va ularga ishlov berish bilan bog‘liq murakkab vazifalar asosan raqamli texnika qurilmalari hisobiga hal etiladi. Raqamli texnika signallarga ishlov berish qurilmalarida, nurni shakllantirish va fazalashtirilgan antenna panjarali qurilmalarda skanerlash orqali nurni boshqarish tizimlarida, aloqa, radioeshittirish va televideniya tizimlarida keng qo‘llaniladi.

Mikroprotsessorli texnika bilan bir qatorda raqamli va analog texnika o‘zaro birgalikda ishlaydigan – raqamli signal protsessorlari jadallik bilan rivojlanmoqda. Zamonaviy raqamli signal protsessorlari bir soniyada bir necha o‘nlab million operatsiyani amalga oshirishga qodir.

Integratsiya darajasining oshishi tizim tezkorligi va ishonchliligini oshirishga, narxni tushirishga, axborotni uzatish va unga ishlov berishning yuqori tezlikli usullariga o‘tishga, xalaqitli sharoitga moslashuvchi sun‘iy intellektli ko‘p funksiyali majmualarni yaratishga imkon yaratadi.

Oxirgi o‘n yillikda ayniqsa axborot uzatish radiotexnik tizimlari muhim o‘zgarishlarni boshdan kechirdi. Jamiyatdagi ijtimoiy, iqtisodiy, siyosiy va madaniy o‘zgarishlar ishlab chiqarish aloqalarining kengayishi, dunyo hamjamiyatidagi integratsiya axborot uzatish tizimlarining jadal rivojlanishiga olib keldi.

Axborot uzatish tizimlarini takomillashtirishning istiqbolli yo‘nalishlaridan biri barcha turdagi axborotni uzatish uchun yuqori tezlikli tarmoqni yaratish hisoblanadi. SHuningdek istiqbolli yo‘nalishlarga: yuqori tezlikli raqamli aloqa tarmoqlarini qurish, telematika xizmatlari tarmoqlarini qurish, sun‘iy yo‘ldosh orqali aloqa tizimlarini takomillashtirish, zamonaviy harakatdagi radioaloqa tizimlarini rivojlantirish kabilarni keltirish mumkin.

Telekommunikatsiya qiyofasini keskin o'zgartirishda harakatdagi radioaloqaning rivojlanishidagi yutuqlar samarali turtki bo'ladigan kuch hisoblanadi. Harakatdagi aloqa tizimlari aholisi zich bo'lmagan katta hududlar, ko'p sonli kichik shaharlar hamda qishloqlar, borish qiyin bo'lgan hududlar uchun juda muhim ahamiyat kasb etadi.

Shaharlararo va xalqaro telefon-telegraf aloqasi, televidenie va radioeshittirishni tashkil qilishning muhim vositasi bu sun'iy yo'ldoshli aloqa hisoblanadi. Sun'iy yo'ldoshli tizimlar ayniqsa aholisi kam bo'lgan, iqlim sharoiti og'ir bo'lgan hududlar uchun yagona echim hisoblanadi.

Simli va radioaloqa sohasidagi oxirgi yutuqlardan biri bu telematika deb nom olgan axborot uzatish xizmati hisoblanadi. Uning yuzaga kelishi EHM va yangi avlodaloqa vositalarining bir-biriga o'zaro moslashib (jipslashib) ketishining natijasidir. Telematika xizmatining rivojlanishi aloqa tarmog'idan foydalanuvchilarning oshib borayotgan talablarini maksimal darajada qondirish tendensiyasiga muvofiq nisbatan takomillashgan yangi xizmatlarni tashkil qilish yo'nalishidan bormoqda.

Keyingi yillarda radiolokatsiya va radionavigatsiya tizimlari takomillashib bormoqda. Zamonaviy radiolokatsiya tizimlari yagona radiolokatsiya vositasi bilan echish mumkin bo'lmagan masalalarni echishga imkon yaratadi. Ular uzoqlik, burchak koordinatalari, radial tezlik bo'yicha yuqori ajratish qobiliyatiga ega bo'lib, bunga juda keng polosali signallardan, katta davomiqlik kogerent signallardan, yo'naltirilganlik diagrammasi juda tor bo'lgan antennalardan foydalanish orqali erishiladi.

Radiolokatsiya tizimlari rivojlanishida o'lchanadigan koordinatalarining sonini oshirishga (asosan uch koordinatali RLtlarini yaratish), fazoni ko'p rejimli kuzatish va zondlashga, signallarning kogerentligini oshirishga va ulardan samarali foydalanishga, maqsad (ob'ekt) signallariga ishlov berishni avtomatlashtirishga, energiya sarfini kamaytirishga, yon yaproqchalar sathini sezilarli kamaytirish orqali istiqbolli antenna panjalari bilan nisbatan arzon antennalardan birgalikda foydalanishga, RTTning resursi va ishonchliligini oshirishga, nosozliklar diagnostikasi va uni tezkorlik bilan bartaraf etishga, xizmat ko'rsatuvchi personallar sonini qisqartirishga, personal vazifasini masofaviy nazoratni qo'llab kamaytirishga (cheklashga) intilish kuzatilmoqda.

Aktiv javobli RLtlariga katta e'tibor qaratilmoqda. Bunga eng avvalo havodagi harakatni boshqarish RLtlari namuna bo'ladi. Harbiy maqsadlardagi ko'pgina RLtlari davlatga tegishlilikini tanish kanallariga ega bo'ladi. Bunday RLtlari uchun yuqori e'tibor xalaqitlardan himoyalanişga, qator hollarda nurlanishga o'z-o'zini yo'naltiruvchi snaryadlardan

valanishga qaratiladi. Uncha ajralib turmaydigan havo ob'ektlaridan foydalanish metrlar diapazoni RLTlarining rolini oshirdi. Oxirgi yillarda yuza osti radiolokatsiyasiga qiziqish ortdi. Yuza osti lokatsiyasi geofizikada, muhandislik geologiyasida, transportda, o'qishda, arxeologiyada, Quyosh tizimidagi planetalar va ularning o'zlashlarini kosmik tadqiq qilishda, mudofaa sanoati va boshqa sohalarda qo'llaniladi.

Nazorat savollari

1. RTTlar bajaradigan vazifalariga qarab qanday turlarga ajratiladi?
2. RTTlar ular orqali uzatiladigan, qabul qilib olinadigan xabarlarga qarab qanday turlarga ajratiladi?
3. RTTlar ular foydalanadigan radiosignallar chastotalar diapazoniga qarab qanday ajratiladi?
4. RTTlar ularda foydalaniladigan radiosignallarning modulyatsiyalash parametriga qarab qanday turlarga ajratiladi?
5. RTTning asosiy taktik xarakteristikalariga nimalar kiradi?
6. RTTning asosiy texnik xarakteristikalariga nimalar kiradi?
7. RTTning asosiy rivojlanish yo'nalishlari nimalardan iborat?
8. RLS, RRL, RN, Yer sun'iy yo'ldoshi orqali aloqa tizimlari bajaradigan vazifalarni qisqa aytib bering.

2. RADIOTEXNIK TIZIMLARDA SIGNALLAR VA XALAQITLAR

Ushbu bobda radiotexnik tizimlarda uchraydigan signal va xalaqitlar haqida asosiy tushunchalar keltirilgan. Uzlüksiz signallarni vaqt bo'yicha diskretlash, sath bo'yicha diskretlash – kvantlash va uzluksiz signalni qayta tiklash usullari yoritilgan. Shu bilan birga murakkab signallarni va signal tizimini shakllantirish masalalariga ham alohida e'tibor berilgan. Uzlüksiz signallarni raqamli aloqa kanallari orqali uzatish usullari ham ko'rib chiqilgan.

2.1. Axborot, xabar va signallar

Ilm-fan, texnika va kundalik hayotimizda “axborot”, “xabar” va “signal” atamalaridan tez-tez foydalanib turamiz. Umuman **axborot** deganda biron-bir voqea, hodisa yoki ob'ektning holati haqidagi ma'lumotlar majmuasi tushuniladi. Inson biron-bir ma'lumotni – axborotni olgandan so'ng o'zining shu hodisa, voqea va ob'ektga nisbatan o'z ongida bo'lgan munosabatni o'zgartiradi. Axborotni saqlash, unga ishlov berish va uzatishda turli shartli belgilar (harflar, matematik belgilar, rasmlar, so'zlar, turli shakldagi tebranishlar va boshqalar) dan, ya'ni axborotni boshqa ko'rinishda ifodalash usullaridan foydalaniladi.

Ma'lum bir shaklga keltirilgan axborot **xabar** deb ataladi. Misol uchun, telegraf xabarlarida axborot harflar va raqamlar orqali ifodalanadi. Ushbu belgilar to'plami orqali xabar uzatiladi. Telefon aloqasi tizimlarida – bu inson qulog'i yoki uni o'zgartiruvchi asbob mikrofon membranasi oldida bosimning uzluksiz o'zgarishi orqali olinadigan tovushlar, televidenie tizimida – bu elementlari yorug'ligi va rangi o'zgaruvchi tasvir. Ko'p hollarda axborot ikkilik diskret shaklda, ya'ni uni aks ettirish uchun faqat shartli “1” va “0” simvollaridan foydalaniladi. Bunda uzatilayotgan xabar chekli miqdordagi ikkilik simvollar ketma-ketligidan iborat bo'ladi.

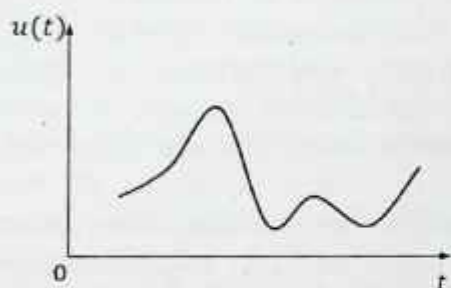
Biron-bir ko'rsatkichi uzatilayotgan xabarga mos ravishda o'zgaruvchi fizik jarayon **signal** deb ataladi. O'z tabiatiga ko'ra signallar elektrik, yorug'lik, tovush va shu kabilar shaklida bo'lishi mumkin. Radiotexnik tizimlarda signal sifatida fazoda yoki biron-bir yopiq muhitda tarqaluvchi yuqori chastotali radiosignallardan foydalaniladi.

Xabarni unga mos signalga aylantirish uchun turli fizik jarayonlardan foydalanishga asoslanib yaratilgan asboblardan foydalaniladi. Misol uchun, tovush shaklidagi xabarni signalga aylantirish uchun mikrofondan, tasvirni signalga aylantirish uchun maxsus elektron trubkalardan, temperaturani

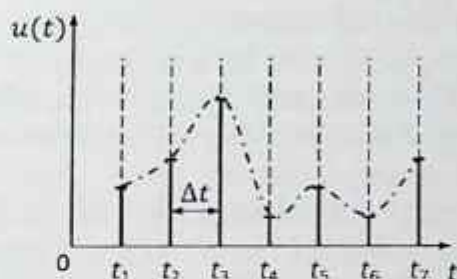
signalga aylantirish uchun termoelementlardan va h.k. foydalaniladi. Bunday almashtirgich asboblarda chiqishidagi signallar odatda past chastotali uzluksiz o'zgaruvchi bo'lib, bunday signallarni analog signallar, bu signal tasviriga tegishli bo'lgan holatda esa videosignal deb ataladi.

Har qanday signal $u(t)$ vaqt funksiyasi hisoblanadi. Signallarni ko'rinishiga qarab quyidagi turlarga ajratish qabul qilingan [11]:

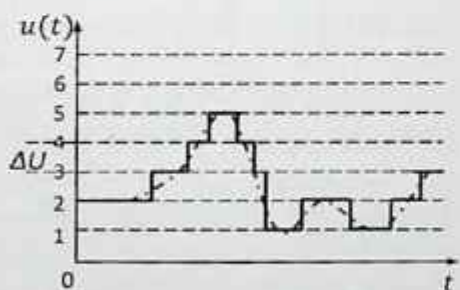
- vaqt va sath bo'yicha uzluksiz signal;
- vaqt bo'yicha diskret va sath bo'yicha uzluksiz signal;
- vaqt bo'yicha uzluksiz va sath bo'yicha diskret signal;
- vaqt va sath bo'yicha diskret signal.



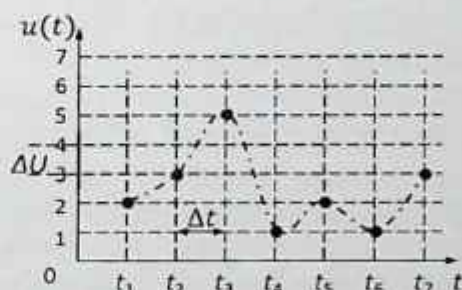
a)



b)



c)



d)

2.1-rasm. Signallarning turlari: a) – uzluksiz signal; b) – diskret signal; c) – kvantlangan signal; d) – vaqt va sath bo'yicha diskret signal (raqamli signal).

Vaqt va sath bo'yicha uzluksiz signallar vaqt bo'yicha chegaralangan yoki chegaralanmagan bo'lib, sathi ma'lum bir oraliqdagi qiymatlarni qabul qiladi (2.1a-rasm). Bunday signallarga mikrofon, temperatura o'lchagich, bosim o'lchagich va boshqa shunga o'xshash asboblarda chiqishidagi signal misol bo'ladi. Bu signallar fizik kattaliklarning elektrik modellari

bo'lganligi, unga mos ravishda o'zgargani uchun bunday signallar "analog" (o'xshash, mos) signallar deb ataladi. 2.1b-rasmda keltirilgan signallar vaqt bo'yicha diskret $t = k\Delta t$ (Δt – diskret vaqt oralig'i bir xil qiymatli va turlicha bo'lishi mumkin) va sath bo'yicha ma'lum bir oraliqdagi har qanday qiymatlarga teng bo'lishi mumkin. Bunday signallarni uzluksiz signallarning har bir Δt vaqt oralig'ida qiymatlarini belgilash orqali olish mumkin. Bu jarayonni vaqt bo'yicha **diskretlash** deb ataladi. Odatda diskretlash oralig'i Δt bir xil qilib, uzluksiz signalni uning vaqt bo'yicha diskret oniy qiymatlari orqali qayta tiklash aniqligiga bo'lgan talabga asosan tanlanadi.

2.1c-rasmda keltirilgan uchinchi tur signallar sath bo'yicha diskretlangan – **kvantlangan** bo'lib, u $k\Delta t$ yoki ma'lum bir uzluksiz vaqt t da ma'lum bir diskret qiymatga ega bo'ladi. Kvantlash natijasida signal sathining oniy qiymati unga eng yaqin bo'lgan, ruxsat etilgan sath qiymati bilan almashtiriladi. Natijada, zinasimon signal hosil bo'ladi. Kvantlash oralig'i (odimi) bir xil yoki turlicha bo'lishi mumkin. Ikki eng yaqin ruxsat etilgan oraliq kvantlash oralig'i (odimi) deb ataladi va odatda ΔU bilan belgilanadi. Kvantlash oralig'i bir xil yoki turlicha qilib tanlanishi mumkin. Kvantlash oralig'i bir xil bo'lgan signalni qayta tiklashda yuzaga keladigan absolyut xatolik $\Delta U/2$ ga teng bo'ladi. Ma'lum bir davomiylikka ega bo'lgan uzluksiz signalni kvantlash natijasida hosil bo'ladigan xatolikning o'rtacha kvadratik qiymati $\Delta U/12$ ga teng bo'ladi. Odatda ΔU – uzluksiz signalni uning kvantlangan qiymatlari asosida qayta tiklash aniqligiga bo'lgan talabga asosan tanlanadi.

To'rtinchi tur signallar (2.1d-rasm) ma'lum diskret vaqt $k\Delta t$ larda ($k = 0, 1, 2, \dots, n$) ma'lum bir diskret qiymatni qabul qiladi. Bunday signallar uzluksiz signallarni vaqt bo'yicha diskretlash va sath bo'yicha kvantlash natijasida olinadi. Vaqt va sath bo'yicha diskret signalning qiymati kvantlash oralig'i ΔU ga bog'liq bo'lib, kvantlash natijasida umumiy holda ruxsat etilgan N ta oniy qiymatlardan birini qabul qiladi. Kvantlangan signal sathini ketma-ket butun sonlar bilan belgilab, bu sonlarni odatda ikkilik signal 1 va 0 lardan iborat signal bilan almashtirib, aloqa kanali orqali modulyatsiyalangan radiosignal orqali uzatiladi. Kvantlangan signalning oniy qiymatlarini diskret elementar signallar (odatda 1 va 0) bilan almashtirish natijasida hosil bo'lgan signal **raqamli signal** deb ataladi.

Vaqt funksiyasi bo'lgan signal $u(t)$ haqiqiy yoki kompleks qiymatga ega bo'lishi mumkin. Shuning uchun signallarning haqiqiy va kompleks matematik modellari mavjud.

Signallar **determinant** (o'zgarish qonuniyati avvaldan ma'lum) va **tasodifiy** (o'zgarish qonuniyati avvaldan ma'lum emas) bo'lgan turlarga

bo'linadi. Har qanday t yoki $k\Delta t$ vaqtda qiymatlari avvaldan birga teng ehtimollik bilan ma'lum bo'lgan signallar **determinant signallar** deb ataladi. Har qanday t yoki $k\Delta t$ vaqtda qiymatlarini avvaldan birga teng ehtimollik bilan aniqlab bo'lmaydigan signallar – **tasodifiy signallar** deb ataladi. Axborot tashuvchi hamma signallar tasodifiy signallar hisoblanadi. O'zgarish qonuni avvaldan ma'lum bo'lgan signallar hech qanday axborot tashish (eltish) imkoniyatiga ega emas. U go'yoki hech bir yozuvi yoki belgisi bo'lmagan oq qog'oz kabidir. Determinant signallarni aloqa kanali orqali uzatmasdan qabullash tomonida shakllantirish mumkin.

Determinant signallardan turli radiotexnik funksional qism, qurilma va tizimlarni sinovdan o'tkazishda foydalaniladi. Ulardan turli chiziqli, nochiziqli va parametrik radiotexnik zanjirlarni tahlil etishda, tadqiqot ishlari olib borishda foydalaniladi. Odatda determinant signallar sifatida birlik sakrash impulsi, sinusoidal signallardan, delta funksiya signali $\delta(t)$, to'rtburchaksimon va boshqa ko'rinishda bo'lgan signallardan foydalaniladi.

2.2. Signal va xalaqitlarning matematik modellari

Radiotexnik tizimlarni tahlil (analiz) va sintez qilishda signallarning matematik modellaridan keng foydalaniladi. Signal va xalaqitlarning matematik modellari signallarning umumiy fizik xossalari o'rniga faqat qo'yilgan radiotexnik masalani yechishga tegishli xossalari e'tiborga olingan matematik modelidan foydalaniladi. Zamonaviy RTTlar nazariyasida signallarga ehtimollik nazariyasi asosida yondoshish, ya'ni uzatilayotgan va qabul qilinayotgan xabarni tasodifiy jarayonning ko'rinishlaridan biri deb qabul qilinadi.

Diskret signallarning modeli sifatida diskret tasodifiy ketma-ketlik $\{X_i\}$ – tasodifiy jarayondan foydalaniladi. Uning qiymatlari va aniqlanish hududi diskret to'plamda bo'ladi. Kelgusida diskret ketma-ketlik qiymati X_i har bir t_i vaqtda o'zining diskret to'plamdagi qiymatlaridan biri $\alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_m$ larga teng bo'ladi. Diskret signalning eng oddiy modellaridan biri alohida t_i vaqtlardagi bir-biriga bog'liq bo'lmagan ketma-ketlik – Bernulli ketma-ketligi hisoblanadi.

Bu ketma-ketlikda X_i ning tasodifiy qiymatlari bir-biriga bog'liq bo'lmay, o'z qiymatlari to'plami (alfaviti) dagi $\alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_m$ qiymatlardan biriga $P(\alpha_r) = P_r (r = 1, 2 \dots m)$ ehtimollik bilan teng bo'ladi. Bunday model bilan xotirasiz diskret xabar manba ifodalanadi.

Diskret tasodifiy ketma-ketlikning umumlashgan modelida uning t_i vaqtda qabul qiladigan qiymatlari bir-biriga bog'liq bo'ladi. Bunday model

orqali xotirali diskret xabar manbai chiqishidagi signal ifodalanadi. Bunday signal modelida uning t_i vaqtda qabul qiladigan qiymati X_i undan avvalgi $t_{i-1}, t_{i-2}, \dots, t_{i-k}$ vaqtlarda tasodifiy ketma-ketlik qabul qilgan qiymatlarga bog'liq bo'ladi, ya'ni

$$P(\alpha_{r_{j+1}}^{j+1}, \alpha_{r_{j+2}}^{j+2}, \dots, \alpha_{r_{j+N}}^{j+N}) = P(\alpha_{r_{j+1}}^{j+1}) P(\alpha_{r_{j+2}}^{j+2}) \dots P(\alpha_{r_{j+N}}^{j+N}) / \alpha_{r_{j+N-1}}^{j+N-1}, \dots, \alpha_{r_{j+1}}^{j+1} \quad (2.1)$$

bo'ladi, $P(\alpha_{r_{j+k}}^{j+k}) / \alpha_{r_{j+k-1}}^{j+k-1}, \dots, \alpha_{r_{j+1}}^{j+1}$ undan avvalgi element $\alpha_{r_{j+k-1}}$ bo'lgan holatda (sharti bajarilganda) t_{j+k} vaqtda uning qiymati $\alpha_{r_{j+k}}$ ga teng bo'lish ehtimolligi.

Agar xabar manbaining statistik ifodasi (2.1) vaqtga bog'liq bo'lmasa, bunday manba stasionar manba deb ataladi, uning chiqishida hosil bo'ladigan signal statsionar tasodifiy signal bo'ladi.

Uzluksiz signallarning matematik modeli uzluksiz $X(t)$ tasodifiy jarayon bo'ladi. Bunday tasodifiy jarayon – signal n -o'lchamli taqsimot funksiyasi bilan yetarli darajada to'liq baholanadi,

$$F(x_1, x_2, x_3, \dots, x_n; t_1, t_2, t_3, \dots, t_n) = P\{X(t_1) < x_1, X(t_2) < x_2, \dots, X(t_n) < x_n\} \quad (2.2)$$

yoki n -o'lchamli ehtimollik zichligi taqsimoti funksiyasi bilan ifodalanadi

$$W_n(x_1, x_2, x_3, \dots, x_n; t_1, t_2, t_3, \dots, t_n) = \frac{\partial^n F(x_1, x_2, x_3, \dots, x_n; t_1, t_2, t_3, \dots, t_n)}{\partial x_1 \partial x_2 \partial x_3 \dots \partial x_n} \quad (2.3)$$

bunda, umumiy holda $n \rightarrow \infty$ sharti bajarilishi talab etiladi.

(2.2) va (2.3) ifodalar orqali aniqlanadigan ko'p o'lchamli funksiyalarni aniqlash qiyin, ba'zan esa umuman mumkin emas. Bundan tashqari xabar uzatish bilan bog'liq muammolarni yechish bilan bog'liq bo'lgan masalalarni yechishda ko'p o'lchamli taqsimot qonunini bilish talab etilmaydi. Shuning uchun xabar signallari modeli sifatida bir yoki ikki o'lchamli taqsimot qonuni orqali ifodalanadigan tasodifiy jarayonlardan foydalaniladi. Ko'p hollarda tasodifiy jarayonning **sonli xarakteristikalari**: o'rtacha qiymat, dispersiya, avtokorrelyatsiya va o'zaro korrelyatsiya qiymatlarini aniqlash yetarli hisoblanadi [5].

Haqiqiy xabarlar tabiatan nostasionar tasodifiy jarayon bo'lib, uning matematik modeli ham nostasionar tasodifiy jarayon shaklida bo'ladi. Ko'p hollarda umuman nostasionar jarayonni yoki nisbatan kichik vaqt oralig'ida kvazistasionar deb, amalda esa stasionar jarayon deb qabul qilish mumkin. Nostasionar jarayondan stasionar jarayon modeliga o'tish ko'p hollarda xabar nostasionarligi bilan bog'liq masalani yechishning juda murakkabligi, ba'zi hollarda umuman yechib bo'lmazligi bilan asoslanadi.

Amaliyotda xabarlarining va xalaqitlarning stasionar tasodifiy modeli sifatida Gauss tasodifiy jarayonidan foydalaniladi. Tasodifiy jarayonning Gauss modeli tovush va teleko'rsatuv xabarlarini, radiolokatsion stansiya qabul qiladigan signallarni, telemetrik jarayon bilan bog'liq signallarni va aloqa kanallaridagi shovqinlarni yetarli darajada yaxshi ifodalaydi.

Tasodifiy jarayonning yagona vaqtda (momentda) aniqlanadigan funksiyasidan eng ko'p foydalaniladigani bu tasodifiy jarayonning **o'rtacha qiymati**:

$$m_x(t) = M\{X(t)\} = \int_{-\infty}^{\infty} xW(x;t)dx, \quad (2.4)$$

dispersiyasi:

$$D_x(t) = M\{[X(t) - m_x(t)]^2\} = \int_{-\infty}^{\infty} [x - m_x(t)]^2 W(x;t)dx, \quad (2.5)$$

va tasodifiy jarayonning ikki vaqt onlaridagi qiymatlari orqali aniqlanadigan **avtokorrelyatsiya funksiyasi**:

$$\begin{aligned} B_x(t_1; t_2) &= M\{[X(t_1) - m_x(t_1)][X(t_2) - m_x(t_2)]\} = \\ &= \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} [x_1 - m_x(t_1)][x_2 - m_x(t_2)]W_2(x_1, x_2; t_1, t_2)dx_1 dx_2, \end{aligned} \quad (2.6)$$

tasodifiy jarayonning o'zaro korrelyatsiya funksiyasi:

$$B_{xy}(t_1; t_2) = M\{[X(t_1) \cdot Y(t_2)]\} = \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} x_1 y_2 W_2(x_1, y_2; t_1, t_2)dx_1 dy_2. \quad (2.7)$$

Bunda $M[z]$ tasodifiy jarayonning t_1 va t_2 vaqtlardagi alohida-alohida qiymatlarining o'rtachasini, ya'ni tasodifiy jarayonning t_1 vaqtdagi qiymati uning t_2 vaqtdagi qiymati bilan qanchalik bog'liqligini baholaydi – o'zaro korrelyatsiya funksiyasi deb yuritiladi.

Funksiya $X(t)$ ning bir-biridan $t_2 - t_1 = \tau$ vaqtga farq qiluvchi qiymatlari ushbu funksiyaning τ vaqt oralig'idagi o'rtacha qiymatini anglatadi va ushbu bir-biridan τ vaqt oralig'iga farq qiluvchi qiymatlarining o'zaro bog'liqligini baholaydi.

Stasionar tasodifiy jarayonlar uchun quyidagi shartlar bajariladi:

$$\begin{aligned} m_x(t) &= m_x = \text{const}; & D_x(t) &= D_x = \text{const}; \\ B_x(t_1; t_2) &= B_x(t_2 - t_1) = B_x(\tau); & B_{xy}(t_1; t_2) &= B_{xy}(t_2 - t_1) = B_{xy}(\tau). \end{aligned}$$

Avtokorrelyatsiya va o'zaro korrelyatsiya funksiyalarining $t_2 - t_1 = \tau$ vaqt oraliqlaridagi qiymatlarining o'zaro bog'liqligini baholash uchun avtokorrelyatsiya va o'zaro korrelyatsiya normallashtirilgan koeffisientlari

$R_x(\tau)$ va $R_{xy}(\tau)$ lardan foydalanish kerak bo'ladi. Bunda $R_x(\tau) = \frac{B_x(\tau)}{B_x(0)}$ va $R_{xy}(\tau) = \frac{B_{xy}(\tau)}{B_{xy}(0)}$ ifodalar orqali aniqlanadi, ya'ni korrelyatsiya funksiyalarining $t_2 - t_1 = \tau$ qiymati uchun hisoblangan korrelyatsiya absolyut qiymati ushbu funksiyalarning $\tau = 0$ bo'lgan holatdagi qiymati orqali aniqlanadi.

Avtokorrelyatsiya va o'zaro korrelyatsiya koeffitsiyentlari

$$R_x(\tau) = \frac{B_x(\tau)}{B_x(0)} = |0 \div 1|, \quad R_{xy}(\tau) = \frac{B_{xy}(\tau)}{B_{xy}(0)} = |0 \div 1|,$$

ya'ni absolyut qiymati 0 dan 1 gacha oraliqda bo'lishi mumkin.

Agar $R_x(\tau) = 0$ yoki $R_{xy}(\tau) = 0$ bo'lsa, u holda bu tasodifiy jarayonning $t_2 - t_1 = \tau$ vaqtga farq qiluvchi qiymatlari bir-biriga bog'liq emasligini bildiradi. Agar $R_x(\tau) = 1$ va $R_{xy}(\tau) = 1$ bo'lsa, u holda bu bir-biridan $t_2 - t_1 = \tau$ vaqtga farq qiluvchi tasodifiy jarayonning qiymatlari bir-biri bilan to'liq bog'liqligi, bir-biriga juda o'xshashligini bildiradi. Agar $R_x(\tau) = -1$ va $R_{xy}(\tau) = -1$ holati yuz bersa, u holda tasodifiy jarayonning $\tau = t_2 - t_1$ vaqtga farq qiluvchi qiymatlari bir-biriga qarama-qarshi ekanligini bildiradi.

Korrelyatsiya funksiyalari quyidagi *xossalarga ega*:

- korrelyatsiya funksiyasi (koeffitsiyenti) juft funksiya, ya'ni $R(\tau) = R(-\tau)$;

- korrelyatsiya funksiyasi (koeffitsiyenti) $\tau \rightarrow \infty$ holatda nolga intiladi, ya'ni $R_x(\tau)_{\tau \rightarrow \infty} = 0$ va $R_{xy}(\tau)_{\tau \rightarrow \infty} = 0$ bo'ladi;

- avtokorrelyatsiya funksiyasining $\tau = 0$ dagi qiymati ushbu tasodifiy jarayonning quvvatiga teng bo'ladi, ya'ni $B_x(\tau) = X(t_1)X(t_1) = X^2(t_1) = P_{t_1}$ (bunda tasodifiy jarayon o'tayotgan qarshilik qiymati 1 Omga teng deb olingan);

- agar ikki tasodifiy jarayonning korrelyatsiya funksiyasi $R_{xy}(0) = 1$ va $\tau = t_2 - t_1 \neq 0$ holatda $R_{xy}(\tau)_{\tau \neq 0} = 0$ bo'lsa bunday tasodifiy jarayon to'liq ma'noda tasodifiy jarayon deb ataladi;

- agar tasodifiy jarayon ikki qismdan: tasodifiy va determinant o'zgaruvchi qismlardan tashkil topgan bo'lsa, u holda bu tasodifiy jarayonning korrelyatsiya funksiyasi $B_{xy}(\tau)_{\tau \neq 0}$ bo'lgan holat uchun determinant qismi amplitudasining kvadratiga teng bo'ladi. U holda tasodifiy jarayon o'tayotgan yuklamaning qarshiligini shartli ravishda 1 Om ga teng deb olsak, ushbu yuklamada tasodifiy jarayonning faqat determinant qismi $P_d = q^2$ ga teng quvvat ajralib chiqadi;

– agar funksiya davriy bo'lsa, u holda uning korrelyatsiya funksiyasi ham ushbu ko'rilyotgan funksiyaning davriga teng davr bilan takrorlanadi;

– agar ba'zi hollarda matematik tahlillar natijasida ularning o'zaro korrelyatsiya funksiyalari nolga teng bo'lsa ushbu funksiyalar orasidagi fizik, matematik bog'liqlikni hisobga olgan holda yakuniy xulosa chiqarish kerak. Agar haqiqatdan har ikki tasodifiy jarayon bir-biri bilan bog'liq bo'lmasa o'zaro korrelyatsiya funksiyasi nolga teng bo'ladi. Teskarisi hamma vaqt ham ushbu ikki funksiya orasida haqiqatda bog'lanish yo'qligini tasdiqlaydi. Bu holda qo'shimcha tahlillar o'tkazish talab qilinadi.

Tasodifiy jarayonning o'rtacha qiymati va dispersiyasi uning tarkibini va o'zgarish tezligini aks ettirmaydi. Tasodifiy jarayonning o'zgarish tezligini uning t_1 va t_2 vaqtlarda olingan oniy qiymatlarining statistik bog'liqligi orqali baholash mumkin. Bu bog'liqliklar tasodifiy jarayonning avtokorrelyatsion funksiyasi va ikki tasodifiy jarayon $X(t_1)$ va $X(t_2)$ larning t_1 va t_2 vaqtlarda olingan oniy qiymatlari orasidagi bog'liqlik o'zaro korrelyatsiya funksiyasi orqali baholanadi. Korrelyatsiya funksiyalari o'rtacha qiymat va dispersiyaga nisbatan tasodifiy jarayon haqida ko'proq ma'lumotlar beradi.

Tasodifiy jarayon uchun shunday $t_2 - t_1 = \Delta\tau$ ni ko'rsatish mumkinki, agar $t_2 - t_1 = \tau$ ushbu $\Delta\tau$ dan katta bo'lsa uning t_2 va t_1 vaqtlardagi oniy qiymatlari orasidagi bog'liqlik yo'qoladi. Tasodifiy jarayonning t_1 va t_2 vaqtlarda oniy qiymatlari orasidagi o'zaro bog'liqlik saqlanib qolgan vaqt oralig'i $\Delta\tau$ – korrelyatsiya oralig'i (intervali) deb ataladi. Odatda, korrelyatsiya oralig'i kattaligi uning normallashtirilgan korrelyatsiya koeffitsiyentini har bir yechiladigan muammoga bog'liq ravishda belgilanadi, ya'ni $R_{xx}(\tau) \geq \alpha_{ber}$, α_{ber} – korrelyatsiya koeffitsientining berilgan qiymati.

Korrelyatsiya oralig'i $\Delta\tau$ balandligi birga teng va yuzasi korrelyatsiya koeffitsienti chizig'i bilan chegaralangan to'g'ri to'rtburchakning asosi kengligi orqali aniqlanadi, ya'ni

$$\Delta\tau = \frac{\int_{-\infty}^{\infty} B(\tau) d\tau}{B(0)} = \int_{-\infty}^{\infty} R(\tau) d\tau. \quad (2.8)$$

Tasodifiy jarayonlar vaqt funksiyasi sifatida **ikki turga** bo'linadi:

- *stasionar tasodifiy jarayonlar*;
- *nostasionar tasodifiy jarayonlar*.

Agar tasodifiy jarayonning *sonli xarakteristiklari*: o'rtacha qiymat, dispersiya yoki korrelyatsiya funksiyasi vaqt funksiyasi bo'lib, o'zgaruvchan bo'lsa, ya'ni $M(X, t)$, $D(X, t)$ va $R(t_2, t_1)$ ning qiymati $t_2 - t_1 = \tau$ ni vaqt o'qining qaysi qismida olinganligiga bog'liq bo'lsa, bunday jarayonlar

nostasionar tasodifiy jarayonlar hisoblanadi. O'rtacha qiymati, dispersiyasi vaqtga bog'liq bo'lmagan, korrelyatsiya funksiyasi faqat $t_2 - t_1 = \tau$ ga bog'liq bo'lib, $t_2 - t_1 = \tau$ ni vaqt o'qining qaysi qismida olinganligiga bog'liq bo'lmasa bunday tasodifiy jarayonlar **stasionar tasodifiy jarayonlar** hisoblanadi.

Stasionar tasodifiy jarayonlar ergodiklik xossasiga ega. Stasionar tasodifiy jarayonlarning ushbu xossasiga asosan uning bir-necha realizatsiyalaridan t_1 vaqtda olingan o'rtacha qiymati, ushbu tasodifiy jarayon davomiyligi T cheksizlikka intilgan realizatsiyasining vaqt bo'yicha o'rtacha qiymatiga birga yaqin ehtimollik bilan tenglashadi, ya'ni

$$\begin{aligned} \overline{X(t)} &= \int_{-\infty}^{\infty} xp(x)dx = \lim_{T \rightarrow \infty} \frac{1}{T} \int_0^T x(t)dt = \overline{x(t)} \\ \overline{X^2(t)} &= \int_{-\infty}^{\infty} x^2 p(x)dx = \lim_{T \rightarrow \infty} \frac{1}{T} \int_0^T x^2(t)dt = \overline{X^2(t)} \\ B_x(\tau) &= \overline{X(t)X(t+\tau)} = \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} x_1 x_2 p_2(x_1, x_2; \tau) dx_1 dx_2 = \\ &= \lim_{T \rightarrow \infty} \frac{1}{T} \int_0^T x(t)x(t+\tau)dt = \overline{x(t)x(t+\tau)}. \end{aligned} \quad (2.9)$$

Tasodifiy signalning oniy qiymatlari orasidagi statistik bog'liqlikni aniqlash – korrelyatsion tahlildan va tasodifiy signallarning ergodiklik xossasidan signallarni qabullash va ularga ishlov berishning zamonaviy tizimlarida keng foydalaniladi.

2.2.1. Gauss tasodifiy jarayoni

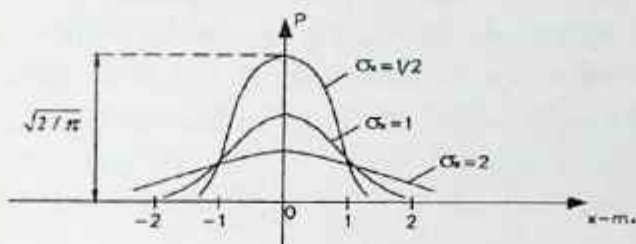
Normal – Gauss tasodifiy qiymatlar taqsimot qonuni tabaitda boshqa taqsimot qonunlariga qaraganda nisbatan ko'p uchraydi. Aloqa kanallaridagi xalaqitlar ham ko'p hollarda normal taqsimot qonuniga bo'ysunadi. Ko'p hollarda taqsimot qonuni normal taqsimot qonunidan kam farqlanadigan tasodifiy jarayonlarni Gauss jarayoni shaklida tahlil etiladi.

Bir o'lchamli normal taqsimot qonuni quyidagi umumiy formula orqali ifodalanadi:

$$P(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma_x} \exp \left[-\frac{(x - m_x)^2}{2\sigma_x^2} \right]. \quad (2.10)$$

Bunda tasodifiy jarayon stasionar va ergodik Gauss jarayoni deb hisoblanadi. Shuning uchun m_x va σ_x sifatida fluktuasion shovqin – xalaqitning o'rtacha qiymati va uning realizatsiyasining fluktuasion (o'zgaruvchan) tashkil etuvchisining quvvati tushuniladi.

Normal taqsimot qonuni ehtimollik zichligining grafigi σ_x ning bir necha qiymatlari uchun 2.2-rasmda keltirilgan.



2.2-rasm. Normal taqsimot qonuni ehtimollik zichligining grafigi

Ehtimollik zichligi $P(x)$ taqsimot qonuniga nisbatan simmetrik joylashgan. Dispersiya σ_x ning qiymati qancha katta bo'lsa ehtimollik zichligining eng katta qiymati shuncha kichik bo'ladi, grafigi yassi bo'ladi va aksincha σ_x ning qiymati qancha kichik bo'lsa grafigi maksimumi shuncha katta va tik bo'ladi. Dispersiyaning har qanday qiymatlarida ham uning grafigi ostidagi yuza bir xil saqlanib qoladi, chunki

$$\int_{-\infty}^{\infty} P(x) dx = 1. \quad (2.11)$$

Normal taqsimot qonunining eng ko'p tarqalganiga sabab, yetarli darajada ko'p bir-biri bilan umuman bog'liq bo'lmagan yoki kuchsiz (kam) bog'liq bo'lgan tasodifiy kattaliklarning yig'indisi qiymatlarining taqsimot qonuni normal (Gauss) taqsimot qonuniga bo'ysunadi. Ushbu ta'rif ehtimollik nazariyasining markaziy chegaraviy teoremasi deb ataladi.

Radiotexnik tizimlarda eng ko'p tarqalgan xalaqitlardan biri bu fluktuatsion shovqin – xalaqit hisoblanadi. Fluktuatsion xalaqit elektr hodisasi natijasi bo'lib, u radiotexnik zanjirga ko'p sonli alohida-alohida kuchlanishlarning ta'siri natijalari ulardagi o'tish jarayoni sababli bir-biri bilan qo'shilib yagona tasodifiy ko'rinishdagi xalaqitni keltirib chiqaradi [5].

Fluktuatsion xalaqitning o'rtacha qiymati $m_x = 0$ ligini e'tiborga olib (2.10) ifodani quyidagi ko'rinishga keltiramiz.

$$P(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma_x} \exp\left[-\frac{x^2}{2\sigma_x^2}\right]. \quad (2.12)$$

Xalaqit sathini uning dispersiyasi σ_x ga nisbatini $u = \frac{x}{\sigma_x}$ orqali belgilab va $du = \frac{dx}{\sigma_x}$ ni e'tiborga olib, fluktuatsion xalaqitning integral taqsimot qonunini quyidagicha ifodalaymiz:

$$F(u_0) = P(u < u_0) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^{u_0} e^{-u^2/2} du = \frac{1}{2} [1 + F(u_0)]. \quad (2.13)$$

(2.13) formula orqali fluktuasion xalaqitning sathi berilgan u_0 ga teng yoki kichiklik ehtimolligi hisoblanadi. (2.13) formulada $\sigma_n^2 = P_x$ bo'lib, xalaqitning o'rtacha quvvatini anglatadi, bundan tashqari $\sigma_n = \sqrt{P_x} = U_{xe}$ - xalaqitning effektiv qiymati, $F(u)$ - funksiya ehtimollik integrali yoki Kramp funksiyasi deb ataladi va u quyidagicha aniqlanadi:

$$F(u) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_0^{u_0} e^{-u^2/2} du. \quad (2.14)$$

Kramp funksiyasi - ehtimollik integralining qiymatlari maxsus jadvallarda keltiriladi va u quyidagi **xususiyatlarga** ega:

- Kramp funksiyasi toq funksiya, ya'ni $F(-u) = -F(u)$;
- Kramp funksiyasi $F(\infty) = 1$ va $F(0) = 0$.

Ehtimollik taqsimoti qonuni asosida xalaqitning qiymati ma'lum chegaralardagi qiymatlarni olish ehtimolligini, qiymati berilgan sath u_1 dan katta u_2 dan kichikligi kabi ehtimolliklarni aniqlash mumkin.

$P(u_1 < u < u_2) = \int_{u_1}^{u_2} P(u) du$ ga Kramp funksiyasini qo'yib quyidagini aniqlaymiz:

$$P(u_1 < u < u_2) = \frac{1}{2} [F(u_2) - F(u_1)]. \quad (2.15)$$

Fluktuatsion xalaqit qiymati u_0 dan kattaligi ehtimolligini hisoblash uchun $u_2 = \infty$ va $u_1 = u_0$ qiymatlarni (2.15) ifodaga qo'yish kerak, natijada quyidagini olamiz:

$$P(u > u_0) = \frac{1}{2} [F(\infty) - F(u_0)] = \frac{1}{2} [1 - F(u_0)]. \quad (2.16)$$

(2.16) formula asosida hisoblashlar shuni ko'rsatadiki, fluktuasion xalaqit sathi bo'sag'aviy sath u_0 dan katta bo'lish ehtimolligi u_0 kattalashgan sari kichiklashib boradi. Misol uchun xalaqit sathi $u_0 = 1$ dan katta bo'lish ehtimolligi 0,16 ga teng; xalaqit sathi $u_0 = 3$ dan katta bo'lish ehtimolligi 0,0013 ga teng va $u_0 = 4$ bo'lgan holat uchun $3,5 \cdot 10^{-5}$ va hakazo. Yuqoridagilardan ko'rinadiki fluktuasion xalaqit sathi amalda $u_0 = 3$ dan katta bo'lmaydi. Odatda xalaqitning eng katta qiymatini uning kichik qiymatiga nisbati 3,5...4,5 dan katta emas. Shuning uchun fluktuasion xalaqitni impulssimon xalaqitdan farqlash uchun tekis xalaqit deb ham ataladi.

Oq shovqin – fluktuasion xalaqitning spektri cheksiz keng bo‘lib korrelyatsiya oralig‘i nolga intiladi. Oq shovqin haqidagi tushuncha ideallashtirilgan holat uchun bo‘lib, amalda esa chastota oshgan sari uning energetik spektri kamayib boradi va korrelyatsiya oralig‘i ma‘lum bir kattalikka ega bo‘ladi, ya‘ni $\Delta\tau \neq 0$. Yuqoridagi ideallashtirish xalaqit korrelyatsiya oralig‘i u ta‘sir etayotgan radiotexnik zanjir vaqt davomiyligidan kichik bo‘lgan hol uchun o‘rinli hisoblanadi. Bunday tizimlarning chastotalar o‘tkazish polosasida fluktuasion xalaqitning spektri tashkil etuvchilari bir xil taqsimlangan bo‘ladi.

2.2.2. Tasodifiy jarayon quvvati spektri zichligi

Tasodifiy jarayonlar vaqt funksiyasi bo‘lib, u turli shakllarni qabul qiladi, shuning uchun uning spektri xarakteristikasi ham turlicha bo‘ladi. Agar tasodifiy jarayon (funksiya) $x(t)$ sifatida elektr toki yoki kuchlanishi tushunilsa, u holda ushbu funksiya (signal)ning o‘rtacha kvadratik qiymatini qarshiligi 1 Om bo‘lgan yuklamada ajralib chiqayotgan o‘rtacha quvvat deb qarash mumkin. Ushbu quvvat tashkil etuvchilarining chastotalari ma‘lum bir polosada joylashgan bo‘lib, u ushbu tasodifiy signalning hosil bo‘lish sababiga bog‘liq.

O‘rtacha **quvvatning spektri zichligi** bu ma‘lum bir chastota ω ning 1 Hz polosasi kengligida joylashgan o‘rtacha quvvatini anglatadi, quvvatning chastotalar polosasiga nisbati shaklida aniqlanadi.

$$|G(\omega)| = \left[\frac{\text{quvvat}}{\text{chastotalar polosasi}} \right] = [\text{quvvat} \times \text{vaqt}] = [\text{energiya}].$$

Tasodifiy jarayonning spektr zichligini uni hosil qilgan fizik tasodifiy jarayon ma‘lum bo‘lgan holda aniqlash mumkin. Tasodifiy jarayon $x(t)$ ning T davomiylikka ega bo‘lgan bitta realizatsiyasiga Fure almashtirishini qo‘llab uning spektri zichligini aniqlaymiz. U holda ushbu tahlil etilayotgan T davomiylidagi tasodifiy jarayon spektri zichligi $S_T(\omega)$ ni va u orqali ushbu signal energiyasini aniqlash mumkin, ya‘ni

$$E = \int_{-T/2}^{T/2} x_T^2(t) dt = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} |S_T(\omega)|^2 d\omega. \quad (2.17)$$

(2.17) ifoda orqali aniqlangan energiyani signal davomiyligi T ga bo‘lib, ushbu T vaqt bo‘lagidagi signal o‘rtacha quvvatini topamiz:

$$\overline{x_T^2(t)} = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} \frac{|S_T(\omega)|^2}{T} d\omega. \quad (2.18)$$

Signal davomiyligi T uzaytirilsa, uning energiyasi E kattalashadi, ammo E/T qandaydir chegaraviy kattalikka intiladi. $T \rightarrow \infty$ holat uchun quyidagi ifodani olamiz:

$$\overline{x_T^2(t)} = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} \lim_{T \rightarrow \infty} \frac{|S_T(\omega)|^2}{T} d\omega = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} G(\omega) d\omega, \quad (2.19)$$

bu ifodada

$$G(\omega) = \lim_{T \rightarrow \infty} \frac{|S_T(\omega)|^2}{T}$$

tasodifiy jarayon (signal) o'rtacha quvvati spektri zichligini anglatadi.

Umuman olganda $G(\omega)$ tasodifiy jarayonning bir necha realizatsiyalari asosida aniqlanishi kerak. Ammo ko'p hollarda stasionar va ergodik tasodifiy jarayonning birgina realizatsiyasi asosida olingan quvvat spektri zichligi ham ushbu tasodifiy jarayonni butunlay tavsiflab beradi.

Signalning energetik spektri uni tashkil etuvchi chastotalarning boshlang'ich fazalari haqida hech qanday ma'lumot bermaydi. Signal shaklini vaqt funksiyasi sifatida uning energetik spektri orqali tiklab bo'lmaydi. Signalni faqatgina uning amplituda-chastota va faza-chastota spektrlari ma'lum bo'lgan vaqtdagina tiklash mumkin.

2.3. Uzlüksiz signallarni diskretlash va kvantlash

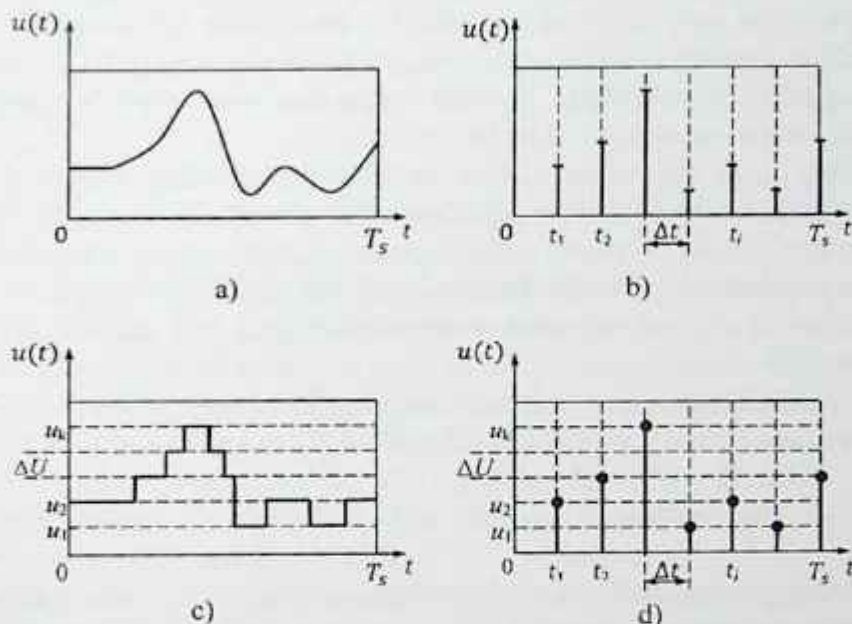
2.3.1. Asosiy tushunchalar va ta'riflar

Analog signallarni raqamli signallarga almashtirish ko'p hollarda bir qator afzalliklarga ega bo'lib, bular qatoriga ularni uzatish, xotirada saqlash, ishlov berish kabi jarayonlar kiradi. Analog signallarni raqamligga almashtirish uni vaqt bo'yicha diskretlash va sath bo'yicha kvantlash – kvantlangan sath qiymatlarini unga eng yaqin bo'lgan sath qiymati bilan almashtirish va sath qiymatini belgilovchi raqamni elementar signallar orqali kodlash natijasida amalga oshiriladi. Ammo ko'p hollarda vaqt bo'yicha diskret va sath bo'yicha kvantlangan signallarni raqamli signal deb atash qabul qilingan. Analog signalni raqamligga almashtirish – **analog raqam almashtirish** (ARA) qurilmasida amalga oshiriladi.

$u(t)$ funksiya orqali ifodalanadigan signal turlarini ko'rib chiqamiz.

Uzlüksiz argument t ning uzluksiz funksiyasi bo'lgan $u(t)$ uzluksiz signal deb ataladi. Bunda uzluksiz signal $u(t)$ ning argumenti t uning boshlanishi $t = 0$ dan ushbu signalning davomiyligiga teng bo'lgan vaqt T_s orasidagi hamma qiymatlarni qabul qiladi, ya'ni $t \in [0, T_s]$ (2.3a-rasm).

Diskret vaqt $t = k\Delta t$ ning uzluksiz funksiyasi bo'lgan $u(k\Delta t)$ signal (2.3b-rasm) vaqt bo'yicha diskret, sath bo'yicha esa uzluksiz signal deb ataladi. Bu signalning funksiyasi argument vaqtning faqat $t = k\Delta t$ onlaridagina qiymatlarga ega bo'ladi. Diskretlash oralig'i Δt bir xil, ba'zi hollarda esa turlicha bo'lishi mumkin.



2.3-rasm. Signallarning turlari: a) – uzluksiz signal; b) – vaqt bo'yicha diskret, sath bo'yicha uzluksiz signal; c) – vaqt bo'yicha uzluksiz, sath bo'yicha diskret signal; d) – vaqt va sath bo'yicha diskret signal.

Uzluksiz argument t ning diskret funksiyasi bo'lgan $u(t) = l\Delta u(t)$ signal vaqt bo'yicha uzluksiz, sath bo'yicha esa diskret signal deb ataladi (2.3c-rasm). Bunda vaqt signal boshlanish va tugash vaqti $t(0, T_s)$ oralig'idagi har qanday qiymatlarni qabul qiladi, sath esa ($l = 0, 1, 2, \dots, N$) ruxsat etilgan sath qiymatlaridan biri bo'lgan $l\Delta u$ qiymatga teng bo'ladi. Bunda ΔU – kvantlash qadami, ya'ni ikki eng yaqin ruxsat etilgan sath orasidagi farqqa teng bo'ladi. Ushbu kvantlash qadami qancha kichik bo'lsa uzluksiz sath qiymatini kvantlangan sath bilan almashtirishdagi xatolikning absolyut qiymati $\varepsilon = \left| \frac{\Delta u}{2} \right|$ shuncha kichik bo'ladi.

Diskret vaqt $t = k\Delta t$ ning diskret funksiyasi $u(t) = [(l\Delta u)(k\Delta t)]$ bo'lgan signal vaqt va sath bo'yicha diskret signal deb ataladi. Bunday signal

diskret vaqt $t = k\Delta t$ larda $u(l\Delta t)$ ($l = 0, 1, 2, \dots, N$) qiymatlardan biriga teng bo'ladi (2.3d-rasm).

Shunday qilib vaqt bo'yicha uzluksiz signal $u(t)$ argumenti t ni uning $k\Delta t$ vaqtlardagi qiymatlari $t = k\Delta t$ ($k = 1, 2, 3, \dots, M$) bilan almashtirish vaqt bo'yicha **diskretlash** deb ataladi va shunga o'xshash signal sathi uzluksiz qiymatlari $u(t)$ ni uning $l\Delta t$ ($l = 0, 1, 2, \dots, N$) sathlarga mos qiymatlari bilan almashtirish, ya'ni sath bo'yicha diskretlash – **kvantlash** deb ataladi.

Uzluksiz signalni vaqt va sath bo'yicha diskret signal $u(l\Delta t; k\Delta t)$ bilan almashtirib, uni kodlash asosida uzatishga asoslangan aloqa tizimi **diskret yoki raqamli aloqa tizimi** deb ataladi.

Vaqt bo'yicha diskretlash natijasida $u(t)$ signal ushbu signalning vaqt bo'yicha diskret oniy qiymatlari $u(k\Delta t)$ bilan almashtiriladi, ya'ni $u(t) \rightarrow u(k\Delta t)$ bo'ladi. Vaqt bo'yicha diskretlangan signalni uning $k\Delta t$ vaqtlarda olingan oniy qiymatlari asosida qayta tiklash mumkin. Ushbu signalni qayta tiklash natijasida olingan signalni – tiklangan signal deb ataladi. Uni $v(t)$ bilan belgilaymiz.

Tiklovchi funksiya $v(t)$ uzluksiz signal $u(t)$ ning $k\Delta t$ yoki $t - k\Delta t$ vaqtlardagi oniy qiymatlari yig'indisi shaklida aniqlanadi, ya'ni

$$v(t) = \sum_{k=1}^M a_k u(t - k\Delta t), \quad (2.20)$$

bunda, koeffitsiyent a_k ning qiymatlari diskretlangan signalning $t = k\Delta t$ vaqtdagi oniy qiymatlariga bog'liq.

Vaqt bo'yicha diskretlash oralig'i shunday tanlanishi kerakki, tiklangan signal $v(t)$ birlamchi uzluksiz signal $u(t)$ dan talab etiladigan darajadan ko'p farq qilmasligi kerak. Agar diskretlash oralig'i Δt kichik qilib tanlansa, davomiyligi T_s ga teng bo'lgan signaldan olingan oniy qiymatlarning soni ko'p bo'ladi, signalni qayta tiklash aniqligi yuqori bo'ladi. Aksincha, agar diskretlash oralig'i Δt katta qilib tanlansa, oniy qiymatlarning soni kam bo'ladi, natijada signalni qayta tiklash aniqligi ham kamayadi.

Diskretlash oralig'i, yoki davomiyligi T_s bo'lgan signaldan Δt vaqt oralig'ida olingan qiymatlar sonining signalni qayta tiklashdagi aniqlikni ta'minlovchi soni $M = \frac{T_s}{\Delta t}$ – uning optimal soni hisoblanadi.

Davomiyligi T_s bo'lgan signaldan olingan oniy qiymatlarning soni uning optimal qiymatidan ko'p – ortiqcha bo'lsa, u aloqa kanalining signal o'tkazish imkoniyatini oshirishni, EHMning signalga ishlov berish tezligini oshirishni talab qiladi, natijada xotirada saqlovchi va ro'yxatga oluvchi qurilmalar tan narxining oshishiga sabab bo'ladi. Shu nuqtai nazardan

uzatilayotgan signaldagi ortiqchalikni – ortiqcha ma'lumotlarni qisqartirish kerak, ya'ni uzluksiz signalni uning diskret vaqtlardagi oniy qiymatlari orqali tiklashda talab etiladigan optimal sonidan ortiqcha bo'lmagani ma'qul.

Qabul qilingan belgilariga qarab signallarni diskretlash va qayta tiklash usullarini bir necha guruhlariga bo'lish mumkin. Ushbu usullarni guruhlariga bo'lish – klassifikatsiyalash uchun quyidagi belgi (alamat)larni tanlaymiz [5]:

- oniy qiymatlarni olishning vaqt bo'yicha takrorlanishiga qarab;
- diskretizatsiyalash va qayta tiklash aniqligini baholash me'yori bo'yicha;
- bazis funksiyalar turiga qarab;
- tiklangan signalni birlamchi signalga qanchalik yaqinligiga qarab.

2.3.2. Uzluksiz signallarni bir xil oraliqlarda diskretlash.

Kotelnikov teoremasi

Vaqt bo'yicha diskretlash natijasida uzluksiz signal $u(t)$ bir-birini qamrab olmaydigan davomiyligi Δt_i bo'lgan oraliqlarga bo'linadi.

Diskretlash oraliq'i Δt_i ($i = 0, 1, 2, \dots, M$) ning qanday vaqt oraliq'ida davom etishiga qarab, ularni ikki guruhga bo'lish mumkin: bir xil davomiylik va turli davomiylikka ega bo'lgan. Signalni qayta tiklash ham shunga mos ravishda amalga oshiriladi.

Diskretlash oraliq'i davomiyligi bir xil bo'lgan signal deb T_s davomiylikka ega bo'lgan uzluksiz signaldan bir xil $\Delta t = \text{const}$ vaqt oraliqlarida uning oniy qiymatlarini aniqlashga aytiladi. Bunda diskretlash oraliq'i Δt yoki diskretlash chastotasi $F_d = \frac{1}{\Delta t}$ diskretlanayotgan uzluksiz signal $u(t)$ ning spektri haqidagi avvaldan ma'lum ma'lumotlar asosida tanlanadi.

Diskretlash oraliq'ining bir xil bo'lishi diskretlash va qayta tiklash algoritmining sodda bo'lishini ta'minlaydi. Ammo diskretlanadigan uzluksiz signal spektrining o'zgarishi haqidagi ma'lumotlar avvaldan yetarli darajada ma'lum emasligi uni diskretlashda ortiqchaliklar hosil bo'lishiga olib keladi.

Vaqt bo'yicha diskretlash oraliq'i Δt turlicha bo'lsa, bunday diskretlash notekis diskretlash deb ataladi. Notekis diskretlash ikki turli bo'ladi: adaptiv va dasturiy.

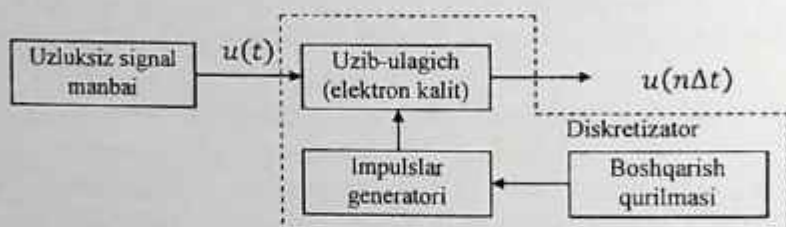
Adaptiv (moslashuvchi) diskretlashda diskretlash oraliq'i uzluksiz signalning spektri o'zgarishiga (tez va asta) mos ravishda o'zgarib boradi. Signalni adaptiv diskretlash uni uzatishdagi ortiqchalikni sezilarli darajada kamaytiradi, buning natijasida aloqa kanalining xabar o'tkazish imkoniyati

oshadi. Hozirda adaptiv impuls-kod modulyatsiyali signallardan foydalanishga asoslangan aloqa tizimlari mavjud.

Diskretlash oralig'ini dasturiy o'zgartirishga asoslangan aloqa tizimlarida diskretlash oralig'i operator tomonidan uzluksiz signalni tahlil etish asosida yoki oldindan o'rnatilgan ishlash dasturi asosida o'zgartirib turiladi.

Uzluksiz signallarni bir xil oraliqlarda diskretlashda Δt_i larning davomiyligi va diskretlash chastotasi f_d o'zgarmas – doimiy bo'ladi.

Uzluksiz signalni vaqt bo'yicha diskretlovchi qurilma **diskretizator** deb ataladi. 2.4-rasmda diskretizatorning funksional sxemasi keltirilgan.



2.4-rasm. Diskretizatorning funksional sxemasi

Diskretizatorni uzluksiz signalni ma'lum vaqtlarda elektron kalit yordamida uzib-ulovchi qurilma deb tahlil etish mumkin. Impulslar generatoridan elektron kalit kirishlaridan biriga berilayotgan signallar yordamida uning kirishiga berilgan uzluksiz $u(t)$ signal impulslar ketma-ketligiga o'zgartiriladi. Impulslar generatorining ish jarayoni boshqarish qurilmasi orqali boshqariladi. Bir xil vaqt oraliqlarida diskretlashda impuls generatoridan elektron kalitga berilayotgan impulslar chastotasi bir xil – o'zgarmas bo'ladi.

V.A. Kotelnikov tomonidan spektri yuqori chastotasi chegaralangan funksiya (signal) uchun **teorema** yaratilgan. Ushbu teorema quyidagicha ta'riflanadi: spektrining eng yuqori chastotasi F_m bilan chegaralangan funksiya (signal) $u(t)$ o'zining $\frac{1}{2F_m}$ sekund vaqt oraliqlarida olingan oniy qiymatlarining ketma-ketligi orqali to'liq qayta tiklanadi. Ushbu teoremaga asosan spektrining eng yuqori chastotasi $\omega_m = 2\pi F_m$ bo'lgan uzluksiz signal $u(t)$ ni quyidagi qator orqali ifodalash mumkin:

$$u(t) = \sum_{k=-\infty}^{\infty} u\left(\frac{k}{2F_m}\right) \frac{\sin \omega_m(t - k\Delta t)}{\omega_m(t - k\Delta t)} = \sum_{n=-\infty}^{\infty} u(k\Delta t) \varphi_k(t). \quad (2.21)$$

bunda, $\Delta t = \frac{1}{2F_m}$ – ikki qo'shni diskretlash vaqti oralig'idagi qiymat, $u(k\Delta t)$ – $u(t)$ uzluksiz signalning $t = k\Delta t$ vaqt oraliqlarida olingan oniy qiymatlari.

(2.21) interpolatsiyalash qatori – **Kotelnikov qatori** deb ataladi. Uzluksiz signal $u(t)$ ni Kotelnikov qatori bilan interpolatsiyalash mumkinligini ko'rib chiqamiz. Spektri kengligi chegaralangan $u(t)$ signal uchun Furye almashtirishini qo'llab signal spektrini quyidagicha ifodalaymiz:

$$\dot{S}(\omega) = \int_{-\infty}^{\infty} u(t)e^{-j\omega t} dt, \quad (2.22)$$

bunda, $|\omega| > \omega_m$ chastotalarda $S(j\omega) = 0$ bo'lishini e'tiborga olish natijasida hamda past chastotani anglatuvchi F_m o'rniga umumlashgan holatni e'tiborga olgan holda ω_m dan foydalanib, signalning kompleks spektri orqali Furye teskari almashtirishidan foydalanib uzluksiz signal $u(t)$ ni aniqlaymiz:

$$u(t) = \frac{1}{2\pi} \int_{-\omega_m}^{\omega_m} \dot{S}(\omega) e^{j\omega t} d\omega. \quad (2.23)$$

Signal spektri $\dot{S}(\omega)$ ni $[-\omega_m; \omega_m]$ chastotalar oralig'i uchun quyidagi qator ko'rinishida ifodalash mumkin:

$$\dot{S}(\omega) = \sum_{k=-\infty}^{\infty} C_k e^{j\frac{k\pi\omega}{\omega_m}}. \quad (2.24)$$

(2.24) ifodadagi C_k $u(t)$ signal spektri tashkil etuvchilarining koeffitsiyentlari bo'lib, u quyidagi formula orqali aniqlanadi:

$$C_k = \frac{1}{2\omega_m} \int_{-\infty}^{\infty} \dot{S}(\omega) e^{j\frac{k\pi\omega}{\omega_m}} d\omega. \quad (2.25)$$

(2.23) va (2.25) ifodalarni taqqoslash shuni ko'rsatadiki ular bir-biri bilan $\Delta t = \frac{\pi}{\omega_m}$ o'zgarmas kattalikkacha aniqlik bilan bir-biriga mos keladi, bunda uzluksiz vaqt $t = -k\Delta t$ deb qabul qilinadi, natijada

$$C_k = \frac{\pi}{\omega_m} u(-k\Delta t). \quad (2.26)$$

(2.26) ifodani (2.24) ifodaga qo'yib $u(t)$ signal spektri funksiyasini quyidagi ko'rinishga keltiramiz:

$$\dot{S}(\omega) = \sum_{k=-\infty}^{\infty} \frac{\pi}{\omega_m} u(-k\Delta t) e^{j\frac{k\pi\omega}{\omega_m}}. \quad (2.27)$$

(2.27) formulani (2.23) formulaga qo'yamiz, bunda qator yig'indisi alohida tashkil etuvchilari k ning hamma musbat va manfiy qiymatlari uchun aniqlanishini e'tiborga olib k ondagi minus belgisini plusga almashtirish mumkin. Bundan tashqari (2.27) qatorni Furiye integraliga yaqinlashishini e'tiborga olib integrallash va yig'ish (qo'shish) amallarini bajarish ketma-ketligini almashtirish mumkin, ya'ni avval integrallash amalini so'ngra qo'shish amalini bajarish mumkin. U holda

$$\begin{aligned} u(t) &= \frac{1}{2\pi} \int_{-\omega_m}^{\omega_m} e^{j\omega t} d\omega \sum_{k=-\infty}^{\infty} \frac{\pi}{\omega_m} u(-k\Delta t) e^{j\frac{k\pi\omega}{\omega_m}} = \\ &= \frac{1}{2\pi} \sum_{k=-\infty}^{\infty} u(k\Delta t) \int_{-\omega_m}^{\omega_m} e^{j\omega(t-k\Delta t)} d\omega. \end{aligned} \quad (2.28)$$

(2.28) formuladagi integrallash natijasi

$$\int_{-\omega_m}^{\omega_m} e^{j\omega(t-k\Delta t)} d\omega = \frac{2 \sin \omega_m(t-k\Delta t)}{\omega_m(t-k\Delta t)}$$

ni e'tiborga olsak, (2.28) formula (2.21) ko'rinishni oladi.

(2.21) ifodadan ko'rinadiki, spektri F_m chastota bilan chegaralangan $u(t)$ signal o'zining

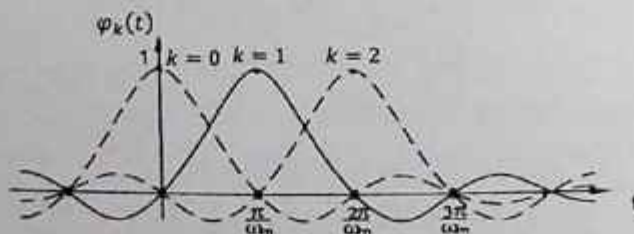
$$\Delta t = \frac{1}{2F_m} = \frac{\pi}{\omega_m} \quad (2.29)$$

oraliqlarda olingan $u(k\Delta t)$ qiymatlari orqali qayta tiklanishi mumkin.

Uzluksiz signal ikki tashkil etuvchidan: birinchisi $u(t)$ signalning $k\Delta t$ vaqtlarda olingan oniy qiymatlari $u(k\Delta t)$; ikkinchisi esa uzluksiz signalni vaqt bo'yicha asos (bazis) funksiyasi

$$\varphi_k(t) = \frac{\sin \omega_m(t-k\Delta t)}{\omega_m(t-k\Delta t)} \quad (2.30)$$

dan iborat bo'lib, bu funksiyaning grafigi 2.5-rasmda keltirilgan.



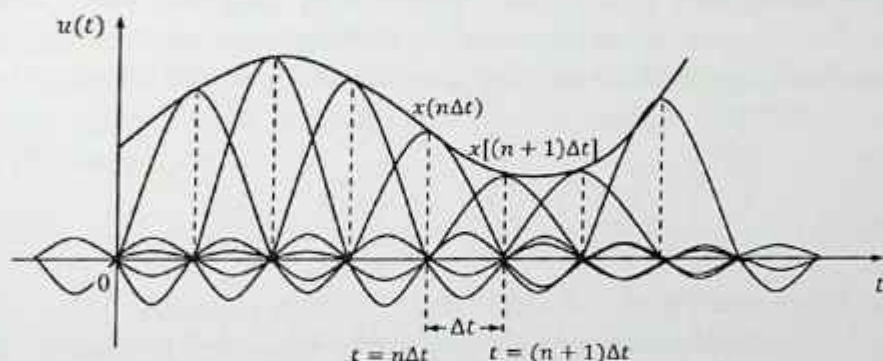
2.5-rasm. Vaqt bo'yicha ortogonal bazis (asos) funksiya

Oniy qiymat bazis funksiyasi quyidagi *xossalarga ega*:

1. $t = k\Delta t$ vaqtlarda $\varphi_k(k\Delta t) = 1$ va $t = n\Delta t$ vaqtlarda $\varphi_k(n\Delta t) = 0$, bunda $n - k$ ga teng teng bo'lmagan musbat yoki manfiy butun son;
2. $\varphi_k(t)$ vaqt funksiyasining spektri zichligi $|\omega| < \omega_m$ chastotalar oralig'ida bir tekis bo'lib, qiymati $\frac{1}{2F_m} = \frac{\pi}{\omega_m}$ ga teng.

Uzluksiz signal $u(t)$ ni $\varphi_k(t)$ bazis funksiya orqali tasvirlashga tegishli chizma 2.6-rasmda keltirilgan. Vaqt bazis funksiyasi $\varphi_k(t)$ ni ba'zan Kotelnikov funksiyasi deb ham ataladi.

(2.21) formulani keltirib chiqarishda uzluksiz signal $u(t)$ Direxle shartiga javob beradi deb qabul qilingan. Shuning uchun olingan natijani $t \rightarrow \infty$ da qiymati nolga teng bo'lmaydigan signallarga nisbatan qo'llash imkoniyatini bermaydi.



2.6-rasm. Uzluksiz signalni Kotelnikov qatori orqali qayta tiklashga oid

Kotelnikov teoremasi spektri kengligi chegaralangan, cheksiz davomiylikka ega bo'lgan signallarga tegishli. Haqiqiy signallar ma'lum bir davomiylikka ega bo'ladi. Har qanday davomiyligi chegaralangan signal heksiz keng spektrga ega bo'lib, (2.21) ifodani haqiqiy – real signallarga nisbatan qo'llash uni qayta tiklashda ma'lum darajada tiklangan signalning iskretlangan uzluksiz signaldan farqlanishiga olib keladi, bunga sabab iskretlash oralig'i (2.29) ni tanlash yoki diskretlash chastotasi $f_d = 2F_m$ ni tanlashdagi noaniqlikdir. Shuning uchun Kotelnikov teoremasini qayta tiklangan signal $v(t)$ uzatilgan diskretlangan signal $u(k\Delta t)$ lar asosida $v(t) \equiv u(k\Delta t)$ aniqlikda amalga oshirish uchun qo'llash mumkin emas, ma'lum bunday aniqlik talab etilmasligi, aniqlik mezoni berilgan holatlarda aydullanish mumkin.

Davomiyligi T_s bo'lgan va spektri eng yuqori chastotasi F_m bo'lgan signaldan

$$N = \frac{T}{\Delta t} = 2F_m T \quad (2.31)$$

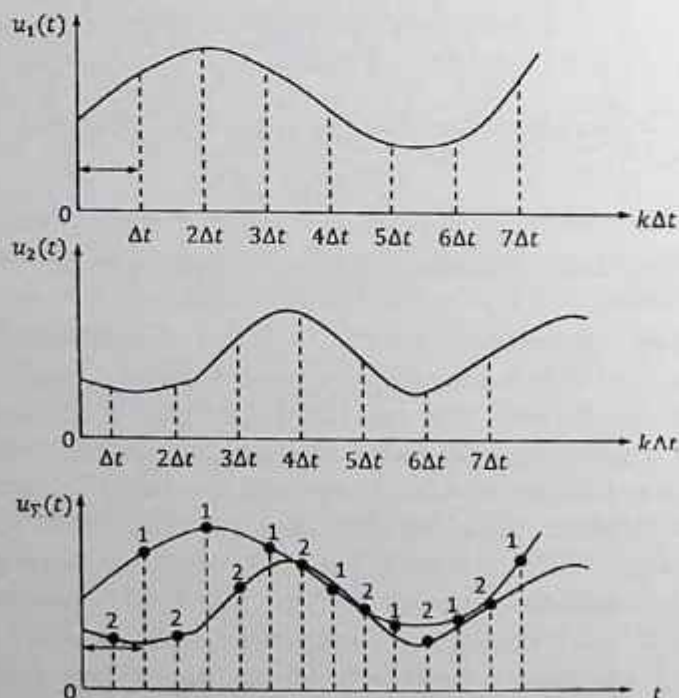
ta bir-biriga bog'liq bo'lmagan oniy qiymatlarni olish mumkin.

(2.31) ifodani e'tiborga olib (2.21) formulani quyidagi ko'rinishga keltirish mumkin:

$$u(t) = \sum_{n=0}^{2F_m T} u(k\Delta t) \frac{\sin \omega_m(t - k\Delta t)}{\omega_m(t - k\Delta t)}. \quad (2.32)$$

N ning qiymati $u(t)$ signalning bir-biriga bog'liq bo'lmagan bazis funksiyalari soniga teng bo'lib, ba'zan uni signalning erkinlik darajasi, bazasi deb ham ataladi.

Uzluksiz signalni Kotelnikov qatori orqali ifodalash aloqa kanallarini vaqt bo'yicha zichlab, ikki qo'shni diskret vaqt oralig'ida boshqa axborot manbalaridan olingan signallarni uzatish imkoniyatini yaratadi. Signallarni ushbu asosda shakllantirish vaqt diagrammalari 2.7-rasmida keltirilgan.



2.7-rasm. Vaqt bo'yicha zichlashgan aloqa tizimida guruh signalini shakllantirish

Kotelnikov teoremasi impuls modulyatsiyasi signallarini shakllantirishda uning tashuvchisi vazifasini bajaruvchi impulslar takrorlanish chastotasini tanlash, har qanday spektri kengligi va davomiyligi cheklangan uzluksiz signallarni raqamli shaklda uzatish imkoniyatini beradi. Aloqa tizimida bir qator afzalliklarga ega bo'lgan raqamli sxemotexnikadan, signallarga raqamli ishlov berish usullaridan, axborotni raqamli shaklda xotirada saqlash, turli kodlash usullaridan foydalanib axborot uzatish xalaqitbardoshligini oshirish, signallarni regeneratsiya qilish, turli integral mikrosxemalardan aloqa tizimi qurilmalarida foydalanish har qanday signalni yagona raqamli shaklda uzatish imkoniyatini yaratdi [3].

2.3.3. Diskretlangan signal spektri

Uzluksiz signal $u(t)$ ni diskretlash natijasida uning $k\Delta t$ vaqtlarda olingan oniy qiymatlari $u(k\Delta t)$ ga mos keluvchi impulslar ketma-ketligi $u_d(t)$ shakllanadi. Analog signal spektri $S(j\omega)$ ni diskretlangan signal spektri $S_d(j\omega)$ bilan bog'liqligini aniqlaymiz.

Diskretlangan signalni analog signalning $u(k\Delta t)$ vaqtlardagi oniy qiymatlarga proporsional δ -funksiyalar ketma-ketligi shaklida ifodalash mumkin (2.8-rasm), ya'ni

$$u_d(t) = \sum_{n=-\infty}^{\infty} u(n\Delta t) \delta(t - n\Delta t). \quad (2.33)$$

$\delta(t - n\Delta t)$ funksiya faqat $t = n\Delta t$ vaqtlarda nolga teng bo'lmastligini e'tiborga olib, (2.33) formulani quyidagi shaklga keltirish mumkin:

$$u_d(t) = u(t) \sum_{n=-\infty}^{\infty} \delta(t - n\Delta t). \quad (2.34)$$

(2.34) formuladagi yig'indi (summa) – bu davriy funksiya bo'lib, uni quyidagi Furiye qatori ko'rinishiga keltirish mumkin:

$$\sum_{n=-\infty}^{\infty} \delta(t - n\Delta t) = \sum_{k=-\infty}^{\infty} \dot{C}_k e^{jk\omega_d t}.$$

Ushbu qatorning koeffitsiyentlari $\dot{C}_k$ ni aniqlaymiz.

$$\dot{C}_k = \frac{1}{\Delta t} \int_{-\Delta t/2}^{\Delta t/2} \delta(t) e^{-jk\omega_d t} dt = \frac{1}{\Delta t},$$

bunda, $\omega_d = \frac{2\pi}{\Delta t}$ – diskretlash chastotasi.

$\hat{C}_k$ koeffitsiyentlarni hisoblashda δ -funksiyaning tanlovchanlik hossasi va integrallash oralig'i $(-\frac{\Delta t}{2}, \Delta t/2)$ ga ($n = 0$ bo'lganda) faqat bitta δ -funksiya tushadi.

Shunday qilib, davriy takrorlanuvchi δ -funksiyalarni quyidagi Furiye kompleks qatori shaklida ifodalash mumkin:

$$\sum_{n=-\infty}^{\infty} \delta(t - n\Delta t) = \frac{1}{\Delta t} \sum_{k=-\infty}^{\infty} e^{jk\omega_d t}.$$

U holda

$$u_d(t) = u(t) \sum_{n=-\infty}^{\infty} \delta(t - n\Delta t) = \frac{u(t)}{\Delta t} \sum_{k=-\infty}^{\infty} e^{jk\omega_d t} = \frac{1}{\Delta t} \sum_{k=-\infty}^{\infty} u(t) e^{jk\omega_d t}.$$

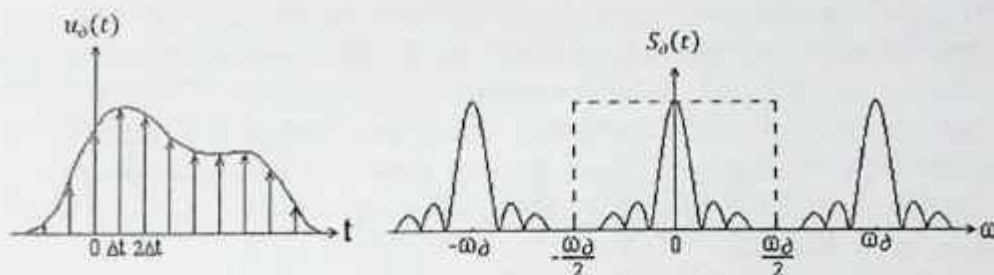
Furiye almashtirish xossasidan ma'lumki, signalni $e^{jk\omega_d t}$ ga ko'paytirish, ushbu signal spektrini o'ng tomonga $k\omega_d$ ga siljishiga olib keladi. Shuning uchun diskretlangan signal spektrini quyidagicha ko'rinishda ifodalash mumkin:

$$S_d(j\omega) = \frac{1}{\Delta t} \sum_{k=-\infty}^{\infty} S[j(\omega - k\omega_d)]. \quad (2.35)$$

Shunday qilib, diskretlangan signal spektri analog signal spektrining o'ng tomonga siljigan cheksiz ko'p nusxalaridan iborat bo'ladi. Qo'shni spektrlar nusxalari orasidagi spektr siljishi qiymati diskretlash chastotasi ω_d ga teng bo'ladi (2.8-rasm).

Diskretlangan signal spektri Furiye to'g'ri va teskari almashtirishlari chastota va vaqtning bir-biriga bog'liqligini tasdiqlaydi. Agar signal diskret bo'lsa uning spektri uzluksiz bo'ladi; agar signal uzluksiz bo'lsa uning spektri diskret bo'ladi. Shuningdek davriy signal spektri diskret, nodavriy signal spektri uzluksiz bo'ladi.

Uzluksiz signalni uning diskret vaqtlardagi oniy qiymatlari asosida tiklash usuli 2.8-rasmda keltirilgan. Buning uchun diskret signalni chastota o'tkazish polosasining kengligi diskretlash chastotasining yarmiga teng bo'lgan past chastotalar filtridan o'tkazish kerak bo'ladi. Ushbu past chastotalar filtri amplituda-chastota xarakteristikasi 2.8-rasmda punktir chiziq orqali belgilangan.



2.8-rasm. Diskretlangan signal va uning spektri

Uzluksiz signalni aniq qayta tiklash uchun uning diskret oniy qiymatlarining spektri bir-birining ustiga qisman bo'lsa ham tushmasligi kerak. Buning uchun diskretlash chastotasi F_d uzluksiz signalning chegaraviy qiymati F_m dan kamida 2 marta katta bo'lishi talab etiladi, ya'ni $F_d \geq 2F_m$, natijada $\Delta t \leq \frac{1}{2F_m}$ bo'lishi kerak.

Uzluksiz signalni uning diskret qiymatlari yig'indisi sifatida ifodalash diskret signallar spektrini tahlil etishni soddalashtiradi. Diskretlangan uzluksiz signal spektri $S_d(j\omega)$ ni uning $k\Delta t$ vaqtlardagi oniy qiymatlari orqali aniqlash mumkin.

$$\begin{aligned}
 S_d(j\omega) &= \int_{-\infty}^{\infty} u_d(t) e^{-j\omega t} dt = \int_{-\infty}^{\infty} \sum_{n=-\infty}^{\infty} \delta(t - n\Delta t) u(n\Delta t) e^{-jk\omega t} dt = \\
 &= \sum_{n=-\infty}^{\infty} u(n\Delta t) \int_{-\infty}^{\infty} \delta(t - n\Delta t) e^{-jk\omega t} dt = \sum_{n=-\infty}^{\infty} u(n\Delta t) e^{-jkn\omega\Delta t}.
 \end{aligned}$$

Shuni ta'kidlash kerakki, (2.35) formulada $\frac{1}{\Delta t}$ ko'paytma borligi uchun diskretlangan signal spektri 1/sek o'lchamiga, ya'ni F - siklik chastota o'lchov birligiga mos keladi [36].

2.3.4. Adaptiv diskretlash

Adaptiv diskretlashda diskretlash oralig'i Δt_i turlicha bo'lib, diskretlanayotgan signal sathining va spektrining o'zgarishiga qarab muntazam ravishda o'zgarib turadi, davriy ravishda takrorlanmaydi. Bunda diskretlash vaqti oraliqlari turlicha bo'ladi, uni tanlashda qabullash tomonida signalni qayta tiklash aniqligiga bo'lgan talab asos qilib olinadi. Shunday qilib, adaptiv diskretlashda ma'lum aniqlik bilan signalni qayta tiklashga yetarli oniy qiymatlar – asos qiymatlar olinadi.

Adaptiv diskretlangan signalni qayta tiklash uchun uzatish tomonida tanlangan diskretlash vaqti Δt_i yoki har bir diskretlash vaqti davomiyligi $\Delta t = \Delta t_{i+1} - \Delta t_i$ haqidagi ma'lumot signali uzatilishi kerak.

Hozirda adaptiv diskretlashning bir qator usullari va algoritmlari mavjud bo'lib, ulardan quyidagi ikki guruhni alohida ta'kidlash mumkin:

- uzatilgan signal $u(t)$ ning asosiy xarakteristikalari asosida qabul qilingan – qayta tiklangan $v(t)$ signal bilan taqqoslash usuli;
- qayta tiklangan signalni doimiy o'zgarmas parametrlarga ega bo'lgan etalon signal $v'(t)$ signal bilan taqqoslash usuli.

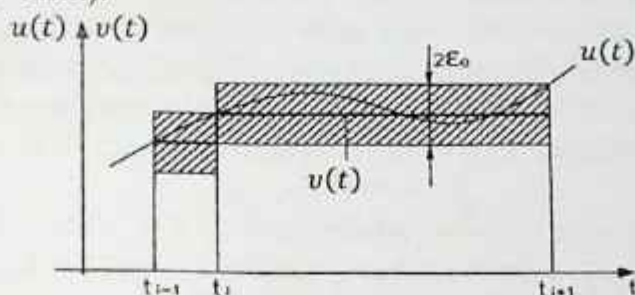
Bu ikki usuldan $u(t)$ signalni adaptiv diskretlashga va tiklangan signal $v(t)$ bilan taqqoslash usuli amaliy ahamiyatga ega bo'lib, bu usuldan foydalanilganda ortiqchalikni kamaytirish samaradorligining yuqoriligiga erishish mumkin va signalni diskretizatsiyalab uzatishga tegishli ma'lumotlar hajmi ham sezilarli darajada qisqaradi. Umuman olganda adaptiv diskretlashga asosanib $u(t)$ signal uzatilganda uni tiklashda $t_{i+1} - t_i = \Delta t$ vaqt oralig'ida $u(t)$ ga talab etiladigan aniqlikni ta'minlovchi $v(t)$ ni izlashdan iborat bo'ladi.

Adaptiv diskretlashni shunday tashkil etish mumkin, bunda $t_{i+1} - t_i = \Delta t$ o'zgarmas vaqt davomiyligida qabullangan $v(t)$ signalning turi yoki uni talab darajasidagi aniqlik mezonini qoniqtiradigan darajada yaqinlashishi, yoki talab darajasidagi yaqinlik darajasi va signal $v(t)$ shakli saqlangan holda uning davomiyligi Δt_i o'zgarishi mumkin. Ba'zan har ikki usulda adaptiv diskretlash asosida signalni qayta tiklash usulidan foydalanish mumkin.

Adaptiv diskretlash quyidagi ikki usulda ham amalga oshirilishi mumkin. Birinchisi, diskretlash oralig'i Δt o'zgarmas saqlangan holda $u(t)$ ga yaqinlashuvchi funksiya turi va uning yaqinlashish darajasi o'zgartiriladi. Ikkinchisi yaqinlashuvchi funksiya turi va yaqinlashish darajasi o'zgarmas saqlab qolinganda diskretlash oralig'i Δt o'zgartiriladi. Umuman olganda tiklangan signal $v(t)$ ni talab darajasida $u(t)$ ga yaqinlashtirish uchun yuqorida keltirilgan har ikki usuldan birgalikda foydalanish mumkin.

Amalda vaqt bo'yicha diskretlash oralig'i $\Delta t = \text{const}$ bo'lmagan adaptatsiya, nolinci va birinchi darajali algebralik polinomdan foydalanish usulidan keng foydalaniladi. Adaptiv diskretlashda $v(t)$ ning $u(t)$ ga yaqinlashish darajasini eng kichik absolyut orqali baholash mezonini asosida ko'rib chiqamiz. Adaptiv diskretlashda nolinci darajali polinomni qo'llab ekstrapolyatsiya usulidan foydalanilganda uzluksiz signal $u(t)$ ning Δt_i vaqtdagi oniy qiymati undan bitta oldingi diskretlash vaqti Δt_{i-1} dagi oniy qiymati bilan taqqoslanadi.

Masalan, diskretlangan signalning $t_i; t_{i+1}$ vaqt oralig'idagi qiymati $v(t) = u(t_i)$ qilib tanlanadi. Bunda $u(t_i)$ – uzluksiz signalning t_i vaqtidagi oniy qiymati (2.9-rasm).



2.9-rasm. Nolinchi darajali polinom bilan adaptiv diskretlash

Diskretizatorida $u(t)$ ning $t_i; t_{i+1}$ vaqtlardagi oniy qiymatlari farqi $\Delta u = u_{i+1} - u_i$ aniqlanadi va ushbu farqning moduli (absolyut farqi) ruxsat etilgan xatolik ε_0 bilan taqqoslanadi. Navbatdagi $u(t)$ ning oniy qiymatini olish vaqti t_{i+1} $v(t)$ ning $u(t)$ dan farqi $|\Delta u(t)| = \varepsilon_0$ qilib olinadi. Nolinchi darajali polinomdan foydalanish usuli adaptiv diskretlash qurilmasida keng qo'llaniladi.

Adaptiv diskretlashda birinchi darajali polinomdan foydalanilganda $t_i; t_{i+1}$ vaqt oralig'ida qayta tiklangan signal $v(t)$ quyidagicha aniqlanadi:

$$v(t) = u(t_i) + [u'(t_i)] \cdot t. \quad (2.36)$$

Bunda diskretlash qurilmasida har bir $\Delta t = t_{i+1} - t_i$ vaqt oralig'ida generator $u(t)$ ga $\Delta u(t)$ xatolik bilan yaqinlashuvchi $v(t)$ signalni shakllantiradi va $u(t)$ ning oniy qiymatlarini olish – diskretizatsiyalash vaqtida $|\Delta u(t)| = \varepsilon_0$ bo'lishi talab etiladi. Bu usuldan foydalanilganda $t_i; t_{i+1}$ vaqt oraliqlarida $u(t)$ ga talab darajasidagi aniqlik bilan yaqinlashuvchi $v(t)$ ni aniqlash uchun $u(t)$ signalni differensiallash kerak bo'ladi.

Shuni alohida ta'kidlash kerakki, birinchi darajali polinomdan foydalanib adaptiv diskretlashni amalga oshirish qurilmasi nolinchi darajali polinomdan foydalanib adaptiv diskretlashga nisbatan murakkab bo'ladi.

Etalon (namunaviy) yaqinlashtiruvchi funksiya (signal)lar asosida adaptiv diskretlash usulidan foydalanilganda uzluksiz signal $u(t)$ dan oniy qiymatni olish vaqtidagi signal etalon (namunaviy) signallar generatori shakllantirayotgan $z(t)$ signallar bilan taqqoslash asosida aniqlanadi, natijada tiklangan signal $v(t)$ ning uzatilayotgan $u(t)$ signaldan diskretlash vaqtidagi farqi $\Delta u(t) \leq \varepsilon_0$ bo'lishi ta'minlanadi.

2.3.5. Kvantlash

Uzluksiz signalni sath bo'yicha diskretlash **kvantlash** deb ataladi. Kvantlash natijasida uzluksiz signal $u(t)$ ning t_i vaqtlardagi diskret oniy qiymatlari aniqlanadi. Kvantlashda uzluksiz signal $u(t)$ ning qiymatlari N ta bir-biridan ΔU ga farqlanuvchi sathlarga bo'linadi. ΔU – **kvantlash oralig'i (qadami)** deb ataladi. Kvantlash oralig'i ΔU ning qiymati ikki qo'shni kvantlash sathi orasidagi farq orqali aniqlanadi, ya'ni

$$|\Delta U| = U_n - U_{n+1},$$

bunda U_n va U_{n+1} qo'shni kvantlash sathlari.

Ko'p hollarda kvantlanadigan uzluksiz signal dinamik diapazoni $\Delta = U_{max}/U_{min}$ ma'lum bo'ladi. Kvantlashda qiymati U_{max} va U_{min} oralig'ida o'zgaruvchi signal sathi N ta sathga bo'linadi. Kvantlash natijasida $u(t)$ signalning t_i vaqtlardagi oniy qiymatlari ruxsat etilgan sathlardan eng yaqini bilan almashtiriladi. Buning natijasida kvantlash xatoligi $\varepsilon_k \leq \Delta U/2$ dan katta bo'lmaydi.

Kvantlash natijasida $u(t)$ signal kvantlash sathlaridan biriga teng qiymatga tenglashtiriladi. Kvantlash sathlarini tegishli raqamlar bilan belgilash va ushbu raqamlarga diskret elementar signallardan tashkil topgan kodlar kombinatsiyalarini biriktirib ularni aloqa kanali orqali uzatish, xotirada saqlash mumkin. Ushbu vaqt bo'yicha diskretlangan, sath bo'yicha kvantlangan va sathlar qiymatlari kodlangan signal raqamli signal deb ataladi. Aloqa kanalining qabullash qurilmasida raqamli signalning kod kombinatsiyalari asosida uzluksiz signal talab etiladigan aniqlik bilan qayta tiklanadi. Xalaqitlarsiz ideal aloqa kanali qabullash qurilmasi chiqishidagi qayta tiklangan signal $v(t)$ umuman olganda uzatilgan birlamchi signal $u(t)$ ga teng bo'lmaydi, ya'ni

$$u(t) \neq v(t).$$

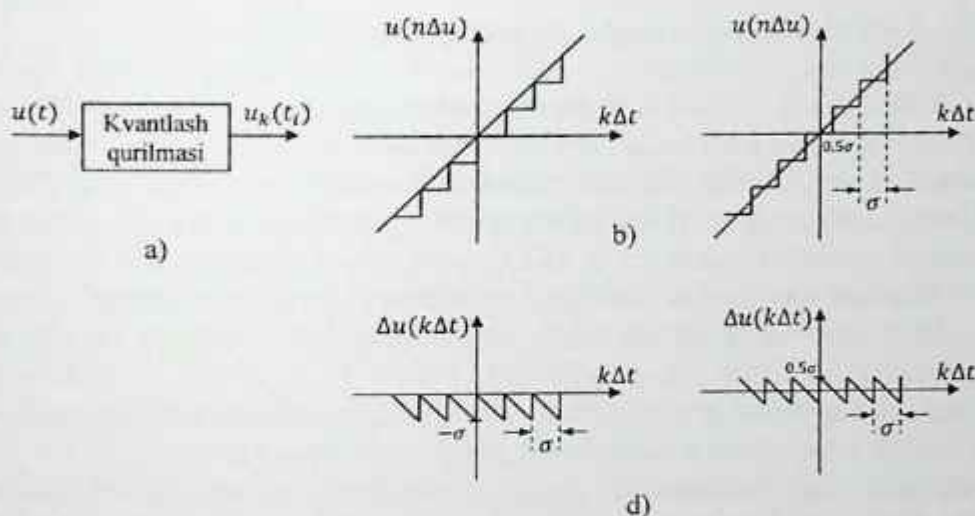
Qayta tiklangan $v(t)$ signalning uzatilgan $u(t)$ dan farqi $\Delta u_x(t) = v(t) - u(t)$ ni talab etiladigan aniqlik ε_0 dan katta bo'lmashligini, ya'ni $|\Delta u_x(t)| \leq \varepsilon_0$ ni ta'minlash uchun kvantlash oralig'i $\Delta U \leq |\Delta u_x(t)| \leq \varepsilon_0$ shartiga javob berishi kerak.

Signalni sath bo'yicha kvantlovchi qurilma kvantlash qurilmasi deb ataladi (2.10a-rasm). Kvantlash qurilmasining amplituda xarakteristikasi 2.10b-rasmda keltirilgan bo'lib, u kvantlash sathini eng yaqin kichik kvantlash sathiga tenglashtirishdagi (2.10b-rasm) yoki kvantlash sathi oniy qiymatini eng yaqin ruxsat etilgan sath qiymati bilan almashtirishdagi (2.10d-rasm) ko'rinishda bo'ladi.

Sath bo'yicha kvantlangan signal kvantlash xatoligi yoki boshqacha qilib aytganda kvantlash shovqini bilan birga uzatiladi. Kvantlash xatoligi,

kvantlash shovqini $\Delta u_i = u(t_i) - u_i$ diskret vaqtlarga mos keluvchi signal haqiqiy oniy qiymatini ruxsat etilgan eng yaqin kvantlash sathi qiymati bilan almashtirish natijasida hosil bo'ladi. Kvantlash xatoligining eng katta qiymati kvantlangan signal oniy qiymatini pastki kvantlash ruxsat etilganiga tenglashtirish usulidan yoki kvantlash oniy qiymatini kvantlash ruxsat etilgan sathining o'rtacha qiymati bilan almashtirish usulidan foydalanilganiga bog'liq bo'ladi. Birinchi usul uchun xatolik (2.10b-rasm) quyidagicha aniqlanadi:

$$\max \Delta u_i = \max |u(t_i) - u_i| = \Delta U_k. \quad (2.37)$$



2.10-rasm. Kvantlash eng katta xatoligini aniqlashga oid chizma:
 a) – kvantlash qurilmasi; b) – signal qiymatini kvantlash pastki sathiga tenglashtirish; d) – signal qiymatini kvantlash sathi o'rtacha qiymatiga tenglashtirish.

Ikkinchi usuldan foydalanilganda, ya'ni signal kvantlangan oniy qiymatini unga eng yaqin bo'lgan ruxsat etilgan kvantlash sathi bilan almashtirilganda maksimal (eng katta) xatolik $0.5U_k$ ga teng bo'ladi, bu usuldan foydalanib kvantlash birinchi usulga nisbatan ikki marta kam maksimal xatolik bo'lishini ta'minlaydi.

Shunday qilib, uzluksiz signalni raqamli signalga aylantirish quyidagi uch jarayondan iborat:

- dastlab uzluksiz signal Δt_i vaqt oraliqlarida diskretlanadi;
- vaqt bo'yicha diskretlash natijasida olingan uzluksiz signal oniy qiymati ruxsat etilgan kvantlash sathi bilan almashtiriladi;

– Δt_i vaqt oralig'i va ΔU sath oralig'ida kvantlangan signal sathlarining qiymatlari diskret elementar signallardan tashkil topgan kodlar kombinatsiyalari aloqa kanali orqali modulyatsiyalangan yuqori chastotali signal ko'rinishida uzatiladi.

Bunday almashtirishlar asosida shakllangan signal – impuls kod modulyatsiyalangan (IKM) signal deb ataladi. Ko'p hollarda IKM-ChM, IKM-FM signallardan foydalaniladi. Bunda ChM va FM yuqori chastotali tashuvchi chastotasi yoki fazasi kod elementar tashkil etuvchilari ta'sirida modulyatsiya (manipulyatsiya)langanligini ko'rsatadi.

2.4. Uzlüksiz signallarni raqamli shaklda uzatish

2.4.1. Asosiy tushunchalar

Uzlüksiz xabarlarni raqamli aloqa kanallari orqali uzatish mumkin. Uzlüksiz xabarlar dastlab uzlüksiz signallarga aylantiriladi. Ushbu uzlüksiz signallar spektri kengligi F_s va davomiyligi T_s ga teng bo'lsa, Kotelnikov teoremasiga asosan o'zining $\Delta t \leq 1/2F_s$ oralig'ida aniqlangan $n = T/\Delta t$ ta oniy qiymatlari yordamida uzatilishi va qayta tiklanishi mumkin. Agar $\Delta t \leq 1/2F_s$ qilib tanlansa, signalni yuqori aniqlikda uzatishni va qayta tiklashni ta'minlash mumkin.

Uzlüksiz signalning Δt oraliqda olingan qiymatlarini kodlab, kodlar ketma-ketligi raqamli aloqa kanallari orqali uzatilishi mumkin.

Raqamli signallar uzlüksiz (analog) signallarga qaraganda bir qator afzalliklarga ega. Bulardan biri ularning yuqori darajada xalaqit bardoshligidir. Uzlüksiz signalga kuchsiz xalaqit ta'sir etgan bo'lsa ham uni asl holida aniq tiklash mumkin emas. Chunki uzlüksiz signal va unga ta'sir etayotgan xalaqit bir-biridan shaklan farqlanmaydi. Ularni bir-biridan ajratish mumkin emas. Raqamli signal ma'lum diskret sathlarga ega bo'lganligi uchun, xalaqitning ta'siri faqatgina signalning asl sathi biridan ikkinchisiga o'tgandagina hosil bo'ladi. Buning uchun xalaqitning qiymati – sathi ancha katta bo'lishi kerak.

Raqamli signallarning ikkinchi afzalligi ularning aloqa kanali orqali uzatishda xalaqitbardosh kodlardan foydalanish mumkinligidadir. Uchinchi afzalligi, raqamli signallarga ishlov berishda murakkab algoritmlarni (jarayonlarni) amalga oshirish mumkin. Yuqoridagi bir qator afzalliklari asosida va zamonaviy mikroradioelektronikaning yutuqlari asosida signallarni raqamli shaklda uzatish kelajakda xabarlarni uzatishning asosiy yagona usuli bo'lishi ehtimolidan holi emas [31].

2.4.2. Impuls-kodli modulyatsiya

Impuls-kodli modulyatsiya (IKM) uzluksiz signallarni raqamli signallarga aylantirish uchun qo'llaniladi. Uzluksiz signallarni raqamli signallarga aylantirish asosini uch bosqichda amalga oshiriluvchi jarayon tashkil qiladi, ya'ni bular: diskretlash, kvantlash va ikkilik kod bilan kodlashdir.

Ushbu uch bosqichni alohida-alohida ko'rib chiqamiz.

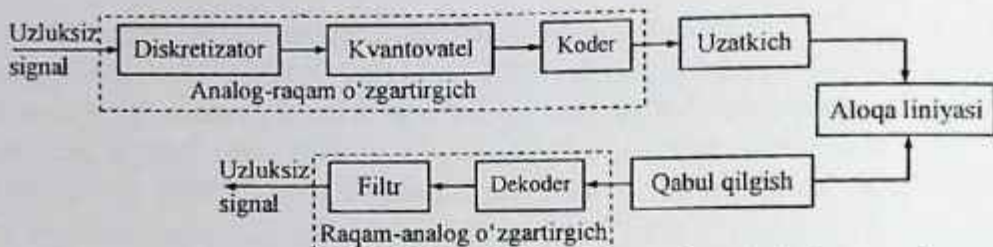
1. Diskretlash natijasida uzluksiz signal diskret signalga aylantiriladi, ya'ni uzluksiz signalning oniy qiymati har Δt oraliqda yuqori aniqlikda o'lchanadi.

2. Kvantlash natijasida diskretlangan signalning oniy qiymati ruxsat etilgan diskret sathlardan o'ziga taxminan mos keluvchisi bilan almashadi. Sath bo'yicha diskretlashni kvantlash deb ataladi. Odatda kvantlar soni aniq berilgan bo'lib, kvantlash natijasida raqamli signal ushbu sathlardan biriga almashtiriladi. Ikki eng yaqin sath orasidagi farq ΔU – kvantlash qadami deb ataladi. Kvantlash qadaming kichiklashishi sathlar sonining oshishiga olib keladi.

3. Kodlash natijasida kvantlangan sathlar kodlar kombinatsiyasi bilan almashinadi. Odatda ikkilik kodlardan, ya'ni asosi "1" va "0" kodlardan foydalaniladi, bunda mos kodlar kombinatsiyasi ikkilik hisob usulida hisoblanib, sathlarga biriktiriladi. Kodlar kombinatsiyasi to'g'ridan-to'g'ri ikkilik aloqa kanali orqali yuqori chastotali tashuvchini amplitudasi, chastotasi yoki fazasini manipulyatsiyalash natijasida olingan signal $s(t)$ yordamida uzatiladi.

Uzluksiz signal aloqa kanali orqali uzatilguncha avval kvantlangan impulslar ketma-ketligiga, so'ngra kodlar kombinatsiyalari ketma-ketligiga aylantiriladi va modulyatsiya natijasida signal $s(t)$ hosil bo'ladi, shuning uchun bu signallar **impuls-kodli modulyatsiya (IKM)** signallar deb ataladi. Zarur hollarda qo'shimcha modulyatsiya turi ham ushbu qisqartmaga kiritiladi. Masalan, nisbiy faza modulyatsiyasidan foydalanilgan bo'lsa – IKM-NFM, shunga o'xshash IKM-ChM va x.k.

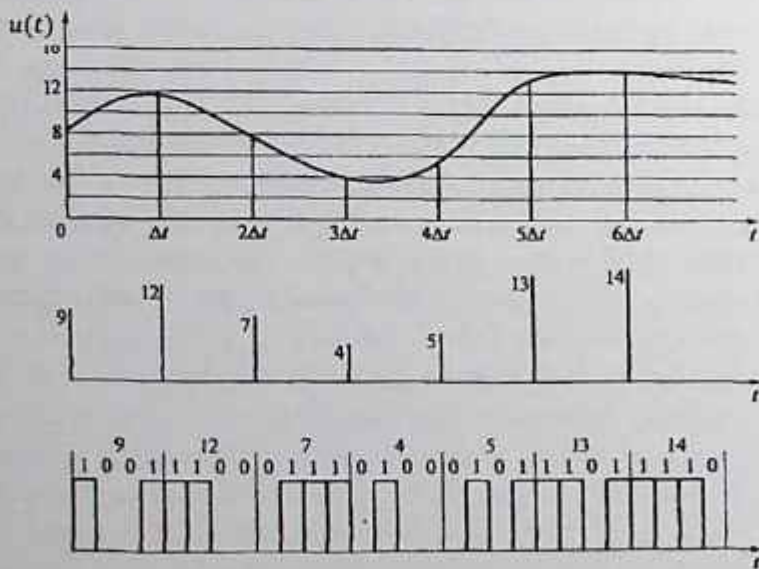
Umumiy holda uzluksiz signallarni raqamli uzatish tizimining strukturaviy sxemasi 2.11-rasmda keltirilgan.



2.11-rasm. Uzlüksiz signallarni raqamli uzatish tizimining strukturaviy sxemasi

Amalda diskretlash, kvantlash va kodlash amallari bir qurilmada – analog-raqam o'zgartirgichida (ARO') amalga oshiriladi, va natijada IKM signal hosil bo'ladi. IKM signalni shakllantirish jarayoni 2.12-rasmda keltirilgan.

Hosil qilingan IKM signal uzatkichda radioimpulslar ketma-ketligiga aylantiriladi va aloqa liniyasi orqali uzatiladi. Qabul tomonida qabullash qurilmasida demodulyatsiyalanganidan so'ng raqam-analog o'zgartirgichga beriladi. Raqamli signalni analog shaklga keltirish raqam-analog o'zgartirgich (RAO') qurilmasida amalga oshiriladi. RAO' larda raqamli kodlangan signallar dekodlanadi, mos sathlarda kvantlangan kuchlanishlarga almashtiriladi va zinasimon impulslar ketma-ketligi past chastotalar filtri yordamida tekislanib qayta uzluksiz signalga aylantiriladi.



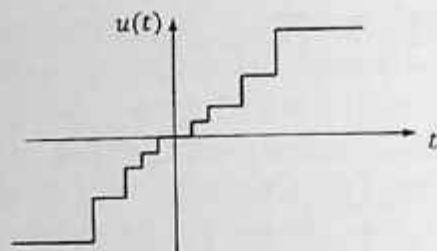
2.12-rasm. IKM signalni shakllantirish jarayoni

Halqaro meyorlarga muvofiq $\Delta f = 3,1$ kHz chastotalar polosasiga ega standart telefon signalini uzatish uchun diskretlash chastotasi $f_d = 8$ kHz va kvantlash sathlarining soni $L = 256$ qilib belgilangan. Ravshanki, bunda bitta oniy qiymat uchun razryadi $n = 8$ bo'lgan ikkilik kod to'g'ri keladi, $n = \log_2 L$. Signalni bunday o'gartirish usulida axborot uzatish tezligi $R = n f_d = 8 \cdot 8 \cdot 10^3 = 64 \cdot 10^3$ bit/s = 64 kbit/s ga teng. Radioeshittirish stansiyalarining signallarini IKMdan foydalanib yuqori sifat bilan uzatish uchun diskretlash chastotasini $f_d = 32$ kHz va kod kombinatsiyalaridagi razryadlar sonini $n = 12$ qilib tanlash lozim bo'ladi. Bunda uzatish tezligi $R \approx 380$ bit/s ga teng bo'ladi.

RAO⁺ chiqishidagi tiklangan uzluksiz signal $u(t)$, ARO⁺ kirishidagi signal $u(t)$ dan farq qiladi. Buning sababi: kvantlashdagi xatolik – kvantlash shovqini; uzatiladigan kodlar kombinatsiyasi xalaqitlar ta'sirida uning elementlari "1" va "0" ning teskarisiga almashishida.

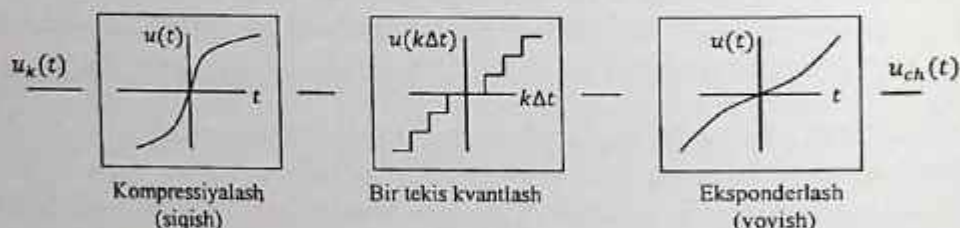
Kvantlash shovqini. Kvantlangan signalning ikki eng yaqin sathi orasidagi farq ΔU , kvantlash qadamini ba'zan Δ bilan ham belgilanadi. Bunda uzluksiz signalning $k\Delta t$ vaqtdagi oniy qiymati $u(k\Delta t)$ kvantlash natijasida unga eng yaqin sath bilan almashadi. Natijada kvantlash xatoligi $-\frac{\Delta}{2}$ va $\frac{\Delta}{2}$ orasida bo'ladi. Ushbu tasodifiy kattalikning dispersiyasi $\frac{\Delta^2}{12}$ bo'ladi. Agar uzluksiz signal tavsiflari oq shovqin tavsiflariga yaqin bo'lsa, u holda kvantlash shovqini ham oq shovqin shaklida bo'ladi va signal bilan o'zaro korrelyatsiyasi bo'lmaydi. Kvantlash sifatini odatda sigal-kvantlash shovqini nisbati bilan baholanadi, bu shovqin kod razryadini (elementlari soni) bittaga oshirish signal-kodlash shovqini (SKSh) nisbatini 6 dB ga oshiradi. Shuni alohida ta'kidlash kerakki kod kombinatsiyalaridagi elementar signallar sonini oshirish nafaqat signalga raqamli ishlov beruvchi qurilmalarning tezkorligiga talabni oshiradi, shu bilan birga signalni uzatish uchun talab qilinadigan aloqa kanali polosasini ham kengaytirishni taqazo etadi. Chunki koddagi elementar signallar sonining oshishi ularning har birining davomiyligini qisqartirishni talab etadi, ya'ni signal spektri kengayadi.

Amalda notekis kvantlashdan keng foydalaniladi. Bunda kvantlash qadami uzatiladigan uzluksiz signal $u(t)$ ning o'zgarish tezligiga bog'liq bo'lib, u qancha tez o'zgarsa kvantlash qadami ham shuncha katta bo'ladi (2.13-rasm). Shunday qilib $u(t)$ ning kichik stahlari ancha aniqroq kvantlanadi.



2.13-rasm. Notekis kvantlash

Notekis kvantlashdan foydalanishdan maqsad kvantlashdagi xatolikni deyarli o'zgarmas saqlab turishdan iborat. Amalda notekis kvantlashni uzluksiz signal $u(t)$ ni kvantlashdan oldin kompressiyalash (siqish) so'ngra kvantlash; chiqishdagi signalni ekspanderdan o'tkazish (cho'zish) asosida bajariladi (2.14-rasm). Shunday qilib notekis kvantlash amalida: kompressiyalash, bir xil (oddiy) kvantlash va ekspanderlashdan iborat. Kompressor va ekspander bir-biriga teskari amallarni bajaradi, natijada notekis kvantlangan raqamli signal hosil bo'ladi (2.14-rasm).



2.14-rasm. Notekis kvantlashga oid

Avval ta'kidlaganimizdek, notekis kvantlashdan maqsad, bir xil nisbiy xatolikni ta'minlashdir. Buning uchun kompressor tavsifi logarifmik va ekspander tavsifi eksponenta shaklida bo'lishi kerak. Ammo logarifmik shakldagi tavsif uzluksiz signal qiymati kichik bo'lganda $-\infty$ ga intiladi, buni amalga oshirish qiyin va bu talabga javob bermaydi. Shuning uchun amalda signal katta sathlarida logarifmik tavsif bilan talab darajasida mos keluvchi va signal kichik sathlarida chiziqli bo'lgan ikki tarkibli tavsifdan foydalaniladi. Ulardan biri μ qonuniga bo'ysunuvchi tavsif quyidagicha ifodalanadi:

$$y = y_{\max} \frac{\ln[1 + \mu(|x|/x_{\max})]}{\ln(1 + \mu)} \operatorname{sgn} x, \quad (2.38)$$

bunda, μ – manfiy o'zgarmas kattalik, x va y – kompressor kirishi va chiqishidagi kuchlanish (amplitudalari); $\operatorname{sgn}(x)$ – funksiya quyidagicha aniqlanadi:

$$\operatorname{sgn} x = \begin{cases} 1, & x \geq 0; \\ -1 & x < 0. \end{cases} \quad (2.39)$$

μ qonunidan AQSh aloqa tizimlarida foydalaniladi. Yevropada quyidagi ifodadan foydalaniladi:

$$y = \begin{cases} y_{\max} \frac{A(|x|/x_{\max})}{1 + \ln A} \operatorname{sgn} x, & 0 \leq \frac{|x|}{x_{\max}} \leq \frac{1}{A}; \\ y_{\max} \frac{\ln[A(|x|/x_{\max})]}{1 + \ln A} \operatorname{sgn} x, & \frac{1}{A} \leq \frac{x}{x_{\max}} \leq 1. \end{cases} \quad (2.40)$$

bunda, A – musbat doimiy kattalik, qolganlari (2.39) ifodadagilarga mos. (2.39) va (2.40) ifodalar $A = 87,56$ va $\mu = 255$ bo'lganda bir-biriga deyarli mos keladi.

Amalda kvanlashlar sathining soni foydalaniladigan kodlar kombi-natsiyasiga bog'liq bo'ladi.

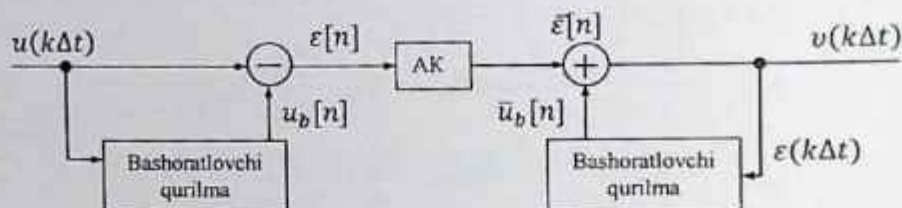
2.4.3. Differensial impuls-kodli modulyatsiya

Agar uzatiladigan signal $u(t)$ oq shovqinga o'xshash bo'lsa, ya'ni cheklangan chastotalar diapazonida spektri quvvati zichligi bir xil bo'lsa, u holda Kotelnikov teoremasi asosida diskretlangan ushbu sigalning $k\Delta t$ va $(k \pm 1)\Delta t$ vaqtlardagi qiymatlari bir-biriga bog'liq bo'lmaydi, o'zaro korrelyatsiyasi nolga teng bo'ladi. Ba'zan, amalda uzatiladigan signal spektri quvvati zichligi bir xil bo'lmasligi va diskretlash chastotasi katta bo'lishi, uning alohida-alohida qiymatlari orasida bog'lanish, korrelyatsiya paydo bo'lishiga olib keladi. Shunday qilib, uzatilayotgan diskret signal ortiqchalikka olib keladi va aloqa kanalidan foydalanish samaradorligi kamayadi. Signallarni uzatish va qabullashning samarador usullaridan biri bashoratli kodlash usuli hisoblanadi. Bunda, diskret signal oniy qiymatlari orasida o'zaro statistik bog'liqlik bo'lsa, ushbu bog'liqlikni uning $(k + 1)\Delta t$ vaqtdagi qiymatini $k\Delta t$ ondagi qiymati orqali bashorat qilish mumkin. Bunda diskret signalning bashorat qilingan qiymatida hech qanday axborot yo'q. Bashorat etilgan signal qiymati hech vaqt aniq bo'lmaydi, shuning uchun diskret signalning $u(k\Delta t)$ va $u[(k + 1)\Delta t]$ bashorat etilgan qiymatlari orasida xatolik bor, ya'ni

$$\varepsilon(\Delta t) = u[(k + 1)\Delta t] - u(k\Delta t). \quad (2.41)$$

Ana shu xatolik $\varepsilon(\Delta t)$ axborot diskret xabarning $(k + 1)\Delta t$ vaqtdagi qismi axborotga ega bo'lib, shu bashorat xatoligi aloqa kanali orqali uzatiladi. Qabul qilgich signalning avvalgi qiymatlari asosida shu ondagisi bashorat qilinadi va unga xatolik $\varepsilon(k\Delta t)$ qo'shilishi natijasida, signalning haqiqiy qiymati aniqlanadi (2.15-rasm). Agar kanalda xalaqit bo'lmasa,

chiqishdagi signal $v(t)$ kirishdagi $u(t)$ ga mos bo'lar edi, ammo xalaqit ta'sirida farq paydo bo'ladi, ya'ni $v(t) \neq u(t)$.



2.15-rasm. *Bashoratlovchi qurilmali aloqa tizimi strukturaviy sxemasi*

Diskretlangan signalning $u(k\Delta t)$ vaqtda aniqlangan oniy qiymatlari orasidagi korrelyatsiya bog'lanish qancha katta bo'lsa, bashorat qilish shuncha aniq bo'ladi va bashorat xatoligi dispersiyasi (quvvati) shuncha kichik bo'ladi. Bunday holda ma'lumotlarni aloqa kanali orqali uzatish uchun kodlar kombinatsiyalaridagi elementar simvollar sonini kamaytirish mumkin, natijada kanaldan foydalanish samaradorligi oshadi, ya'ni kanalning xabar o'tkazish qobiliyatiga talab kamayadi. Ko'p hollarda bashorat qilish qurilmasining ishlash algoritmi chiziqli bo'lib, signal navbatdagi bashorat etiladigan qiymati, avvalgi bir-necha qiymatlarining chiziqli kombinatsiyasi shaklida aniqlanadi. Ovoz signallarini chiziqli bashorat asosida kodlash zamonaviy mobil aloqa tizimlarida qo'llaniladi.

Bashorat xatoligini kodlash orqali signalni uzatish **differensial impuls-kod modulyatsiyasi** (DIKM) nomini olgan. Bunday tizimlarda notekis kvantlashdan foylaniladi, chunki kvantlanayotgan signalning kichik qiymatlarga ega bo'lish ehtimolligi katta bo'lib, qo'shimcha afzalliklarga ega bo'ladi. DIKM usulining IKM ga nisbatan afzalligi diskretlangan signal oniy qiymatlari orasidagi korrelyatsiya qancha katta bo'lsa, mos ravishda shuncha oshadi.

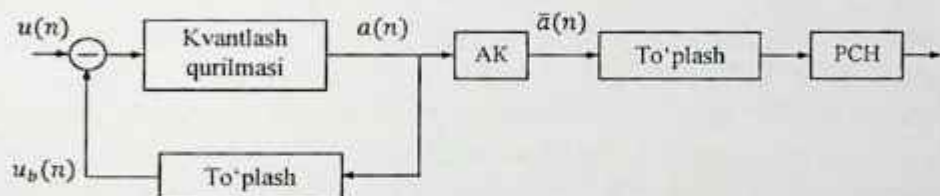
DIKM uzatish usulining kamchiligi xatoliklarning ko'payish effekti hisoblanadi. Bu shu bilan bog'liqki, DIKM signalni qayta tiklashdagi xatolik nafaqat bitta oniy qiymatning xatoligi, balki undan oldingi bir qancha oniy qiymatlarning xatoliklari bilan aniqlanadi. Bu kamchilikni bartaraf etish uchun ba'zi hollarda vaqti-vaqti bilan signalning to'liq qiymatini uzatish amalga oshiriladi [6].

2.4.4. Delta modulyatsiya

DIKMning soddalashtirilgan xususiy shakllaridan biri **delta modulyatsiya** bo'lib, bunda kvantlash sathi ikkita bo'lib, uzatiladigan signal avvalgisiga nisbatan kattalashsa xatolik $+\Delta$ va kichiklashsa $-\Delta$ bo'ladi, shunga mos

ravishda signal $+1$ yoki -1 bo'ladi (2.16-rasm) va $u(k\Delta t)$ signal avvalgisiga nisbatan $+1$ ga oshadi yoki -1 ga kamayadi. Delta modulyatsiyadan diskretlash qadami korrelyatsiya intervalidan kichik bo'lgan hollarda foydalaniladi.

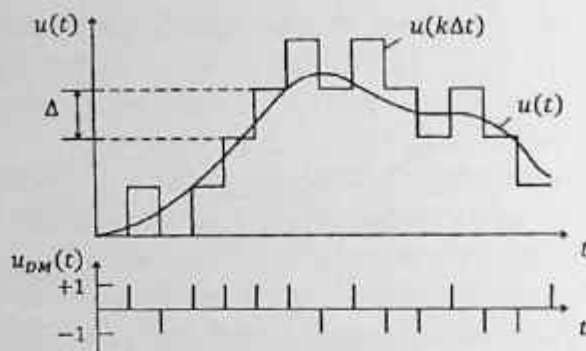
Delta modulyatsiyaning afzalligi uning koderi va dekoderining nisbatan soddaligida. Signalni qayta tiklash uchun $\pm\Delta(k\Delta t)$ signallar ketma-ketligini integrallash yetarli (integrallash bu "0" va "1" lar ketma-ketligini to'plash va bu ketma-ketliklarni zinasimon funksiyaga aylantirish va uni past chastotalar filtri yordamida tekislashdan iborat). Ammo delta modulyatsiya natijasida o'ziga hos buzilishlar yuz beradi, bu zinasimon approksimatsiyaning o'zgarishi birlamchi uzatilayotgan signal funksiyasidan kechikishi (qiyalik zo'riqishi) natijasida hosil bo'ladi. Hamda signal kam o'zgarganda (maydalanish shovqini) qismlardagi tebranishlar sabab bo'ladi (2.16-rasm).



2.16-rasm. Delta modulyator strukturaviy sxemasi

Ushbu kamchiliklarni kamaytirish uchun kvantlash qadamini signal ko'rinishiga moslashtirish (adaptivlash) kerak. Agar bir necha qo'shni xatoliklar bir xil bo'lsa, bu holda funktsiya monoton o'suvchi, agar ma'lum bir oraliqda Δ xatoliklar $+\Delta$ va $-\Delta$ ketma-ketligida bo'lsa, bu holda signal sekin o'zgaradi, bu signalning juda kam o'zgarayotganligini bildiradi, bu holda kvantlash qadami kamayadi.

2.17-rasmda delta modulyatsiyali signalni shakllantirishga oid grafik keltirilgan.



2.17-rasm. Delta modulyatsiyali signalni shakllantirishga oid

Xulosa o'rnida DM signal IKM signalga qaraganda oniy qiymatlar olish bo'yicha katta takrorlanish chastotasiga ega, ammo DMda bitta oniy qiymat uchun bitta uzatiluvchi impuls, IKMda esa kvantlash sathlarining soniga bog'liq ravishda bir nechta impuls to'g'ri keladi. Tahlillar shuni ko'rsatadiki, qabullash ishonchliligi (asliga mosligi) bir xil bo'lganda ikkita modulyatsiya turida ham impulsning takrorlanish chastotasi taxminan teng. Bundan kelib chiqadiki, ikkita tizimning signallari ham deyarli bir xil chastotalar polosasini egallaydi. DMli uzatish tizimining afzalligi uni amalga oshirishning soddaligidir.

Nazorat savollari

1. Vaqt bo'yicha diskretlash va sath bo'yicha kvantlash deganda nimani tushunasiz?
2. Uzlaksiz signallarni diskretlash haqidagi V.A. Kotelnikov teoremasini aytib bering.
3. Qayta tiklovchi funksiya (signal) deb qanday signalga aytiladi?
4. Vaqt bo'yicha bir tekis va turlicha diskretlash qanday afzallik va kamchiliklarga ega?
5. Diskretizator qurilmasining alohida-alohida qismlari qanday amallarni bajaradi?
6. Uzlaksiz signalni vaqt bo'yicha diskretlashda qaysi tur bazis (asos) ortogonal funktsiyalardan foydalaniladi?
7. Vaqt bo'yicha adaptiv diskretlashdan qanday holatlarda foydalaniladi?
8. Sath bo'yicha adaptiv kvantlash qanday amalga oshiriladi?
9. Vaqt va sath bo'yicha adaptiv diskretlashdan qanday holatlarda foydalaniladi?

10. *Qayta tiklangan signalni birlamchi uzluksiz signalga yaqinlashtirishning (xatolikni kamaytirishning) qanday usullaridan foydalaniladi?*

11. *Vaqt bo'yicha zichlangan ko'p kanalli signalni shakllantirish va uni alohida-alohida kanal signallariga almashtirish jarayoniga tegishli aloqa tizimi funksional sxemasini chizing va uning qismlari bajaradigan jarayonlar haqida so'zlab bering.*

12. *Signallarni raqamli uzatishni analog shaklda uzatishdan afzalliklari nimada?*

13. *Kvantlash shovqini nima? Uni kamaytirish uchun nima qilish kerak?*

14. *Qaysi hollarda bashoratli kodlash usulidan foydalanish maqsadga muvofiq?*

15. *IKM signal nima? IKM signal vaqt diagrammalarini chizing?*

16. *Delta modulyatsiya nima? Delta modulyatsiyadan qaysi hollarda foydalaniladi?*

17. *Kompanderlash nima va undan nima uchun foydalaniladi?*

18. *Ekspanderlash nima va u qanday vazifani bajaradi?*

19. *Bashoratli aloqa tizimining soddalashgan strukturaviy sxemasini chizing va ishlash prinsipini tushuntiring.*

20. *Delta modulyatsiyaga asoslangan aloqa tizimining soddalashgan strukturaviy sxemasini chizing va uning ishlash prinsipini tushuntiring.*

3. SIGNALLARNI ANIQLASH, FARQLASH VA AJRATISH NAZARIYASI ASOSLARI

Ushbu bobda signallarni aniqlash, farqlash va ajratish masalalari bayon etilgan. Statistik qarorlar nazariyasining asosiy qoidalari, optimal mezonlar haqida ma'lumotlar keltirilgan. Signallarni aniqlash va farqlash optimal algoritmlari va ushbu algoritmlar asosidagi turli strukturaviy sxemalar keltirilgan, afzallik va kamchiliklari ko'rib chiqilgan.

3.1. Umumiy tushunchalar

Signal har qanday radiotexnik tizimda uzatilish jarayonida buzilishga uchraydi va natijada qabul qilgich chiqishida xabar qandaydir xatolik bilan aks etadi. Signalning buzilishi kanallar xarakteristikasining tasodifiy o'zgarishi hisobiga ham, shuningdek ulardagi xalaqitlar hisobiga ham bo'lishi mumkin. Kanalning chastota va vaqt xarakteristikasi hisobiga yuzaga keluvchi buzilishlar **chiziqli buzilishlar** deb yuritiladi. Bundan tashqari u yoki bu qismning nochiizqliligi natijasida kanalda **nochiizqli buzilishlar** yuzaga kelishi mumkin. Signalning chiziqli va nochiizqli buzilishlari kanalning ma'lum xarakteristikalari hisobiga vujudga kelar ekan, demak ushbu buzilishlarni tuzatish hisobiga bartaraf etish mumkin. Xalaqitlar hisobiga bo'ladigan buzilishlar tasodifiy xarakterga ega bo'lganligi sababli, ularni to'liq bartaraf etish mumkin emas. To'g'ri loyihashtirilgan tizimlarda xabarning buzilishlari faqatgina xalaqitlarning ta'siri hisobiga bo'lishi mumkin.

Qabul qilgich xalaqitlar ta'siri bo'lmaganda uzatilgan foydali signaldagi xabarni to'liq aks ettirsin. Xalaqitlar ta'sirida esa xabar qandaydir xatolik bilan aks etadi. Xabarning minimal xatolik (buzilish) bilan qabullanishini ta'minlovchi qabul qilgich **optimal** yoki **ideal qabul qilgich** deb ataladi. Optimallik mezoni va buzilishlarning sonli xarakteristikasi qabul qilgichning vazifasiga bog'liq bo'ladi. Tanlangan mezonda buzilishning minimal sathi potensial xalaqitbardoshlikni ifodalaydi. Belgilangan (berilgan) qabul sharoitidagi real qabul qilgichning xalaqitbardoshligi potensial xalaqitbardoshlikdan katta bo'lishi mumkin emas [10].

Signallarga ishlov berish optimal qurilmalarini sintezlash bilan bog'liq muammoni yechishning asosiy yo'nalishlaridan biri – optimal qabul qilish usullari nazariyasidir. Signal va xalaqit xarakteristikalariga ba'zi cheklashlar qo'yilganda, ushbu nazariya radioqabul qiluvchi qurilmaning optimal ishlash algoritmini topishga va natijada, uning tarkibi, sintezlanuvchi qurilmaning

ko'rsatkichlarini baholash, uzatiluvchi signallarning eng munosib turini aniqlashga, shuningdek real qabullagichni texnik mukammallashtirish darajasini aniqlash hamda xalaqitbardoshligini oshirish yo'llarini aniqlashga imkon yaratadi.

Optimal qabul qilish nazariyasining asosiy masalasini quyidagicha shakllantirish mumkin: uzatilgan signal, kanal va xalaqitlarning ba'zi xarakteristikalarini, shuningdek ularning o'zaro funksional ta'siri oldindan ma'lum deb qarab, qabullagich kirishidagi signalni eng yaxshi yo'sinda (tanlangan mezon asosida) aks ettiruvchi yoki eng kichik xatolik bilan qaror qabul qiluvchi optimal qabullash qurilmasini sintezlash zarur bo'ladi.

Optimal qabul qilish qurilmasini sintezlashda quyidagilar muhim hisoblanadi: hal qilinuvchi masalaning fizik ma'nosiga va maqsadiga mos bo'lgan matematik asoslangan optimallik mezonini tanlash, hamda barcha aprior ma'lumotlarni o'z ichiga oluvchi va tanlangan mezoniga muvofiq yechimni ta'minlovchi masalaning aniq matematik ifodasini keltirish. Sintezlash natijasida qabul qilish qurilmasining optimal ishlash algoritmi va qabullash qurilmasining tegishli strukturaviy va funksional sxemasi, shuningdek sxema parametrlari aniqlanishi zarur. Eslatib o'tamiz, radiotexnik qurilmalarni sintezlash qabullash qurilmasining ishlash sifat ko'rsatkichlarini hisoblash, aniqlangan algoritm va sonli xarakteristikalarining olingan aprior ma'lumotlardan chetlanishiga sezuvchanlik darajasini aniqlashtirish maqsadida olib boriladigan tahlillash zaruriyatini inkor etmaydi.

Radiotexnik tizimlar vazifasiga bog'liq holda turli sharoitlarda ishlaydi va ularga turli-tuman talablar qo'yiladi. Ushbu talablardan kelib chiqib, namunaviy tizimlar uchun bir qator xususiy masalalarni shakllantirish mumkin [8].

Qabul qilish qurilmasi kirishidagi signal quyidagi ko'rinishda bo'lsin

$$u(t) = F(s(t, \lambda), n(t)), \quad (3.1)$$

bunda, $F(\cdot)$ – qandaydir operator, $s(t, \lambda)$ – foydali signal, $\lambda = (\lambda_1, \dots, \lambda_m)$ – signalga bog'liq parametrlar vektori, $n(t)$ – xalaqit.

Foydali signalning qabul qilingan modelida bir qator parametrlar oldindan ma'lum bo'ladi. Ushbu parametrlar foydali signal haqida aprior ma'lumotlarni tashkil qiladi. Signalning boshqa parametrlari oldindan ma'lum bo'lmaydi. Ulardan bir qanchasi axborot tashuvchi hisoblanadi va *axborot parametrlari* deb ataladi, qolganlari esa axborot parametrlari hisoblanmaydi.

(3.1) ifodadagi $F(\cdot)$ operatorning amaliyotda ko'p uchraydigan xususiy ko'rinishi sifatida quyidagidan foydalanamiz

$$u(t) = s(t, \lambda) + n(t). \quad (3.2)$$

Ushbu (3.2) ifodada keltirilgan tebranish uchun signallarni optimal qabul qilish nazariyasining quyidagi asosiy vazifalarini keltirish mumkin.

Signallarni aniqlash. (3.2) ifodani quyidagi ko'rinishda yozamiz

$$u(t) = \theta s(t, \lambda) + n(t),$$

bunda, θ – tasodifiy miqdor bo'lib, u ikkita qiymatni qabul qiladi: p ehtimollik bilan $\theta = 0$ (foydali signal yo'q) va $1 - p$ ehtimollik bilan $\theta = 1$ (foydali signal bor). Aniqlash masalasi qabul qilingan $u(t)$ tebranishda foydali signal bor yoki yo'qligini aniqlashdan, yoki shunga o'xshash θ parametr qiymatini baholashdan iborat. Ushbu masala radiolokatsiya tizimlari uchun xarakterli hisoblanadi. Shuningdek u ikkilik axborot uzatish tizimida ham uchraydi.

Signallarni farqlash. $u(t)$ tebranish mumkin bo'lgan m ta foydali signallar $s_i(t, \lambda)$, $i = 1, 2, \dots, m$ dan biri va $n(t)$ xalaqit yig'indisidan iborat bo'lsin. Qabullash qurilmasi kirishida $s_i(t, \lambda)$, $i = 1, 2, \dots, m$ signallar mavjudligi va $p(s_i)$, $i = 1, 2, \dots, m$ ehtimolliklarni bilgan holda, qabul qilingan $u(t)$ realizatsiyalar bo'yicha foydali signallardan qaysi biri uning tarkibida mavjudligini optimal holda aniqlashi talab etiladi. Ushbu masala axborot uzatish tizimlari uchun xarakterli hisoblanadi.

Signal parametrlarini baholash. $s(t, \lambda)$ signal parametrlaridan biri noma'lum bo'lsin. Qabul qilingan $u(t)$ realizatsiyalar bo'yicha ushbu parametr qiymatini eng mukammal ko'rinishda baholash talab etiladi. Ushbu masala radiolokatsiya, radionavigatsiya, telemetriya va teleradioboshqaruv tizimlari uchun xarakterli hisoblanadi.

Xabarni filtrlash. Foydali signal $s(t, \lambda_i)$ ning axborot parametri λ_i vaqtga bog'liq va statistik xarakteristikalar ma'lum tasodifiy jarayon $\lambda_i(t)$ bo'lsin. $u(t)$ tebranishda mavjud yoki $\lambda_i(t)$ xabarlar realizatsiyasini yoki $s(t, \lambda_i)$ signallar realizatsiyasini eng mukammal usul bilan ajratib olish talab etiladi. Ushbu masala radioaloqa, televideniya va radiolokatsiya tizimlarida uchraydi.

Shuningdek **signallarni ajratish** ham optimal qabullash usullari nazariyasining vazifasiga kiradi va bu nazariyani quyidagicha ifoda etish mumkin: qabul qilgich kirishiga ikkita yoki undan ko'p signallar $s_i(t, \lambda)$, $i = 1, 2, \dots$; keladi; qabul qilingan $u(t)$ realizatsiyalarga asoslanib, ushbu signallarni λ parametri bo'yicha optimal usul bilan ajratish talab etiladi. "Ajratish" deganda yoki signallarni alohida qidirib topish, yoki barcha $s_i(t)$ signallarni alohida qidirib topish va ulardagi λ parametrini aniqlash tushuniladi. Ushbu masala radiolokatsiya va aloqa tizimlarida uchraydi.

Optimal radioqabullash usullarining yuqoridagi kabi vazifalar asosida bo'linishi shartli hisoblanadi. Ular orasida aniq chegara qo'yilishi mumkin emas. Masalan, signallarni aniqlash masalasini ikkita signalni ajratish (bitta signal deyarli nolga teng bo'lganda) masalasining xususiy xoli sifatida qarash mumkin. Shuningdek aniqlash masalasini amplitudasi ikki qiymat: 0 va A ni qabul qiluvchi signal amplitudasini o'lchashning xususiy xoli sifatida ham qarash mumkin.

Xulosa qilib aytganda, optimal radioqabullash usullari nazariyasining asosiy masalalarini yechish matematik statistikaning mukammal ishlab chiqilgan usullariga asoslangan bo'ladi.

3.2. Statistik qarorlar nazariyasining asosiy qoidalari. Optimal mezonlar

Yuqoridagi bo'limda ko'rib chiqilganidek, signallarga ishlov berish optimal qurilmalarini sintezlashda qurilma ishlash sifatining mezonini tanlash lozim. Modomiki, statistik qarorlar nazariyasi barcha turli-tuman statistik optimal mezonlarni qamrab olar ekan, optimal radioqabullash qurilmalarini sintezlash masalasini yechishda ushbu nazariyaning natijalaridan foydalanish maqsadga muvofiq hisoblanadi.

Qabul qilingan signal (3.1) ifodadagi ko'rinishda bo'lsin. $u(t)$ tebranish $t_1, \dots, t_m$ diskret vaqt momentlarida kuzatiladi deb tasavvur qilamiz. U holda (3.1) ifodani e'tiborga olib, quyidagini yozish mumkin

$$\mathbf{u} = \mathbf{F}(\mathbf{s}, \mathbf{n}), \quad (3.3)$$

bunda, $\mathbf{u} = (u_1, \dots, u_m)$, $\mathbf{s} = (s_1, \dots, s_m)$, $\mathbf{n} = (n_1, \dots, n_m)$ – mos holda qabul qilingan tebranish, foydali signal va xalaqitning m -o'lchovli vektori (m -o'lchovli oniy qiymat).

Barcha mumkin bo'lgan $\mathbf{u}$ vektorlar majmuasi qabul qilingan $u(t)$ tebranishlarning $\mathbf{U}$ tanlanmalar (oniy qiymatlar) fazosini tashkil etadi. Shunga o'xshash, $\mathbf{s}$ va $\mathbf{n}$ vektorlar mos holda $s(t)$ foydali signalning $\mathbf{S}$ tanlanmalar fazosini va $n(t)$ xalaqitning $\mathbf{N}$ tanlanmalar fazosini tashkil qiladi.

Xalaqitning statistik xarakteristikalarini ma'lum deb faraz qilinadi va $w(\mathbf{n}) = w_m(n_1, \dots, n_m)$ taqsimoti ko'rinishida beriladi. Shuningdek signalning xalaqit bilan o'zaro ta'sir usuli ham ma'lum bo'ladi. Bunda qayd qilingan $\mathbf{s}$ vektori uchun qabul qilingan tebranish $\mathbf{u}$ vektorining statistik tavsifi – $w(\mathbf{u}|\mathbf{s}) = w_m(u_1, \dots, u_m|\mathbf{s})$ shartli taqsimotini aniqlash mumkin.

$w(\mathbf{u}|\mathbf{s})$ funksiya o'xshashlik funksiyasi deb ataladi. Bunday nomlanish quyidagicha tushuntiriladi. $u_1, \dots, u_m$ tanlanmalar (oniy qiymatlar) qabul qilingandan so'ng $w(\mathbf{u}|\mathbf{s})$ funksiya faqatgina $\mathbf{s}$ ga bog'liq

bo'ladi va qabul qilingan tebranish vektorini foydali signalning u yoki bu vektoriga o'xshashlik (moslik) darajasini ifodalaydi, ya'ni ma'lum $u_1, \dots, u_m$ oniy qiymatlarda boshqa vektorlarga nisbatan s vektor qanchalik haqiqiyga o'xshashligini ko'rsatadi.

Foydali signallarning ma'lum taqsimoti $w(s) = w_m(s_1, \dots, s_m)$ da, $w(u|s)$ funksiyani bilgan holda qabul qilingan tebranish vektorlari u va foydali signal vektorlari s larning birgalikdagi taqsimotini aniqlash mumkin

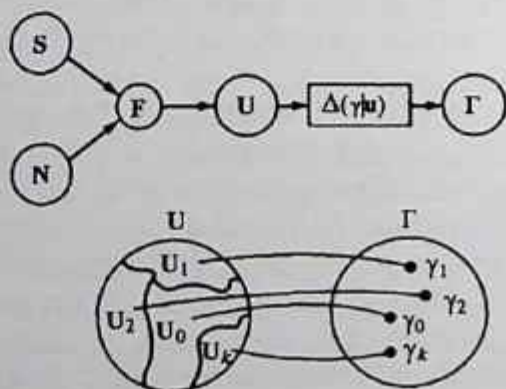
$$w(u, s) = w(s)w(u|s).$$

Qabul qilish qurilmasining vazifasi quyidagidan iborat: olingan $u_1, \dots, u_m$ oniy qiymatlar, signal va xalaqitlarning o'zaro ta'siri to'g'risidagi aprior ma'lumotlar va ularning statistik xarakteristikalarini asosida qarorlar fazosi G ni tashkil qilishi mumkin bo'lgan $\gamma_0, \gamma_1, \dots, \gamma_k$ to'plamdan bitta muqarrar (aniq) qarorni qabul qilishi kerak.

$u_1, \dots, u_m$ oniy qiymatlar bo'yicha qaror chiqarish qaror qabul qilish algoritmi $\Delta(\gamma|u)$ ga muvofiq amalga oshiriladi. $\Delta(\gamma|u)$ funksiya *qaror qabul qiluvchi (hal qiluvchi) funksiya* yoki *qaror qabul qilish qoidasi* deb ataladi. Bu funksiya u qiymatlar asosida γ qaror qabul qilish ehtimolligi (yoki ehtimollik zichligi)ni ifodalaydi. Qaror qabul qilish mexanizmini quyidagicha ifodalash mumkin (3.1-rasm). Qabul qilinayotgan signallar fazosi U bir-biri bilan kesishmaydigan $U_0, U_1, \dots, U_k$ sohalariga ajratiladi va qarorlar hamda ushbu sohalar orasida o'zaro bog'liqlik o'rnatiladi. Agar har bir sohaga faqat bitta aniq qaror to'g'ri kelsa, u holda $\Delta(\gamma|u)$ qoida *randomizatsiyalanmagan (determinant)* deb ataladi.

Boshqa bir qoida ham borki, bunda qabul qilingan $u_1, \dots, u_m$ qiymatlar uchun mos ehtimollikli bir nechta qarorlar to'g'ri kelishi mumkin, masalan qandaydir U_i sohaga $p_{i1}, \dots, p_{ik}$ ehtimolliklar bilan $\gamma_{i1}, \dots, \gamma_{ik}$ qarorlar to'g'ri keladi, bunda $\sum_{j=1}^k p_{ij} = 1$. Ushbu qoida *randomizatsiyalangan* deb ataladi.

3.1-rasm. Qaror qabul qilish sxemasi



Randomizatsiyalanmagan qoidani ko'rib chiqamiz. Agar qabul qilingan tebranish U_i sohaga to'g'ri kelsa, u holda γ_i qaror qabul qilinadi deb hisoblaymiz. Shunga muvofiq qaror qabul qilish funksiyasi quyidagi ko'rinishga ega bo'ladi

$$\Delta(\gamma_i | u_j) = \begin{cases} 1, & \text{agar } i = j; \\ 0, & \text{agar } i \neq j. \end{cases}$$

Ko'rinib turibdiki, har qanday qaror qabul qilish qoidasi uchun xalaqitlar mavjud bo'lgan holda har doim xato qaror qabul qilinishi mumkin. Qaror qabul qilish bilan bog'liq yo'qotishni miqdoriy baholash uchun *yo'qotish funksiyasi* deb ataluvchi $\Pi(s, \gamma)$ funksiya tushunchasi kiritiladi. Uning aniq qiymati (miqdori) $\Pi(s_i, \gamma_j)$ haqiqiy qarori (yechimi) γ_i bo'lgan vaqtda γ_j qaror (yechim)ni qabul qilishdagi yo'qotishdan iborat.

Yo'qotish funksiyasi quyidagi shartni bajarishi lozim

$$\Pi(s_i, \gamma_j) > 0, \quad \Pi(s_i, \gamma_j) > \Pi(s_i, \gamma_i), \quad \Pi(s_i, \gamma_i) \leq 0.$$

Yo'qotish funksiyasi oldindan tanlanadi. Uning tanlanishiga namunalar aniq bir masalani yechishda keltirib o'tiladi.

Endi qaror qabul qilish masalasini quyidagicha shakllantirish mumkin: **S** foydali signallar va **N** xalaqitlar fazosi, mos holda ushbu fazolardagi $w(s)$ va $w(n)$ ehtimolliklar taqsimoti, signal va xalaqitning o'zaro ta'sir usuli to'g'risidagi aprior ma'lumotlar asosida hamda berilgan yo'qotish funksiyasi $\Pi(s, \gamma)$ asosida qabul qilingan **u** signal bo'yicha optimal holda foydali signallardan qaysi biri qabul qilgich kirishida aniq mavjudligini – γ qaror (yechim) ni topish zarur.

Modomiki, qabul qilgich kirishida u yoki bu s_i signalning hosil bo'lishi va γ_j qaror qabul qilinishi tasodifiy hodisa hisoblanar ekan, yo'qotish funksiyasi $\Pi(s_i, \gamma_j)$ ning qiymati ham tasodifiy miqdor hisoblanadi. Shuning uchun qaror (yechim) sifatini yo'qotish funksiyasining matematik kutilmasi orqali ifodalash mumkin

$$R = M\{\Pi(s, \gamma)\} = \sum_j \sum_i w(s_i, \gamma_j) \Pi(s_i, \gamma_j), \quad (3.4)$$

bunda, $w(s_i, \gamma_j)$ – qabul qilgich kiirishida s_i signalni hosil bo'lish va γ_j qarorni qabullash qo'shma (birgalikdagi) ehtimolligi. R qiymat qaror qabul qilishdagi o'rtacha yo'qotishni bildiradi va *o'rtacha tavakkal* (risk) deb ataladi. O'rtacha tavakkal qanchalik kichik bo'lsa, qaror shunchalik yaxshi bo'ladi (optimal qaror qabul qilish qoidasi shuncha yaxshi bo'ladi). O'rtacha tavakkalning minimal bo'lishini ta'minlovchi qoida **Bayes qoidasi** yoki

*Bayes mezon*i deb ataladi. Shuningdek uni minimal o'rtacha tavakkalchilik mezon*i* deb ham ataydilar.

Bayes mezonini qo'llash katta hajmdagi aprior axborotlarga ega bo'lishni: yo'qotish funksiyasini hamda $w(s, u)$ qo'shma taqsimotni yoki $w(s)$ va $w(u|s)$ taqsimotlarni bilishni talab etadi. Agar signalning aprior taqsimoti noma'lum bo'lsa, u holda bayes mezonini qo'llab bo'lmaydi, ya'ni bu holda minimum o'rtacha tavakkal ma'nosida optimallashtirish masalasi aniqlanmagan bo'ladi. Bunday vaziyatlarda boshqa turdagi mezonlardan foydalaniladi.

Amaliyotda xato qaror ortiqcha (istalmagan) bo'ladigan holatlar ham uchraydi, masalan diskret xabarlarini uzatishda. Bunday holatlarda yo'qotish funksiyasini quyidagi ko'rinishda berilishi (keltirilishi) maqsadga muvofiq hisoblanadi

$$\Pi(s_i, \gamma_j) = \begin{cases} \text{const} & \text{agar } j \neq i; \\ 0 & \text{agar } j = i. \end{cases} \quad (3.5)$$

Shuningdek, asosan yo'qotish funksiyasi uning asoslangan tanlovi murakkab bo'lgan holatlarda oldindan berilgan bo'ladi, masalan radiolokatsiyada. Haqiqatda signalni aniqlash (qidirib topish) masalasini yechishda, ma'lumki signalni o'tkazib yuborish (maqsadni o'tkazib yuborish) va yolg'on aniqlash (yolg'on taxlika) bilan bog'liq bo'lgan yo'qotishlarni baholash juda mushkul.

(3.5) ifoda bilan aniqlanuvchi yo'qotish funksiyasi uchun o'rtacha tavakkal quyidagicha aniqlanadi

$$R = C \sum_i \sum_j w(s_i, \gamma_j), \quad i \neq j, \quad (3.6)$$

bunda, C – har qanday doimiy kattalik.

(3.6) ifodadan ko'rinadiki, R ning qiymati doimiy ko'paytmagacha bo'lgan aniqlikda xato qaror (yechim) ehtimolligi bilan to'liq mos keladi. Shuning uchun yo'qotish funksiyasi (3.5) ifodadagi kabi ko'rinishda berilganida Bayes mezonini *xatolik to'liq ehtimolligi minimumi mezon*i deb atash mumkin. Uni odatda *ideal kuzatuv mezon*i, shuningdek *Kotelnikov-Zigert mezon*i deb ham ataydilar.

Xato qaror to'liq ehtimolligini minimallashtiruvchi boshqa bir mezon bu *maksimum aposterior ehtimollik mezon*i

$$w(s|u) = \frac{w(s)w(u|s)}{w(u)}, \quad (3.7)$$

bo'lib, unga muvofiq s_i signal foydasiga qaror qabul qilinadi, agar quyidagi shart bajarilsa

$$w(s_i|u) > w(s_j|u), \quad j = 1, \dots, m, \quad j \neq i. \quad (3.8)$$

Haqiqatda, qabul qilingan u tebranish asosida foydali signal s_i haqida bilish mumkin bo'lgan barcha ma'lumot signalni to'g'ri qabullash ehtimolligini o'zida aks ettiruvchi aposterior ehtimollik $w(s_i|u)$ da jamlangan bo'ladi. Shuning uchun agar (3.8) ifodaga muvofiq qaror qabul qilinsa to'liq ehtimolligi eng kichik bo'lishi kafolatlanadi.

Nafaqat yo'qotish funksiyasi, balki signallar taqsimoti $w(s)$ haqidagi aprior ma'lumotlar bo'lmaganda $w(s) = \text{const}$, ya'ni signallar taqsimoti bir tekis taqsimlangan deb qabul qilinadi. Bunda aposterior ehtimollik (3.7) doimiy ko'paytmagacha bo'lgan aniqlikda haqiqatga o'xshashlik funksiyasi $w(u|s)$ bilan mos keladi. Minimal o'rtacha tavakkalni ta'minlash uchun o'xshashlik funksiyasi maksimal bo'lgan signal foydasiga qaror qabul qilinadi, ya'ni s_i signal foydasiga qaror qabul qilinadi, agar quyidagi shart bajarilsa

$$w(u|s_i) > w(u|s_j), \quad j = 1, \dots, m, \quad j \neq i. \quad (3.9)$$

(3.9) ifoda bilan berilgan mezon **maksimal o'xshashlik mezon**i deb ataladi. Ushbu mezon matematik statistikada noma'lum qiymatni baholashda keng ishlatiladi.

Signallarni qidirib topish (aniqlash) masalasida "yolg'on taxlika" turidagi xatolik ehtimolligi oldindan belgilangan qiymatdan oshmasligini, "signalni o'tkazib yuborish" turidagi xatolik ehtimolligi esa minimal bo'lishini ta'minlovchi *Neyman-Pirson mezon*i keng qo'llaniladi.

Neyman-Pirson mezonida signalni mavjud bo'lish va mavjud bo'lmazlik aprior ehtimolligini hamda yo'qotish funksiyasini bilish talab qilinmaydi.

Yuqorida ko'rib chiqilgan hal qiluvchi qoidalarda qaror (yechim)ni qilish qabul qilingan signallarning m -o'lchovli vektorlari asosida aniqlanib, m ning qiymati o'zgarmas (doimiy) saqlangan edi. Shunday qaror qabul qilish qoidasi ham borki, bunda u signal tanlanma (oni yechim)larining o'lchovi tasodifiy bo'ladi hamda oldingi $m - 1$ qadamda $t_1, \dots, t_m$ vaqt momentlari)da signalni kuzatish natijalariga bog'liq bo'ladi. Ushbu qoida Vald tomonidan taklif qilingan bo'lib, *ketma-ket tahlil* qoidasi deb ataladi. Vald mezonining optimalligi shundaki, bunda belgilangan xato qaror ehtimolligida signal tanlanmalarining o'rtacha o'lchovi minimum bo'lishini kafolatlaydi, yoki shunga o'xshash zarur qarorni qabul qilish uchun o'rtacha kuzatish vaqtining minimum bo'lishini ta'minlaydi. Shunday qilib, chiqilgan mezonlar signallarga ishlov berish optimal qurilmalarini tanlashda qo'llaniladi.

3.3. Signallarni aniqlash

3.3.1. Signallarni aniqlash optimal algoritmlari

Signallarni aniqlash masalasi 3.1-bo'limda keltirilganidek, statistik farazlarni tekshirish umumiy masalasining xususiy holi hisoblanadi: qabul qilingan $u(t)$ tebranishni tahlil qilish asosida H_0 faraz (kirishda signal mavjud emasligini tasdiqlovchi, ya'ni θ parametr nolga teng) va muqobil H_1 faraz (kirishda signal mavjudligini tasdiqlovchi, ya'ni θ parametr birga teng) lardan birini tanlash zarur. Aniqlash masalasini yechishda qaror (yechim) faqatgina ikkita bo'lishi mumkin: γ_0 (H_0 faraz qabul qilinadi) va γ_1 (H_1 faraz qabul qilinadi) bo'lib, u ikkilik (ikki muqobillik) yechim deb ataladi.

Agar kuzatilayotgan $u(t)$ tebranish taqismoti faqatgina θ parametr qabul qiladigan qiymatga bog'liq bo'lsa, u holda H_0 va H_1 farazlar **sodda farazlar** deb ataladi. Bunday holat determinant signallarni aniqlashda yuzaga keladi. Bu holatda

$$u(t) = \theta s(t) + n(t)$$

bo'lib, bunda $s(t)$ – barcha parametrlari ma'lum bo'lgan foydali signal bo'lib, H_0 sodda farazni H_1 muqobil farazga nisbatan tekshirish masalasini yechishga to'g'ri keladi.

Aniqlash masalasi uchun nisbatan tipik hisoblanadigan holat bu – kuzatiladigan $u(t)$ tebranish taqsimoti ehtimolligi nafaqat faraz turiga, balki noma'lum λ parametr (yoki λ vektorga) ham bog'liq bo'ladigan holatdir. Bunda H_0 va H_1 farazlar **murakkab farazlar** deb ataladi, va aniqlash masalasi murakkab farazni murakkab muqobil farazga nisbatan tekshirishdan iborat bo'ladi [26].

H_0 va muqobil H_1 farazlar sodda bo'lgan hol uchun aniqlash masalasini ko'rib chiqamiz. Aniqlash masalasi $\Delta(\gamma|u)$ qoidani topishdan iborat bo'lib, bunda har bir $u_1, \dots, u_m$ tanlanma (qiymat)ga mos holda γ_0 yoki γ_1 qaror to'g'ri keladi. Ushbu holda qaror qabullash jarayonini quyidagicha tasavvur qilish mumkin. Qabul qilinayotgan signallar fazosi U ikkita bir-biri bilan kesishmaydigan U_0 va U_1 sohalarga ajratiladi. Agar qabul qilgich kirishidagi $u(t)$ signal U_0 sohaga to'g'ri kelsa (tushsa), u holda γ_0 qaror (H_0 faraz) qabul qilinadi, U_1 sohaga to'g'ri kelsa (tushsa), u holda γ_1 qaror (H_1 faraz) qabul qilinadi. U_0 soha **ruxsat etiladigan soha**, U_1 soha esa – **kritik soha** deb ataladi.

$n(t)$ xalaqit tasodifiy xarakterda bo'lganligi sababli qabul qilinayotgan qaror har doim ham ishonchli hisoblanmaydi. Shuning uchun aniqlash (qidirib topish) masalasini yechishda quyidagi to'rt holat kuzatilishi mumkin.

1. H_0 faraz o'rinli. γ_0 qaror qabul qilinadi. Ushbu holat **to'g'ri aniqlamaslik** deb ataladi. Bunday hodisaning ehtimolligi quyidagi formula orqali aniqlanadi

$$P_t = \int_{U_0} w(u|H_0) du. \quad (3.10)$$

2. H_1 faraz o'rinli. γ_1 qaror qabul qilinadi. Ushbu holat **to'g'ri aniqlash** deb ataladi. Bunday hodisaning ehtimolligi quyidagi formula orqali aniqlanadi

$$D = \int_{U_1} w(u|H_1) du. \quad (3.11)$$

3. H_0 faraz o'rinli. γ_1 qaror qabul qilinadi, ya'ni xato qaror qabul qilinadi. Bunday holat **yolg'on aniqlash** (*yolg'on taxlika*) deb ataladi. Bunday hodisaning ehtimolligi quyidagi formula orqali aniqlanadi

$$F_{y o . t} = \int_{U_1} w(u|H_0) du. \quad (3.12)$$

4. H_1 faraz o'rinli. γ_0 qaror qabul qilinadi, ya'ni xato qaror qabul qilinadi. Bunday holat **signalni o'tkazib yuborish** deb ataladi. Bunday hodisaning ehtimolligi quyidagi formula orqali aniqlanadi

$$P_{o' r t k} = \int_{U_0} w(u|H_1) du. \quad (3.13)$$

Shunday qilib, signallarni aniqlashda mumkin bo'lgan to'rtta holatdan ikkitasida to'g'ri qaror qabul qilinadi, qolgan ikkitasida esa xato qaror qabul qilinadi. Yolg'on aniqlash hodisasi natijasida yuzaga keladigan xatolikni *būrlamchi turdagi xatolik* deb ataladi, uning ehtimolligi $F_{y o . t}$ ni esa *qaror qabullash qoidasining ahamiyatli sathi* deb ataladi. Signalni o'tkazib yuborish bilan bog'liq xatolikni *ikkilamchi turdagi xatolik* deb ataladi, to'g'ri aniqlash ehtimolligi $D = 1 - P_{o' r t k}$ esa *qaror qabullash qoidasining quvvati* deb ataladi.

(3.12), (3.13) ifodalardan ko'rinadiki, xato qaror qabullash ehtimolliklari $F_{y o . t}$ va $P_{o' r t k}$ lar qabul qilinayotgan signallar fazosi U ni U_0 va U_1 sohalarga ajratish xarakteriga bog'liq bo'ladi. Ravshanki, U_1 sohani kichiklashtirib yolg'on safarbarlik ehtimolligi $F_{y o . t}$ ni kamaytirish mumkin,

ammo bunda signalni o'tkazib yuborish xatolik ehtimolligi P_{ortk} kattalashadi. P_{ortk} ni kamaytirish hisobiga U_0 sohani kichiklashtirish $F_{yo.t}$ ning kattalashishiga olib keladi. Bundan kelib chiqadiki, U fazoni U_0 va U_1 sohalariga ajratishni qanday qilib eng optimal usulda amalga oshirish masalasi yuzaga keladi.

Avvalo, Bayes qaror qabullash qoidasini ko'rib chiqamiz.

Aniqlash qurilmasi kirishidagi tebranishni quyidagicha yozamiz

$$u(t) = \theta s_1(t) + (1 - \theta)s_0(t) + n(t), \quad (3.14)$$

bunda, $s_1(t) = s(t)$, $s_0(t) = 0$.

Tasodifiy miqdor θ mos holda p va $1 - p$ ehtimollik bilan 1 va 0 qiymatni qabul qiladi.

Yo'qotish funksiyasini quyidagi ifodalar orqali keltiramiz

$$\Pi(s_1, \gamma_0) = \Pi_{10} > 0, \quad \Pi(s_0, \gamma_1) = \Pi_{01} > 0,$$

$$\Pi(s_1, \gamma_1) = \Pi_{11}, \quad \Pi(s_0, \gamma_0) = \Pi_{00},$$

bunda, $\Pi_{10} > \Pi_{11}$ va $\Pi_{01} > \Pi_{00}$. Demak, (7.4) formulaga muvofiq, o'rtacha tavakkal quyidagi ko'rinishni oladi

$$R = \sum_{j=0}^1 \sum_{i=0}^1 \Pi(s_i, \gamma_j) w(s_i, \gamma_j) = \Pi_{00} w(s_0, \gamma_0) + \Pi_{01} w(s_0, \gamma_1) + \\ + \Pi_{10} w(s_1, \gamma_0) + \Pi_{11} w(s_1, \gamma_1) = \Pi_{00} w(s_0) w(\gamma_0 | s_0) + \\ + \Pi_{01} w(s_0) w(\gamma_1 | s_0) + \Pi_{10} w(s_1) w(\gamma_0 | s_1) + \Pi_{11} w(s_1) w(\gamma_1 | s_1).$$

$$w(s_1) = p, w(s_0) = 1 - p \text{ va } w(\gamma_0 | s_0) = P_t, w(\gamma_1 | s_0) = F_{yo.t},$$

$w(\gamma_0 | s_1) = P_{ortk}$, $w(\gamma_1 | s_1) = D$, ekanligini e'tiborga olib, quyidagiga ega bo'lamiz

$$R = \Pi_{00}(1 - p)P_t + \Pi_{01}(1 - p)F_{yo.t} + \Pi_{10}pP_{ortk} + \Pi_{11}pD. \quad (3.15)$$

(3.15) formulaga (3.10)-(3.13) formulalardagi P_t , D , $F_{yo.t}$, P_{ortk} larning ifodalarini qo'ysak

$$R = \Pi_{00}(1 - p) \int_{U_0} w(u | H_0) du + \Pi_{01}(1 - p) \int_{U_1} w(u | H_0) du + \\ + \Pi_{10}p \int_{U_0} w(u | H_1) du + \Pi_{11}p \int_{U_1} w(u | H_1) du. \quad (3.16)$$

(3.16) ifodaga quyidagi

$$\int_{U_0} w(u|H_1) du = 1 - \int_{U_1} w(u|H_1) du,$$

$$\int_{U_0} w(u|H_0) du = 1 - \int_{U_1} w(u|H_0) du,$$

o'zgartirishlarni kiritib, o'rtacha tavakkal formulasini quyidagicha yozamiz

$$R = \Pi_{00}(1-p) + \Pi_{10}p - \int_{U_1} [p(\Pi_{10} - \Pi_{11})w(u|H_1) - (1-p)(\Pi_{01} - \Pi_{00})w(u|H_0)] du. \quad (3.17)$$

(3.17) ifodadagi birinchi ikkita hadi U fazoni ajratish usuliga bog'liq bo'lmagan doimiy qiymat hisoblanadi. Shuning uchun o'rtacha tavakkal qiymati minimal bo'ladi, qachonki integralning qiymati maksimal bo'lsa. Buning uchun esa U_1 fazoni shunday tanlash kerakki, uning ichiga U fazoning integral osti ifodasi manfiy bo'lmaydigan barcha nuqtalari joylashishi kerak, ya'ni

$$p(\Pi_{10} - \Pi_{11})w(u|H_1) - (1-p)(\Pi_{01} - \Pi_{00})w(u|H_0) \geq 0. \quad (3.18)$$

(3.18) formuladan foydalanib, *Bayes mezonini bo'yicha ishlavchi signalni optimal aniqlash qurilmasining ishlash algoritmini* quyidagicha yozish mumkin

$$\frac{w(u|H_1)}{w(u|H_0)} \underset{H_0}{\geq} \frac{H_1(1-p)(\Pi_{01} - \Pi_{00})}{p(\Pi_{10} - \Pi_{11})}. \quad (3.19)$$

(3.19) algoritmi bo'yicha $l(u) = w(u|H_1)/w(u|H_0)$ o'xshashlik funksiyasi nisbatini hisoblash va uni bo'sag'aviy sath bilan taqqoslash zarur

$$l_0 = \frac{(1-p)(\Pi_{01} - \Pi_{00})}{p(\Pi_{10} - \Pi_{11})}. \quad (3.20)$$

Agar $l(u) \geq l_0$ bo'lsa, signal mavjudligi haqidagi H_1 faraz qabul qilinadi, agar $l(u) < l_0$ bo'lsa, signal mavjud emasligi haqidagi H_0 faraz qabul qilinadi.

$l(u) = w(u|H_1)/w(u|H_0)$ nisbat o'xshashlik nisbati yoki o'xshashlik koeffitsiyenti deb ataladi. Ushbu nisbat qabul qilingan $u(t)$ signalda H_1 faraz H_0 farazga nisbatan haqiqatga yaqin (o'xshash)ligini ko'rsatadi. $n(t)$ xalaqit taqismoti aniq bo'lsa hamda foydali signal va xalaqitning o'zaro ta'sir usuli ma'lum bo'lsa $l(u)$ nisbatni har doim topish (aniqlash) mumkin bo'ladi.

Bo'sag'aviy sath l_0 signal mavjudligining aprior ehtimolligi p hamda yo'qotish funksiyasi $\Pi_{00}, \Pi_{01}, \Pi_{10}$ va Π_{11} qiymatlariga bog'liq bo'lib, uni

avvaldan hisoblab topish mumkin. Shuni qayd etish kerakki, signal mavjudligi va mavjud emasligining aprior ehtimolligi va yo'qotish funksiyasi signalga ishlov berish jarayoniga ta'sir ko'rsatmaydi. Ushbu ma'lumot (qiymat)lar o'zgarsa faqatgina bo'sag'aviy sathni sozlashga to'g'ri keladi.

Yo'qotish funksiyasi quyidagi ko'rinishda berilsa

$$\Pi(s_1, \gamma_0) = \Pi(s_0, \gamma_1), \quad \Pi(s_1, \gamma_1) = \Pi(s_0, \gamma_0) = 0$$

hamda (3.19) ifodani e'tiborga olib, *ideal kuzatuvchi mezoni asosidagi signalni aniqlash qurilmasining ishlash algoritmiga* ega bo'lamiz

$$l(u) = \frac{w(u|H_1)}{w(u|H_0)} \frac{H_1}{H_0} \frac{(1-p)}{p} = l_0. \quad (3.21)$$

Demak, (3.21) ifodaga muvofiq o'xshashlik nisbatini hisoblash va uni bo'sag'aviy sath $l_0 = \frac{(1-p)}{p}$ bilan taqqoslash zarur.

(3.21) ifodadan signal mavjud bo'lishi va mavjud bo'lmasligi ehtimolliklari teng, ya'ni $1-p = p$ deb faraz qilib, *maksimal o'xshashlik mezoni asosidagi signal aniqlash qurilmasining ishlash algoritmini* keltirib chiqaramiz

$$l(u) = \frac{w(u|H_1)}{w(u|H_0)} \frac{H_1}{H_0} \geq 1. \quad (3.22)$$

Radiolokatsiyada aniqlash masalasini yechishda ko'pincha Neyman-Pirson mezoni qo'llaniladi. Ushbu *Neyman-Pirson mezoni asosida ishlovchi aniqlash qurilmasining ishlash algoritmini* quyidagi ko'rinishda keltirish mumkin

$$l(u) = \frac{w(u|H_1)}{w(u|H_0)} \frac{H_1}{H_0} \geq C, \quad (3.23)$$

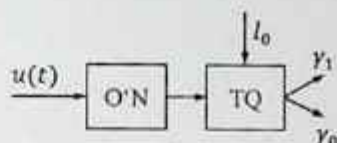
bunda, C sath quyidagi shartdan aniqlanadi: H_0 faraz o'rinli bo'lganda $l(u) \geq C$ tengsizlikning bajarilish ehtimolligi oldindan belgilangan $F_{y.o.t}$ qiymatidan oshmaydi, ya'ni

$$P\{l(u) \geq C | H_0\} = F_{y.o.t}.$$

Shunday qilib, ko'rib chiqilgan barcha mezonlar: Bayes, ideal kuzatuvchi, maksimal o'xshashlik va Neyman-Pirson mezonlari uchun qaror qabul qilish tartibi (3.2-rasm) o'xshashlik nisbati $l(u)$ ni hisoblash (O'N bloki) va uni bo'sag'aviy sath l_0 bilan taqqoslash (TQ – taqqoslash qurilmasi bloki) dan iborat bo'ladi, bunda, bo'sag'aviy sath l_0 mos holda $(1-p)(\Pi_{01} - \Pi_{00})/p(\Pi_{10} - \Pi_{11})$, $(1-p)/p$, 1 va C qiymatlarni qabul qiladi.

Signalni aniqlash qurilmasining tarkibi optimallik mezonini tanlashga bog'liq bo'lmaydi.

3.2-rasm. Signalni aniqlash qurilmasining strukturaviy sxemasi



3.3.2. Determinant signallarni aniqlash

Kuzatilayotgan tebranish quyidagi ko'rinishda bo'lsin

$$u(t) = \theta s(t) + n(t),$$

bunda, θ – tasodifiy miqdor bo'lib, mos holda p_1 va $p_0 = 1 - p_1$ ehtimolliklar bilan 1 va 0 qiymatini qabul qiladi; $s(t)$ – parametrlari ma'lum bo'lgan foydali signal; $n(t)$ – gauss oq shovqini bo'lib, matematik kutilmasi nolga teng va korrelyatsiya funksiyasi esa quyidagicha

$$R_n(\tau) = \frac{N_0}{2} \delta(\tau).$$

Signalni optimal aniqlash qurilmasining ishlash algoritmini topamiz. Avvalo, kuzatuv $t_1, t_2, \dots, t_n$ diskret vaqt momentlarida olib boriluvchi diskret ishlov berishni ko'rib chiqamiz, bunda

$$u(t_i) = u_i = \theta s_i + n_i, \quad i = 1, 2, \dots, n$$

ifodadan tanlab olinadigan qiymatlar asosida qaror qabul qilinadi.

Qaror qabul qilish uchun o'xshashlik nisbati

$$l(\mathbf{u}) = \frac{w(u_1, \dots, u_n | H_1)}{w(u_1, \dots, u_n | H_0)} = \frac{w(\mathbf{u} | H_1)}{w(\mathbf{u} | H_0)} \quad (3.24)$$

ni hisoblash va uni l_0 sath bilan taqqoslash zarur.

$w(\mathbf{u} | H_1)$ va $w(\mathbf{u} | H_0)$ taqsimotlarni aniqlaymiz.

H_0 faraz o'rinli bo'lsin. U holda kuzatilayotgan tebranish shovqin ko'rinishida bo'ladi, ya'ni $u(t) = n(t)$. Xalaqit sifatida gauss oq shovqini qaralayotgan ekan, demak kuzatilayotgan tebranishning har qanday oniy qiymati taqsimoti ham gauss taqsimoti hisoblanadi

$$w(u_i | H_0) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma} \exp\left(-\frac{u_i^2}{2\sigma^2}\right).$$

Oq shovqinning oniy qiymatlari statistik bog'liq bo'lmaganligini hisobga olib, taqsimotni topamiz

$$w(u_1, \dots, u_n | H_0) = \frac{1}{(\sqrt{2\pi}\sigma)^n} \exp\left(-\frac{1}{2\sigma^2} \sum_{i=1}^n u_i^2\right). \quad (3.25)$$

H_1 faraz o'rinli bo'lganda esa

$$u_i = s_i + n_i.$$

Ehtimollik zichligini o'zgartirish formulasidan foydalanib va s_i determinant qiymat ekanligini e'tiborga olib, taqsimotni aniqlaymiz

$$w(u_i|H_1) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma} \exp\left(-\frac{(u_i - s_i)^2}{2\sigma^2}\right).$$

$u_i, i = 1, 2, \dots, n$ oniy qiymatlar oldingidagidek statistik bog'liq bo'lmaganliklari tufayli, taqsimot

$$w(u_1, \dots, u_n|H_1) = \frac{1}{(\sqrt{2\pi}\sigma)^n} \exp\left(-\frac{1}{2\sigma^2} \sum_{i=1}^n (u_i - s_i)^2\right). \quad (3.26)$$

(3.25) va (3.26) ifodalarni (3.24) ifodaga qo'yib, o'xshashlik nisbatini aniqlaymiz

$$l(\mathbf{u}) = \exp\left(\frac{1}{\sigma^2} \sum_{i=1}^n u_i s_i - \frac{1}{2\sigma^2} \sum_{i=1}^n s_i^2\right).$$

Unga muvofiq, signalni aniqlash qurilmasining ishlash algoritmi quyidagi ko'rinishni oladi

$$l(\mathbf{u}) = \exp\left(\frac{1}{\sigma^2} \sum_{i=1}^n u_i s_i - \frac{1}{2\sigma^2} \sum_{i=1}^n s_i^2\right) \underset{H_0}{\overset{H_1}{\geq}} l_0. \quad (3.27)$$

Ushbu ifodani logarifmlasak

$$\ln l(\mathbf{u}) = \frac{1}{\sigma^2} \sum_{i=1}^n u_i s_i - \frac{1}{2\sigma^2} \sum_{i=1}^n s_i^2 \underset{H_0}{\overset{H_1}{\geq}} \ln l_0$$

yoki

$$z' = \frac{1}{\sigma^2} \sum_{i=1}^n u_i s_i \underset{H_0}{\overset{H_1}{\geq}} \ln l_0 + \frac{1}{2\sigma^2} \sum_{i=1}^n s_i^2 = z'_0. \quad (3.28)$$

(3.28) ifodadan ko'rindiki, aniqlash masalasini yechishda bajarish zarur bo'lgan ahamiyatli amal bu qabul qilingan tebranish oniy qiymatlari va foydali signal ko'paytmalarining yig'indisini topish hisoblanadi.

Endi signalga uzluksiz ishlov berishni ko'rib chiqamiz. Uzluksiz vaqt bo'yicha ishlov berishga o'tganda quyidagi bog'lanishdan foydalaniladi

$$\sigma^2 = \frac{N_0/2}{\Delta t}, \quad \Delta t = t_i - t_{i-1}, \quad (3.29)$$

bunda, $N_0/2$ – shovqin quvvatining spektral zichligi. (3.29) ifodani (3.28) ifodaga qo'yib, va $\Delta t \rightarrow 0$ deb qarasak (ya'ni juda kichik qiymat bo'lganligi sababli uni e'tiborga olmasa ham bo'ladi), uzluksiz signalni aniqlash qurilmasining ishlash algoritmini keltirib chiqaramiz

$$z = \frac{2}{N_0} \int_0^T u(t)s(t)dt \underset{H_0}{\gtrless} \ln l_0 + \frac{E}{N_0} = z_0, \quad (3.30)$$

bunda, T – foydali signal davomiyligi, E – uning energiyasi.

Uzluksiz signal uchun o'xshashlik nisbati quyidagi ko'rinishga ega bo'ladi

$$l(u) = \exp \left[-\frac{E}{N_0} + \frac{2}{N_0} \int_0^T u(t)s(t)dt \right]. \quad (3.31)$$

(3.31) formuladan ko'rinadiki, uzluksiz signalga ishlov berishda

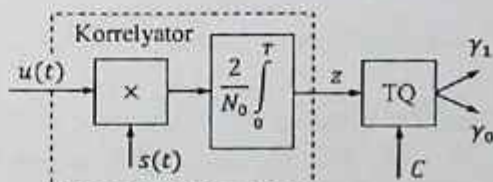
$$z = \frac{2}{N_0} \int_0^T u(t)s(t)dt \quad (3.32)$$

integralni hisoblash va sathning aniq qiymati bilan taqqoslash kerak. (3.32) ifodadagi integral kuzatilayotgan tebranish $u(t)$ va foydali signal $s(t)$ larning o'zaro korrelyatsiyasini ifodalaydi va *korrelyatsiya integrali* deb ataladi. (3.30) ifodaga muvofiq qurilgan va ko'paytirgich, integrator hamda taqqoslash qurilmasi (TQ) dan iborat bo'lgan signalni aniqlash qurilmasi (3.3-rasm) *korrelyatsion aniqlash qurilmasi* deb ataladi. Ko'paytirgich va integrator birgalikda *korrelyatorni* tashkil qiladi [28].

Signalni aniqlash qurilmasining sifat ko'rsatkichlarini aniqlaymiz. Yolg'on safarbarlik ehtimolligi $F_{yo.t}$ va to'g'ri aniqlash ehtimolligi $D = 1 - P_{o'rk}$ lar qurilmaning sifat ko'rsatkichlari bo'lib, ular quyidagi formulalar orqali aniqlanadi

$$\begin{aligned} F_{yo.t} &= P(z > z_0 | H_0) = \int_{z_0}^{\infty} w(z | H_0) dz = \\ &= \int_{\ln l_0 + \frac{E}{N_0}}^{\infty} \frac{1}{\sqrt{2\pi \cdot \frac{2E}{N_0}}} \exp \left(-\frac{z^2}{2 \cdot \frac{2E}{N_0}} \right) dz = 1 - \Phi \left(\frac{\ln l_0 + E/N_0}{\sqrt{2E/N_0}} \right), \end{aligned} \quad (3.33)$$

3.3-rasm. Determinant signalni korrelyatsion aniqlash qurilmasining strukturaviy sxemasi

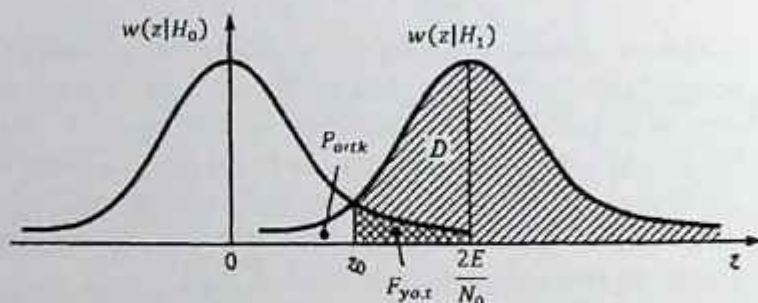


$$D = P(z > z_0 | H_1) = \int_{z_0}^{\infty} w(z|H_1) dz =$$

$$= \int_{\ln l_0 + \frac{E}{N_0}}^{\infty} \frac{1}{\sqrt{2\pi \cdot \frac{2E}{N_0}}} \exp\left(-\frac{\left(z - \frac{2E}{N_0}\right)^2}{2 \cdot \frac{2E}{N_0}}\right) dz = 1 - \Phi\left(\frac{\ln l_0 - E/N_0}{\sqrt{2E/N_0}}\right), \quad (3.34)$$

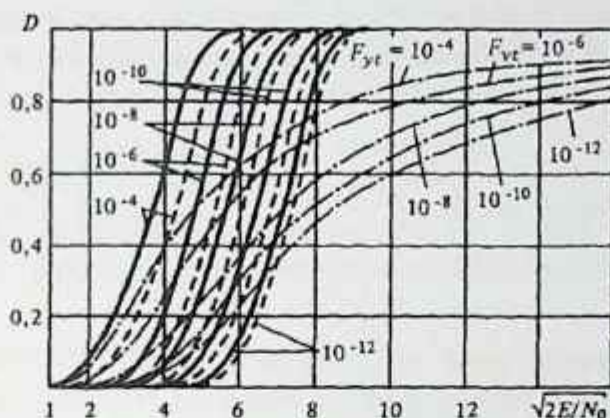
bunda, $\Phi(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^x \exp\left(-\frac{t^2}{2}\right) dt$ – ehtimollik integrali.

$F_{y.o.t}$ va $P_{o.rtk}$ larning sonli qiymatlari mos holda $w(z|H_0)$ va $w(z|H_1)$ taqsimotlari chiziqlari (grafiklari) ostidagi maydonning yuzasiga teng (3.4-rasm).



3.4-rasm. Aniqlash qurilmasi sifat ko'rsatkichlari hisobining diagrammasi

(3.33) va (3.34) ifodalardan foydalanib, turli $F_{y.o.t}$ (3.5-rasmdagi uzluksiz chiziqlar) uchun *aniqlash xarakteristikasi* deb ataluvchi $D = f(\sqrt{2E/N_0})$ bog'liqlikka ega bo'lamiz. Ushbu xarakteristikalardan foydalanib, belgilangan (berilgan) $F_{y.o.t}$ ehtimolligi uchun talab etiladigan to'g'ri aniqlash ehtimolligi (D) bilan signalni aniqlashni ta'minlovchi $2E/N_0$ nisbatini aniqlash mumkin.



3.5-rasm. Optimal signal aniqlash qurilmasining xarakteristikalari

Olingan natijalardan quyidagi muhim xulosa kelib chiqadi: belgilangan $F_{yo,t}$ va P_{otk} xatolik ehtimolliklar bilan gauss oq shovqini ta'siridagi signalni aniqlash imkoniyati signal energiyasi E ning shovqin quvvati zichligi $N_0/2$ ga nisbatiga bog'liq va signal shakliga bog'liq emas.

(3.32) ifodadagi aniqlash algoritmini korrelyatsion qabul qilgichdan foydalanib texnik jihatdan amalga oshirish yagona imkoniyat emas. (3.32) ifodadagi korrelyatsiya integralini chiziqli filtr yordamida shakllantirish mumkin. Haqiqatda, $t = T$ vaqt momentida $h(t)$ impuls xarakteristikasili chiziqli filtr chiqishidagi signal

$$u_{chiq}(T) = \int_0^T u(t)h(T-t)dt$$

ko'rinishiga ega bo'ladi.

Agar filtrning impuls xarakteristikasini

$$h(T-t) = \frac{2}{N_0} s(t),$$

yoki

$$h(t) = \frac{2}{N_0} s(T-t), \quad (3.35)$$

shaklida tanlasak, u holda $u_{chiq}(T)$ (3.32) ifodadagi korrelyatsiya integrali bilan to'liq mos keladi.

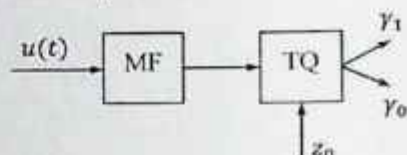
Impuls xarakteristikasi (3.35) ifoda yoki nisbatan umumiy holda

$$h(t) = as(t_0 - t),$$

(bunda, a – doimiy kattalik va $t_0 \geq T$) bilan aniqlanuvchi chiziqli filtr **moslashgan filtr** deb ataladi.

Determinant signalni filtdan foydalanib aniqlash qurilmasining strukturaviy sxemasi 3.6-rasmda keltirilgan, bunda qurilma moslashgan filtr (MF) va taqqoslash qurilmasi (TQ) dan tashkil topadi.

3.6-rasm. Determinant signalni filtdan foydalanib aniqlash qurilmasining strukturaviy sxemasi



Xulosa o'rinda qayd qilish mumkinki, ko'rib chiqilgan optimal aniqlash qurilmasini amalga oshirish sxemalari (korrelyatsion va filtrlı) bir xil sifat ko'rsatkichlariga ega. Qabul qilgich turidan qat'iy nazar (korrelyatsion qabul qilgich yoki moslashgan filtr), foydali signal haqidagi axborot qabul qilish tomonida ma'lum bo'ladi va qabullash jarayonida qo'llaniladi. Korrelyatsion qabul qilgich yordamida qabullashda qabul tomonida $s(t)$ signal nusxasi shakllantiriladi, moslashgan filtr yordamida qabullashda esa signal haqidagi axborot uning kompleks chastota xarakteristikasi (yoki impuls xarakteristikasi)da joylashgan bo'ladi.

Korrelyatsion qabul qilgichdan foydalanilganda signalning kelish vaqtini aniq bilish talab etiladi. Agar signalning kelish vaqti ma'lum bo'lmasa, u holda signal kelish vaqtining mumkin bo'lgan oraliqlariga mos keluvchi bir nechta korrelyatorlardan foydalanish kerak bo'ladi. Moslashgan filtdan foydalanilganda signalning kelish vaqtini bilish talab etilmaydi, chunki qandaydir $s(t)$ signal bilan moslashgan filtr vaqt bo'yicha t_0 ga surilgan $s(t - t_0)$ signal bilan ham moslashgan bo'ladi. Signal kelish vaqtining o'zgarishi ushbu signal hisobiga filtr chiqishida o'zining maksimal qiymatga erishish vaqtining o'zgarishiga olib keladi [29].

3.3.3. Tasodifiy signallarni aniqlash

Tasodifiy boshlang'ich fazali signallarni aniqlash.

Aniqlash qurilmasi kirishidagi tebranish quyidagi ko'rinishda bo'lsin

$$u(t) = \theta s(t, \varphi) + n(t) = \theta [s \cos(\omega_0 t + \varphi)] + n(t),$$

bunda, $s(t, \varphi)$ – boshlang'ich faza φ dan tashqari boshqa parametrlari ma'lum bo'lgan foydali signal.

Boshlang'ich faza φ taqsimot qonuni ma'lum bo'lgan tasodifiy miqdor deb qaraladi. Boshlang'ich fazaning aprior taqsimoti haqida axborot mavjud bo'lmaganda ushbu taqsimotni bir tekis deb hisoblash to'g'ri bo'ladi

$$w(\varphi) = \frac{1}{2\pi}, \quad 0 \leq \varphi \leq 2\pi. \quad (3.36)$$

Ko'rilayotgan holatda signal φ ga bog'liq holda turli qiymatlarni qabul qilishi mumkin bo'lib, H_1 faraz murakkab hisoblanadi. Shuning uchun aniqlash algoritmi quyidagi o'xshashlik nisbatini hisoblash

$$\bar{l}(u) = \frac{\int_0^{2\pi} w(u|H_1, \varphi) w(\varphi) d\varphi}{w(u|H_0)} \quad (3.37)$$

va uni l_0 sath bilan taqqoslash amaliga mos keladi. Bunda ushbu ifodada $w(u|H_0)$ taqsimot noma'lum parametrlardan tashkil topmaganligi hisobga olingan.

$\bar{l}(u)$ nisbatni quyidagicha topish mumkin

$$\bar{l}(u) = \int_0^{2\pi} l(u|\varphi) w(\varphi) d\varphi, \quad (3.38)$$

bunda, $\bar{l}(u)$ – shartli o'xshashlik nisbati (boshlang'ich faza φ ga teng bo'lganda o'xshashlik nisbati). U determinant signal $s(t, \varphi)$ uchun o'xshashlik nisbati bilan mos keladi, bunda φ – o'rnatilgan qiymat.

Determinant signallar uchun o'xshashlik nisbati ifodasidan, (3.36), (3.38) ifodalardan foydalanib hamda bir qator o'zgartirishlarni amalga oshirib, tasodifiy boshlang'ich fazali signalni optimal aniqlash qurilmasining ishlash algoritmini keltirib chiqaramiz

$$\bar{l}(u) = \exp\left(-\frac{E}{N_0}\right) I_0\left(\frac{2Z}{N_0}\right) \frac{H_1}{H_0} \geq l_0$$

yoki

$$\ln I_0\left(\frac{2Z}{N_0}\right) \frac{H_1}{H_0} \geq \ln l_0 + \frac{E}{N_0} = z_0, \quad (3.39)$$

bunda, $I_0(Z)$ – nolinch darajali Bessel modifikatsiyalangan funksiyasi bo'lib, ushbu funksiyaning monotonligini hisobga olib, (3.39) algoritmini unga teng kuchli bo'lgan quyidagi sodda ifoda bilan almashtirish mumkin

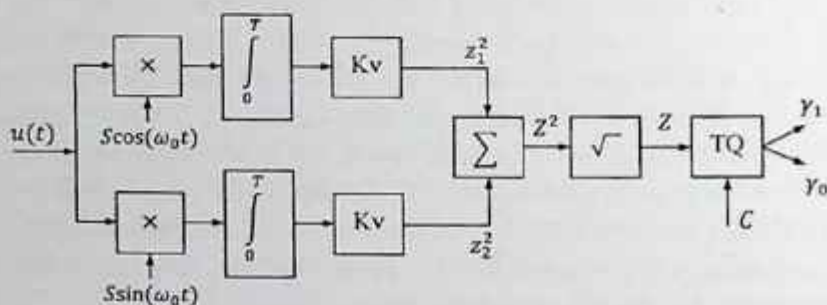
$$Z \frac{H_1}{H_0} \geq C, \quad (3.40)$$

bunda, C sath yolg'on safarbarlik ehtimolligi $F_{y.o.t}$ ning talab etiladigan qiymatini ta'minlashdan kelib chiqib tanlanadi.

Shunday qilib, tasodifiy boshlang'ich fazali signalni aniqlash masalasini yechishda quyidagi muhim amalni bajarish, ya'ni ushbu

$$Z = \sqrt{z_1^2 + z_2^2} = \sqrt{\left[\int_0^T u(t)S \cos(\omega_0 t) dt \right]^2 + \left[\int_0^T u(t)S \sin(\omega_0 t) dt \right]^2}. \quad (3.41)$$

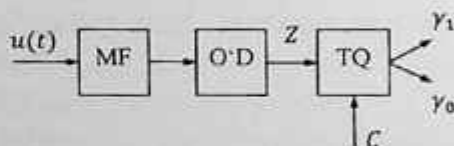
(3.40) va (3.41) ifodalarga muvofiq qurilgan optimal aniqlash qurilmasi (3.7-rasm) har birida ko'paytirish, integrallash va kvadratga oshirish amali bajariluvchi ikkita kvadraturali kanal sxemasidan iborat bo'ladi. Kanallardagi tayanch kuchlanishlarning fazasi bir-biriga nisbatan 90° ga siljirilgan bo'ladi. Ikkita kvadraturali kanalning mavjudligi boshlang'ich fazaning haqiqiy qiymatiga bog'liq bo'lmaydigan, ishlov berish natijasi Z ni olishga imkon yaratadi.



3.7-rasm. Tasodifiy boshlang'ich fazali signalni korrelyatsion aniqlash qurilmasining strukturaviy sxemasi

Z ning qiymati qabul qilgich chiqishidagi signal o'rovchisining qiymatiga mos kelishini hisobga olsak, optimal aniqlash qurilmasining boshqa bir sxemasiga ega bo'lamiz (3.8-rasm). U moslashgan filtr (MF), o'rovchisining detektori (O'D) va taqqoslash qurilmasi (TQ) dan iborat bo'ladi. Bunda qaror $t = T$ vaqt momentida qabul qilinadi.

3.8-rasm. Tasodifiy boshlang'ich fazali signalni filtr yordamida aniqlash qurilmasining strukturaviy sxemasi



Tasodifiy boshlang'ich fazali signalni aniqlash xarakteristikalarini 3.5-rasmda shtrix chiziqlar orqali keltirilgan. Ushbu xarakteristikalarini determinant signalni aniqlash xarakteristikalarini bilan solishtirish shuni ko'rsatadiki, bunda boshlang'ich fazani bilmaslik aniqlash sifat ko'rsat-

kichlarining yomonlashishiga olib keladi, ya'ni signal-shovqin nisbatining bir muncha katta sathi talab etiladi.

Tasodifiy amplitudali va boshlang'ich fazali signallarni aniqlash.

Aniqlanuvchi signal quyidagi ko'rinishda bo'lsin

$$s(t, a, \varphi) = a \cos(\omega_0 t - \varphi), \quad (3.42)$$

bunda, a va φ – tasodifiy amplituda va boshlang'ich faza. Amaliyotda ko'pincha a va φ qiymatlar statistik bog'liq bo'lmaydi va mos holda rele va bir tekis taqsimot qonuniga ega bo'ladi

$$w(a) = \frac{a}{\sigma_a^2} \exp\left(-\frac{a^2}{2\sigma_a^2}\right), \quad a \geq 0;$$

$$w(\varphi) = \frac{1}{2\pi}, \quad 0 \leq \varphi \leq 2\pi. \quad (3.43)$$

Ko'rilayotgan holat uchun o'xshashlik nisbati quyidagi ko'rinishga ega bo'ladi

$$\bar{l}(u) = \int_0^\infty \int_0^{2\pi} l(u|a, \varphi) w(a) w(\varphi) d\varphi da. \quad (3.44)$$

Shartli o'xshashlik nisbati $l(u|a, \varphi)$ (3.31) formula bo'yicha aniqlanadi, bunda $s(t)$ ni $s(t, a, \varphi)$ ga almashtiriladi

$$l(u|a, \varphi) = \exp\left\{\frac{2}{N_0} \int_0^T u(t) s(t, a, \varphi) dt - \frac{1}{N_0} \int_0^T s^2(t, a, \varphi) dt\right\}.$$

(3.44) ifodaning o'ng tomonini φ o'zgaruvchi bo'yicha integrallab, o'xshashlik nisbatini yozamiz

$$\bar{l}(u) = \int_0^\infty \exp\left(-\frac{a^2 E_1}{N_0}\right) I_0\left(\frac{2aZ_1}{N_0}\right) w(a) da, \quad (3.45)$$

bunda, $E_1 - a = 1$ bo'lgandagi foydali signal energiyasi; $Z_1 = Z/a - S = 1$ bo'lgandagi (3.41) formula bo'yicha aniqlanuvchi qiymat (amplitudasi 1 ga teng bo'lgan signalni qabul qilishga sozlangan optimal qabul qilgich chiqishidagi signal o'rovchisining qiymati).

(3.45) ifodaga (3.43) ifodani qo'yib va ushbuni inobatga olgan holda

$$\int_0^\infty x \exp(-\alpha x^2) I_0(\beta x) dx = \frac{1}{2\alpha} \exp\left(\frac{\beta^2}{4\alpha}\right), \quad (3.46)$$

quyidagiga ega bo'lamiz

$$\bar{l}(u) = \frac{N_0}{N_0 + \bar{E}} \exp \left[-\frac{2\sigma_a^2 Z_1^2}{N_0(N_0 + \bar{E})} \right], \quad (3.47)$$

bunda, $\bar{E} = M\{a^2 E_1\} = E_1 M\{a^2\} = E_1 \cdot 2\sigma_a^2$ (3.48)

– signalning o'rtacha energiyasi.

$\bar{l}(u)$ o'xshashlik nisbati Z_1 ning monoton funksiyasi ekanligidan kelib chiqib, optimal aniqlash qurilmasining ishlash algoritmini quyidagicha yozish mumkin

$$Z_1 \geq C_1. \quad (3.49)$$

(3.49) ifodadan ko'rinadiki, tasodifiy amplitudali va boshlang'ich fazali signalni aniqlash masalasini uchishdagi ahamiyatli (murakkab) amal bu amplitudasi 1 ga teng bo'lgan signalni qabullashga sozlangan optimal qabul qilgich chiqishidagi signal o'rovchisini hisoblashdir. Aniqlash qurilmasining strukturaviy sxemasi 3.7- va 3.8-rasmlardagiga o'xshash bo'ladi.

Aniqlash qurilmasining sifat ko'rsatkichlari quyidagi ifodalar yordamida aniqlanadi:

Yolg'on taxlika ehtimolligi:

$$F_{yo,t} = \int_{C_1}^{\infty} w(Z_1/H_0) dZ_1 = \int_{C_1}^{\infty} \frac{Z_1}{\sigma_1^2} \exp\left(-\frac{Z_1^2}{2\sigma_1^2}\right) dZ_1 = \exp\left(-\frac{C_1^2}{2\sigma_1^2}\right), \quad (3.50)$$

To'g'ri aniqlash ehtimolligi:

$$D = \int_{C_1}^{\infty} \bar{w}(Z_1/H_1) dZ_1 = \exp\left(-\frac{C_1^2}{N_0 E_1 (1 + 2\sigma_a^2 E_1/N_0)}\right). \quad (3.51)$$

Ushbu (3.50) va (3.51) ifodalardan foydalanib, tasodifiy amplitudali va boshlang'ich fazali signalni aniqlash xarakteristikalarini topish ifodasiga ega bo'lamiz

$$D = F_{yo,t}^{1/(1+E/N_0)}. \quad (3.52)$$

(3.52) ifodadagi bog'liqlikning grafigi 3.5-rasmda shtrix-punktir chiziqlar orqali keltirilgan. Ushbu xarakteristikalardan ko'rinadiki, tasodifiy amplitudali va boshlang'ich fazali signalni aniqlash uchun amplitudasi ma'lum bo'lgan signalni aniqlashga qaraganda signal-shovqin nisbatining ancha katta sathi (qiymati) talab etiladi.

Shunday qilib, signalning amplitudasi va boshlang'ich fazasini bilmaslik aniqlash sifat ko'rsatkichlarining sezilarli yomonlashishiga olib keladi. Belgilangan (berilgan) ko'rsatkichlarni ta'minlash uchun signalning energiyasini oshirish zarur bo'ladi.

Payqash qiyin emaski, ko'rib chiqilgan aniqlash qurilmalarining sxemalaridagi moslashgan filtr o'rnida *kvazioptimal filtr* deb ataluvchi bir

muncha sodda filtrlardan foydalaniladi, ushbu filtrning o'tkazish polosasi chiqishida imkon qadar katta signal-shovqin nisbatiga erishish shartidan kelib chiqib tanlanadi. Bunda, albatta aniqlash qurilmasining xalaqitbardoshligi yomonlashadi, chunki kvazioptimal filtrlar foydali signal bilan qisman moslashgan bo'ladi. Shunga qaramasdan, oddiy signallardan foydalanilganda, masalan yakka radioimpulslardan, ushbu yo'qotish uncha muhim emas (energetik yo'qotish 17% dan oshmaydi).

3.3.4. Signallar to'plamini aniqlash

Obyektdan aks etib qaytgan signal radioimpulslar ketma-ketligi (radioimpulslar to'plami) dan iborat bo'ladi. To'plamdagi impulslar soni N obyektni nurlatish vaqti T_{nur} va radioimpulslarning takrorlanish davri T_t ga bog'liq bo'lib, quyidagicha aniqlanadi

$$N = T_{nur} / T_t.$$

Doiraviy kuzatuv rejimida nurlatish vaqti

$$T_{nur} = \Delta\theta_{0,5} / \Omega,$$

bunda, $\Delta\theta_{0,5}$ —yo'naltirilganlik digrammasining 0,5 sathdagi kengligi; Ω — antenna nuri aylanishining burchak tezligi.

To'plamning o'rovchisi antenna yo'naltirilganlik diagrammasining shakli bilan aniqlanadi. Ba'zi hollarda approksimasiya sifatida xuddi shunday energiyali, ammo impulslar soni kichik bo'lgan to'g'ri burchakli o'rovchili to'plamdan foydalanish qulay bo'ladi.

Radioimpulslar to'plami **kogerent** deb ataladi, agar radioimpulslarning boshlang'ich fazalari determinant munosabatda bog'langan bo'lsa. Agar radioimpulslarning boshlang'ich fazalari tasodifiy bo'lsa, u holda radioimpulslar to'plami **nokogerent** deb ataladi.

Aks etgan radioimpulslar to'plami kogerent bo'lishi mumkin agar quyidagi shartlar bajarilsa:

- 1) nurlatilgan radioimpulslar kogerent bo'lishi kerak;
- 2) obyektdan aks etgan signal va nurlatilgan (tarqatilgan) signallarning fazalar siljishi barcha radioimpulslar uchun bir xil bo'lishi kerak;
- 3) fluktuasiyaning korrelyatsiya intervali to'plam davomiyligidan katta bo'lishi kerak:

$$\tau_{f.l.k} > T_{corp} = NT_t.$$

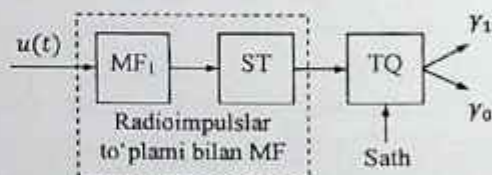
Nurlatilayotgan signallarning kogerent bo'lishini ta'minlash uchun signalni ushbu sxema bo'yicha shakllantirish lozim: yuqori barqarorlikli generator—modulyator—quvvat kuchaytirgich. Kogerent radioimpulslar to'plamini aniqlash masalasini yechish quyidagi asosiy modellar asosida amalga oshiriladi:

- 1) to'liq ma'lum parametrli radioimpulslar to'plami (determinant model);
- 2) tasodifiy boshlang'ich fazali radioimpulslar to'plami;
- 3) tasodifiy boshlang'ich fazali va amplitudali radioimpulslar to'plami.

Yuqorida keltirilgan kogerent radioimpulslar to'plami optimal aniqlash qurilmalarining sintezi 3.3.3-bo'limda ko'rib chiqilgan yakka signallarni optimal aniqlash qurilmalarining sintezidan farq qilmaydi. Kogerent radioimpulslar to'plamini aniqlash qurilmasining strukturaviy sxemasi esa 3.3- va 3.6-rasmlarda keltirilgan aniqlash qurilmasining strukturaviy sxemasi bilan mos keladi. Lekin, korrelyatsion sxemada tayanch signal sifatida radioimpulslar to'plamini ifodalovchi signallardan foydalanish kerak, filtrli sxemada optimal filtr radioimpulslar to'plami bilan moslashgan bo'lishi kerak.

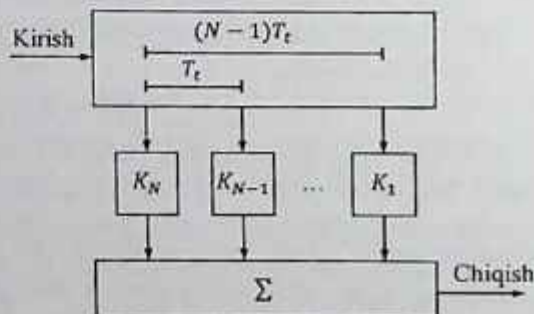
Kogerent radioimpulslar to'plami uchun moslashgan filtrning sxemasini yakka radioimpuls bilan moslashgan filtrni (MF_1) va sinxron to'plagichni (ST) kaskadli ulash ko'rinishida keltirish mumkin (3.9-rasm). Sinxron to'plagich (3.10-rasm) tarmoqlangan kechiktirish liniyasi, impulslar to'plamining amplitudasiga proporsional bo'lgan K_i kuchaytirish koeffitsiyentli kuchaytirgichlar va yig'uvchi qurilma (summator)dan iborat.

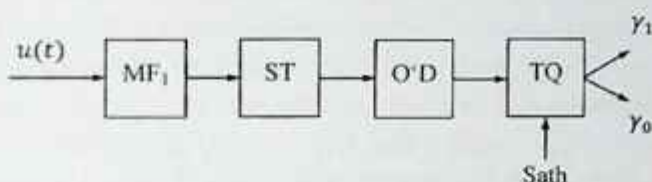
3.9-rasm. Kogerent radioimpulslar to'plamini optimal aniqlash qurilmasining strukturaviy sxemasi



3.11-rasmda tasodifiy boshlang'ich fazali kogerent radioimpulslar to'plamini optimal aniqlash qurilmasining strukturaviy sxemasi keltirilgan. Ushbu sxemaning 3.9-rasmda keltirilgan sxemadan farqi shundaki, bu sxemada o'rovchisining detektori (O'D) mavjudligidir.

3.10-rasm. Kogerent radioimpulslar to'plami uchun moslashgan filtrning strukturaviy sxemasi

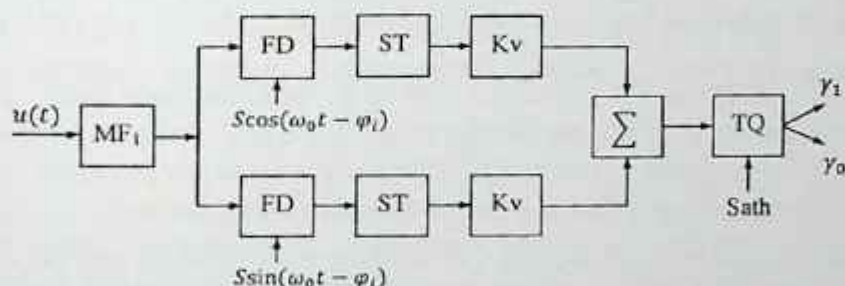




3.11-rasm. Tasodifiy boshlang'ich fazali kogerent radioimpulsalar to'plamini optimal aniqlash qurilmasining strukturaviy sxemasi

Sinxron to'plagichni radiochastotada texnik amalga oshirish murakkab masala hisoblanadi. Kechiktirish liniyasi parametrlarining nobarqarorligi va tarmoqlar joylashuvining noaniqligi signalni sinxron to'plagichni to'liq miqyosda amalga oshirishga imkon bermaydi, natijada aniqlash qurilmasining xalaqitbardoshligi pasayishiga olib keladi.

Tasodifiy boshlang'ich fazali kogerent radioimpulsalar to'plami uchun aniqlash qurilmasining filtr-korrelyatsion tuzilishli sxemasidan foydalanish mumkin (3.12-rasm).



3.12-rasm. Aniqlash qurilmasining filtr-korrelyatsion tuzilishli sxemasi

Ushbu sxema yakka radioimpuls bilan moslashgan filtr (MF_1); har biri faza detektor (FD), sinxron to'plagich (ST) va kvadrator (Kv) dan iborat bo'lgan ikkita kvadratural kanal; summator (Σ) va taqqoslash qurilmasi (TQ) dan tashkil topgan. Tayanch tebranishlar $S \cos(\omega_0 t + \varphi_1)$ va $S \sin(\omega_0 t + \varphi_1)$ larning ω_0 chastotasi MF_1 chiqishidagi radioimpulsalar chastotasi bilan mos bo'lishi, ularning fazalari φ_1 esa bir davrdan boshqasiga o'tganda $\omega_0 T_t$ qiymatga o'zgarishi kerak. Aniqlash qurilmasining ko'rib chiqilgan sxemasi 3.11-rasmida keltirilgan sxema bilan bir xil xalaqitbardoshlikka ega bo'lib, uni amalga oshirish sodda, chunki sinxron to'plash videochastotada amalga oshiriladi.

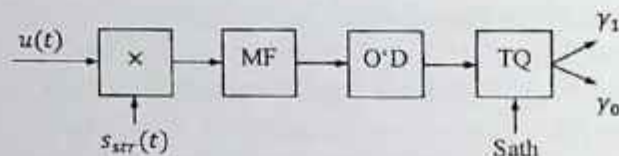
Tasodifiy boshlang'ich fazali kogerent radioimpulslar to'plamiga ishlov berish uchun korrelyatsion-filtr tuzilishli sxemadan ham foydalanish mumkin (3.13-rasm). $s_1(t)$ – davomiyligi $T = (N - 1)T_t + \tau_t$ ga teng bo'lgan radioimpuls bo'lsin. U holda kogerent radioimpulslar to'plamini quyidagicha ifodalash mumkin

$$s(t) = s_1(t) \times s_{str}(t),$$

bunda, $s_{str}(t)$ – davomiyligi τ_t ga, takrorlanish davri T_t ga teng bo'lgan davriy videoimpulslar (stroblar) ketma-ketligi.

Yuqoridagilar asosida korrelyatsiya integrali quyidagi ko'rinishga ega bo'ladi

$$\int_0^T u(t)s(t)dt = \int_0^T u(t)s_{str}(t)s_1(t)dt = \int_0^T u_{str}(t)s_1(t)dt. \quad (3.53)$$



3.13-rasm. Aniqlash qurilmasining korrelyatsion-filtr tuzilishli sxemasi

(3.53) ifodadan ko'rinadiki, tasodifiy boshlang'ich fazali kogerent radioimpulslar to'plamini aniqlash tartibi (jarayoni) qabul qilingan signal $u(t)$ va videoimpulslar ketma-ketligi $s_{str}(t)$ larni ko'paytirish va $s_1(t)$ signal bilan moslashgan filtrda ishlov berishdan iborat bo'ladi.

Avvalgi, 3.10- va 3.12-rasmlardagi sxemalardan farqli ravishda korrelyatsion-filtrli ishlov berishda ko'p tarmoqli kechikish liniyalari va kvadraturali kanallar asosidagi murakkab to'plagichlar ishtirok etmaydi. Shu bilan birga korrelyatsion-filtr sxemasining muhim kamchiligi shundaki, kechikish signali uchun invariantlik xossasiga ega emasligidir. Shuning uchun kelish momenti (vaqti) noma'lum bo'lgan kogerent radioimpulslar to'plamiga ishlov berishda ko'p kanalli sxemadan foydalanish zarur. Filtrli va filtr-korrelyatsion sxemalari signal kechikishiga invariantdir.

Ko'rib chiqilgan kogerent radioimpulslar to'plamini optimal aniqlash qurilmalarining xalaqitbardoshligini yuqorida keltirilgan (3.33) va (3.34) formulalar asosida baholash mumkin. Bunda E energiyani barcha impulslar energiyasining yig'indisi sifatida qaraladi. To'g'ri to'rtburchakli to'plamlardan (barcha impulslarning amplitudalari bir xil) foydalanilganda sinxron to'plagich chiqishidagi (3.9-, 3.11-rasmlar) signal-shovqin nisbati yakka

radioimpuls bilan moslashgan filtr chiqishidagiga nisbatan N marta katta bo'ladi.

Endi nokogerent radioimpulslar to'plamini aniqlashni ko'rib chiqamiz. Bunda radioimpulslar amplitudalari ma'lum, ularning boshlang'ich fazalari esa bir tekis taqsimot qonuniga ega bo'lgan bir-biri bilan bog'liq bo'lmagan tasodifiy miqdorni ifodalaydi. Ushbu masalani yechish uchun radioimpulslar boshlang'ich fazalarining statistik bog'liq emasligini hisobga olgan holda quyidagi o'xshashlik nisbatini hisoblash kerak bo'ladi

$$l(u) = \prod_{i=1}^N \bar{l}_i(u),$$

bunda, $\bar{l}_i(u)$ – i -nchi radioimpuls uchun o'xshashlik nisbati; N – to'plamdagi impulslar soni.

Shunday qilib,

$$l(u) = \prod_{i=1}^N \exp\left(-\frac{E_i}{N_0}\right) I_0\left(\frac{2Z_i}{N_0}\right), \quad (3.54)$$

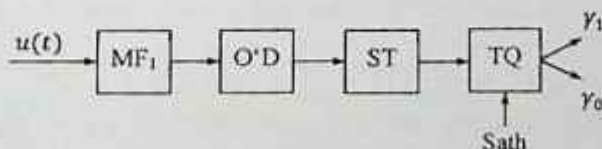
bunda, E_i – i -nchi radioimpuls energiyasi; Z_i – yakka radioimpuls bilan moslashgan filtr chiqishidagi i -nchi radioimpuls o'rovchisi.

(3.54) ifodani logarifmlaymiz va doimiy kattaliklarni o'ng tomonga o'tkazsak, optimal aniqlash qurilmasining ishlash algoritmi quyidagi ko'rinishga ega bo'ladi

$$\sum_{i=1}^N \ln I_0\left(\frac{2Z_i}{N_0}\right) \underset{H_0}{\overset{H_1}{\geq}} C, \quad (3.55)$$

bunda, C – bo'sag'aviy sath qiymati bo'lib, belgilangan (berilgan) yolg'on taxlika ehtimolligini ta'minlash shartidan tanlanadi.

3.14-rasmda (3.55) ifodaga muvofiq amplitudalari ma'lum bo'lgan va fazalari tasodifiy bo'lgan nokogerent radioimpulslar to'plamini optimal aniqlash qurilmasining strukturaviy sxemasi keltirilgan. Aniqlash qurilmasi yakka radioimpuls bilan moslashgan filtr (MF₁), o'rovchisining detektori (O'D), sinxron to'plagich (ST) va taqqoslash qurilmasi (TQ) dan iborat bo'ladi.



3.14-rasm. Nokogerent radioimpulslar to'plamini optimal aniqlash qurilmasining strukturaviy sxemasi

Amaliyotda, moslashgan filtr (MF_1) o'rniga ko'pincha kvazioptimal filtrdan foydalaniladi, bunda ushbu filtrning o'tkazish polosasi uning chiqishida imkon qadar maksimal bo'lgan signal-shovqin nisbatini ta'minlash shartidan kelib chiqqan holda tanlanadi. Xususan, filtrning to'g'ri to'rt-burchakli chastota xarakteristikasida o'tkazish polosasining kengligi Siforov formulasi bo'yicha aniqlanadi, ya'ni [30]

$$\Delta f_{opt} \approx 1,37/\tau_i.$$

3.4. Signallarni farqlash

3.4.1. Signallarni farqlash optimal algoritmlari

Qabul qiluvchi qurilma kirishidagi tebranish $s_1(t), s_2(t), \dots, s_m(t)$ signallardan biri hamda xalaqit yig'indisidan iborat bo'lsin. Qabul qilingan $u(t)$ realizatsiyalar bo'yicha uzatish tomonidan qaysi signal uzatilganligini aniqlash masalasini yechish talab etilgan bo'lsin. Bunday masala asosan aloqa tizimlari uchun xosdir.

Ma'lumki, aloqa tizimlarida turli signallarni qabul qilishdagi xatoliklar keraksiz (ortiqcha) bo'lib, ushbu tizimlarda nisbatan keng tarqalgan signallarni optimal qabul qilish mezonlaridan biri maksimum aposterior ehtimollik mezonini hisoblanadi.

Ikkita $s_0(t)$ va $s_1(t)$ signallarni maksimum aposterior ehtimollik mezonini bo'yicha farqlashda $s_1(t)$ signal uzatilgan deb qaror chiqariladi, agar o'xshashlik nisbati $l(u)$ quyidagi shartni bajarsa

$$l(u) = \frac{w(u|s_1)}{w(u|s_0)} \geq \frac{p_0}{p_1}, \quad (3.56)$$

bunda, p_0 va p_1 — $s_0(t)$ va $s_1(t)$ signallarning aprior ehtimolliklari.

m ta teng ehtimollikli signallarni farqlashda esa $s_k(t)$ signal uzatilgan deb qaror qabul qilinadi, agar quyidagi shart bajarilsa

$$w(u|s_k) > w(u|s_i), \quad i = 1, 2, \dots, m, \quad i \neq k. \quad (3.57)$$

3.4.2. Determinant signallarni farqlash

Ikkita determinant signalni farqlash.

Qabul qiluvchi qurilma kirishidagi signal quyidagi ko'rinishga ega bo'lsin

$$u(t) = \theta s_1(t) + (1 - \theta)s_0(t) + n(t),$$

bunda, θ — tasodifiy miqdor bo'lib, mos ravishda p_0 va p_1 ehtimolliklarga ega 0 yoki 1 qiymatini qabul qiladi; $s_0(t)$ va $s_1(t)$ — aniq parametrlil foydali

signal; $n(t)$ – matematik kutilmasi nolga va korrelyatsiya funksiyasi $R_n(\tau) = \frac{N_0}{2} \delta(\tau)$ ga teng bo'lgan stasionar gauss oq shovqini.

U holda o'xshashlik nisbati quyidagi ko'rinishga ega bo'ladi

$$l(u) = \exp \left(-\frac{E_1}{N_0} + \frac{2}{N_0} \int_0^T u(t) s_1(t) dt \right) / \exp \left(-\frac{E_0}{N_0} + \frac{2}{N_0} \int_0^T u(t) s_0(t) dt \right),$$

bunda, E_0 va $E_1 = \int_0^T s_0^2(t) dt$ va $\int_0^T s_1^2(t) dt$ signallarning energiyasi. Ushbu nisbatni logarifmlasak, quyidagi ifodaga ega bo'lamiz

$$\ln l(u) = -\frac{E_1 - E_0}{N_0} + \frac{2}{N_0} \int_0^T u(t) (s_1(t) - s_0(t)) dt.$$

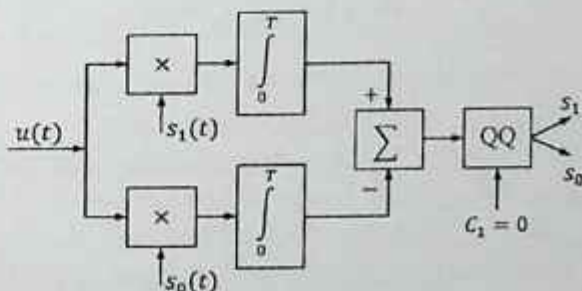
Bundan $s_1(t)$ signal uzatilgan deb qaror qabul qilinadi, agar quyidagi shart bajarilsa

$$z = \frac{2}{N_0} \int_0^T u(t) (s_1(t) - s_0(t)) dt \geq \ln \frac{p_0}{p_1} + \frac{E_1 - E_0}{N_0} = C_1. \quad (3.58)$$

Simmetrik kanal uchun, ya'ni $p_0 = p_1 = 0,5$ va $E_0 = E_1 = E$ holat uchun, C_1 sath (chegara) nolga teng bo'ladi va farqlash tenglamasi quyidagi ko'rinishni oladi

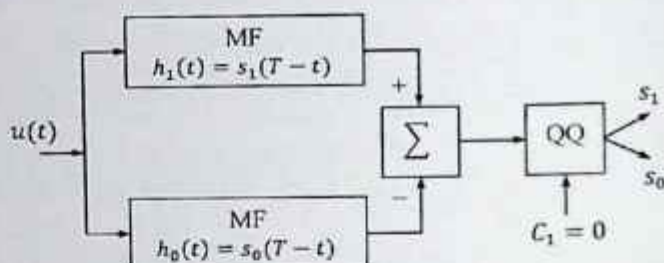
$$z \geq 0. \quad (3.59)$$

Ushbu (3.59) algoritm asosida ishlovchi optimal kogerent qabul qiluvchi qurilmaning strukturaviy sxemasi 3.15-rasmda keltirilgan, rasmda QQ – qaror qabullagich. Sxemaning yuqori va past qismlaridagi korrelyatorlar impuls xarakteristikasi mos ravishda $h_1(t) = s_1(T-t)$ va $h_0(t) = s_0(T-t)$ ga teng bo'lgan moslashgan filtrlar bilan almashtirilishi mumkin (3.16-rasm).



3.15-rasm. Ikki ta determinant signalni korrelyatsion farqlovchi qurilmaning strukturaviy sxemasi

3.16-rasm. Moslashgan filtrlar yordamida ikkita determinant signallarni farqlovchi qurilmaning strukturaviy sxemasi



Xatolikning o'rtacha ehtimolligi quyidagi ko'rinishda yoziladi

$$P_x = p_0 P_x(s_0) + p_1 P_x(s_1),$$

bunda, $P_x(s_i) - s_i(t)$, $i = 0, 1$ signalni uzatishdagi xatolik ehtimolligi.

Agar $p_0 = p_1 = 0,5$ bo'lsa, u holda

$$P_x = 0,5(P_x(s_0) + P_x(s_1)). \quad (3.60)$$

$P_x(s_0)$ va $P_x(s_1)$ shartli ehtimolliklar mos holda $s_0(t)$ va $s_1(t)$ signallar uchun z taqsimot orqali quyidagicha aniqlanadi

$$P_x(s_0) = \int_{z > c_1} w(z|s_0) dz,$$

$$P_x(s_1) = \int_{z < c_1} w(z|s_1) dz. \quad (3.61)$$

Kuzatish mumkinki, $s_1(t)$ signal uchun z qiymat, ya'ni

$$z = z_1 = \frac{2}{N_0} \int_0^T (s_1(t) + n(t))(s_1(t) - s_0(t)) dt$$

normal taqsimot qonuni bo'yicha taqsimlangan bo'lib, uning matematik kutilmasi va dispersiyasi quyidagiga teng

$$M\{z_1\} = \frac{2E}{N_0} (1 - r_s), \quad \sigma_{z_1}^2 = \frac{4E}{N_0} (1 - r_s),$$

bunda, $r_s = \frac{1}{E} \int_0^T s_1(t)s_0(t) dt$ - $s_1(t)$ va $s_0(t)$ signallarning o'zaro korrelyatsiya funksiyasi koeffitsiyenti.

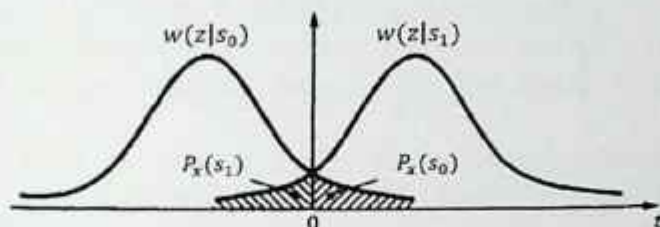
Yuqoridagiga o'xshash holda, $s_0(t)$ signal uchun z qiymat, ya'ni

$$z = z_0 = \frac{2}{N_0} \int_0^T (s_0(t) + n(t))(s_1(t) - s_0(t)) dt$$

normal taqsimot qonuni bo'yicha taqsimlangan bo'lib, uning matematik kutilmasi va dispersiyasi quyidagiga teng

$$M\{z_0\} = \frac{2E}{N_0} (1 - r_s), \quad \sigma_{z_0}^2 = \frac{4E}{N_0} (1 - r_s).$$

3.17-rasmda $w(z_1) = w(z|s_1)$ va $w(z_0) = w(z|s_0)$ taqsimotlarning grafiklari keltirilgan.



3.17-rasm. Determinant signallarni farqlashda ehtimollik zichliklari

(3.58)–(3.61) ifodalar hamda $w(z_1)$ va $w(z_0)$ taqsimotlarni e'tiborga olib, quyidagiga ega bo'lamiz

$$\begin{aligned} P_x &= 0,5 \left(\int_0^{\infty} w(z|s_0) dz + \int_{-\infty}^0 w(z|s_1) dz \right) = \\ &= 1 - \Phi \left(\sqrt{\frac{E}{N_0}} (1 - r_s) \right) = 1 - \Phi \left(\sqrt{(1 - r_s)} h \right), \end{aligned} \quad (3.62)$$

bunda, $\Phi(z) = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^z e^{-t^2/2} dt$ – ehtimollik integrali, $h^2 = \frac{E}{N_0}$.

(3.62) formuladan ko'rinadiki, xatolik o'rtacha ehtimolligi nafaqat signalning energiyasi va shovqinning spektral quvvat zichligiga bog'liq, balki signallar o'rtasidagi o'zaro korrelyatsiya koeffitsiyentiga, ya'ni qo'llaniladigan signallar tizimiga ham bog'liq ekan. Ehtimollik integrali $\Phi(z)$ monoton o'suvchi funksiya hisoblanadi. Demak, bir xil $\frac{E}{N_0}$ nisbatda o'zaro korrelyatsiya koeffitsiyenti r_s qancha kichik bo'lsa, tizim xalaqitbardoshligi shuncha yuqori bo'ladi.

O'zaro korrelyatsiya koeffitsiyenti $-1 \leq r_s \leq 1$ oralig'ida bo'lishini e'tiborga olsak, u holda korrelyatsiya koeffitsiyenti $r_s = -1$ ga teng bo'lgan signallar eng katta xalaqitbardoshlikka ega signallar hisoblanadi. Ushbu signallar bir xil shaklga ega bo'lib, ishoralari qarama-qarshi bo'ladi va shuning uchun ham qarama-qarshi signallar deb yuritiladi. Ular uchun

$$P_x = 1 - \Phi(\sqrt{2E/N_0}) = 1 - \Phi(\sqrt{2}h). \quad (3.63)$$

Qarama-qarshi signallarga misol sifatida fazasi π ga surilgan fazasi manipulyasiyalangan quyidagi signallarni keltirish mumkin

$$s_1(t) = U_0 \cos \omega_0 t, \quad s_0(t) = U_0 \cos(\omega_0 t + \pi), \quad 0 \leq t \leq T.$$

Ortogonal signallar ($r_s = 0$) nisbatan kichik xalaqitbardoshlikka ega, ular uchun

$$P_x = 1 - \Phi(\sqrt{E/N_0}) = 1 - \Phi(h). \quad (3.64)$$

Agar $r_s = 1$ bo'lsa, bunday signallar aynan teng signallar bo'ladi, ya'ni $s_1(t) = s_0(t)$, va ularni tabiiyki farqlash mumkin emas. Ular uchun $P_x = 0,5$.

Ortogonal signallarga misol sifatida fazasi $\pi/2$ ga surilgan fazasi manipulyasiyalangan quyidagi signallarni keltirish mumkin

$$s_1(t) = U_0 \cos \omega_0 t, \quad s_0(t) = U_0 \cos(\omega_0 t + \pi/2), \quad 0 \leq t \leq T.$$

Ortogonal signallarni chastota manipulyasisini qo'llagan holda ham hosil qilish mumkin. Ushbu holda

$$s_1(t) = U_0 \cos(\omega_1 t - \varphi_1), \quad s_0(t) = U_0 \cos(\omega_0 t - \varphi_0).$$

Bunda $\varphi_1 = \varphi_0 = \varphi$ bo'lganda ushbu signallar orasidagi o'zaro korrelyatsiya koeffitsiyenti quyidagi ko'rinishni oladi

$$r_s = \frac{\sin((\omega_1 - \omega_0)T)}{(\omega_1 - \omega_0)T} + \frac{\sin((\omega_1 + \omega_0)T - 2\varphi) + \sin 2\varphi}{(\omega_1 + \omega_0)T}.$$

Agar $(\omega_1 - \omega_0)T = 2\pi k$, $k = 1, 2, \dots$, sharti bajarilsa, korrelyatsiya koeffitsiyenti r_s nolga teng bo'ladi va ushbu signallar ortogonal hisoblanadi. Amaliyotda ω_1, ω_0 va T parametrlar $(\omega_1 - \omega_0)T \gg 1$ shartni qanoatlantiradigan qilib tanlanadi, bunda $r_s \approx 0$ bo'ladi.

Shuni payqash qiyin emaski, chastotasi manipulyasiyalangan signallar o'rtasidagi o'zaro korrelyatsiya koeffitsiyenti r_s minimal bo'lishi uchun chastotalar orasidagi farq $1,5\pi$ ga teng bo'lishi kerak, ya'ni $(\omega_1 - \omega_0)T = 1,5\pi$. Bunda xatolik ehtimolligi quyidagicha aniqlanadi

$$P_x = 1 - \Phi\left(\sqrt{\frac{1,21E}{N_0}}\right) = 1 - \Phi(\sqrt{1,21}h).$$

Endi amplitudasi manipulyasiyalangan signallarning xalaqitbardoshligini ko'rib chiqamiz, bunda

$$s_1(t) = U_0 \cos(\omega_0 t + \varphi), \quad s_0(t) = 0, \quad 0 \leq t \leq T.$$

Ushbu holatda signallarni farqlash algoritmi quyidagi ko'rinishga ega bo'ladi

$$z = \frac{2}{N_0} \int_0^T u(t) s_1(t) dt \approx \frac{s_1}{s_0} \frac{E}{N_0} + \ln \frac{p_0}{p_1} = C_1.$$

Ehtimollik zichliklari $w(z/s_1)$ va $w(z/s_0)$ gauss taqsimot qonuniga bo'ysunadi va matematik kutilmasi va dispersiyasi mos ravishda quyidagi qiymatlarga ega bo'ladi $M\{z\} = \frac{zE}{N_0}$, $\sigma_z^2 = \frac{2E}{N_0}$ va $M\{z\} = 0$, $\sigma_z^2 = 2E/N_0$.

Agar $p_1 = p_0 = 0,5$ bo'lsa, o'rtacha xatolik ehtimolligi

$$P_x = 0,5 \left(\int_{-\infty}^{C_1} w(z|s_1) dz + \int_{C_1}^{\infty} w(z|s_0) dz \right).$$

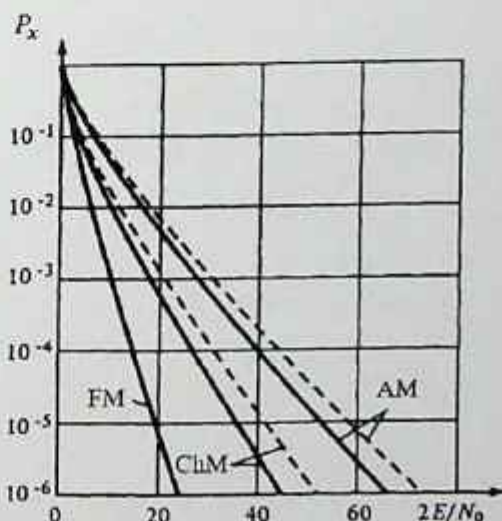
$C_1 = E/N_0$ ekanligini e'tiborga olib, va birinchi integral ahamiyatga ega emas deb hisoblasak

$$P_x = 1 - \Phi(0,5\sqrt{2E/N_0}) = 1 - \Phi(h/\sqrt{2}). \quad (3.65)$$

3.18-rasmda fazasi (FM), chastotasi (ChM) va amplitudasi (AM) manipulyasiyalangan signallar uchun (uzluksiz chiziq) (3.63)–(3.65) formulalar bo'yicha hisoblangan xatolik ehtimolligining $2E/N_0$ nisbatiga bog'liqligi grafigi keltirilgan.

Shunday qilib, eng katta xalaqitbardoshlikka fazasi manipulyasiyalangan signallar ega bo'lar ekan. Ushbu FM signallar ChM signallarga qaraganda 2 marotaba, AM signallarga nisbatan esa 4 marotaba energetik yutuq (samaradorlik) qa ega. ChM signallar AM signallarga nisbatan 2 marotaba energetik yutuqqa ega.

3.18rasm. AM, ChM va FM determinant signallarni farqlash xatolik ehtimolligi (uzluksiz chiziq) va tasodifiy boshlang'ich fazali AM va ChM signallarni farqlash xatolik ehtimolligi (shtrix chiziq)



Ma'lumki, $\sqrt{2E(1-r_s)}$ kattalik signallar orasidagi masofani ifodalaydi, ya'ni $d = \left(\int_0^T [s_1(t) - s_0(t)]^2 dt \right)^{1/2}$.

Bundan foydalanib, (3.65) ifodani quyidagicha yozish mumkin

$$P_x = 1 - \Phi(d/\sqrt{2N_0}). \quad (3.66)$$

Ushbu ifodadan quyidagi xulosaga kelish mumkin: gauss oq shovqini ta'siridagi kanalda xatolik ehtimolligi faqat signallar orasidagi masofaga va shovqinning quvvat spektral zichligiga bog'liq bo'ladi. Ushbu xulosa m ($m > 2$) ta signallarni farqlashda o'rindir.

m ta determinant signallarni farqlash.

Qabul qilingan signal $u(t) = s_i(t) + n(t)$, $0 \leq t \leq T$ ko'rinishida bo'lsin, bunda $s_i(t)$, $i = 1, 2, \dots, m$ ($m > 2$) – qabul qilgich kirishidagi umkin bo'lgan foydali signallar; $n(t)$ – gauss oq shovqini turidagi xalaqit.

Tasavvur qilamiz, istalgan signalni uzatish ehtimolligi $1/m$ ga teng bo'lsin. U holda $s_i(t)$, $i = 1, 2, \dots, m$ ta signallardan qaysi biri uzatilganligi masalasi (3.57) tengsizlikni ($m - 1$) ta tahlil qilish asosida hal qilinadi, ya'ni ko'rib chiqilayotgan holat uchun ushbu tengsizlik quyidagi ko'rinishni oladi

$$\frac{2}{N_0} \int_0^T u(t)s_l(t)dt - \frac{E_l}{N_0} > \frac{2}{N_0} \int_0^T u(t)s_i(t)dt - \frac{E_i}{N_0}, \quad i = 1, 2, \dots, m, \quad i \neq l;$$

yoki, agar $E_1 = E_2 = \dots = E_m = E$ bo'lsa

$$\int_0^T u(t)s_l(t)dt > \int_0^T u(t)s_i(t)dt, \quad i = 1, 2, \dots, m, \quad i \neq l. \quad (3.67)$$

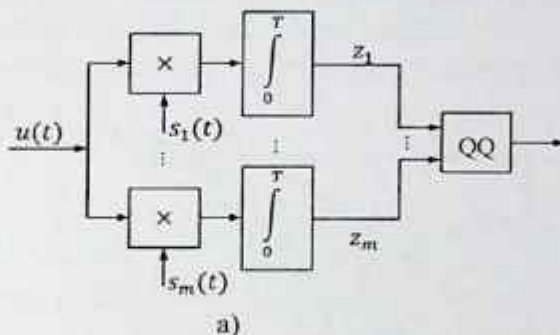
(3.67) ifoda asosida, m ta signallarni farqlovchi qurilma m ta korrelyator (3.19a-rasm) yoki m ta moslashgan filtr (3.19b-rasm) dan hamda qaror chiqaruvchi qurilmadan iborat bo'ladi.

Farqlash qurilmasining xalaqitbardoshligini baholaymiz. Ravshanki, (3.67) tengsizlik hattoki bitta $i \neq l$ uchun bajarilmasa ham signalni qabul qilishda xatolik yuz beradi. Tasavvur qilamiz, $z_1, z_2, \dots, z_m$ – farqlash qurilmasi kanallarining chiqishidagi kuchlanishlar, $w(z_1, z_2, \dots, z_m | s_l)$ – qabul qiluvchi qurilma kirishiga $s_l(t)$ signal ta'sir etganda tasodifiy miqdorlar to'plami $z_1, z_2, \dots, z_m$ ning m o'lchovli ehtimollik zichligi. Demak optimal farqlash qurilmasining ishlash algoritmini e'tiborga olib, $s_l(t)$ signalni to'g'ri qabul qilish ehtimolligini quyidagicha yozish mumkin

$$P_x(s_l) = \int_{-\infty}^{\infty} dz_1 \int_{-\infty}^{z_1} \dots \int_{-\infty}^{z_1} w(z_1, z_2, \dots, z_m | s_l) dz_1 dz_2 \dots dz_{l-1} dz_{l+1} \dots dz_m. \quad (3.68)$$

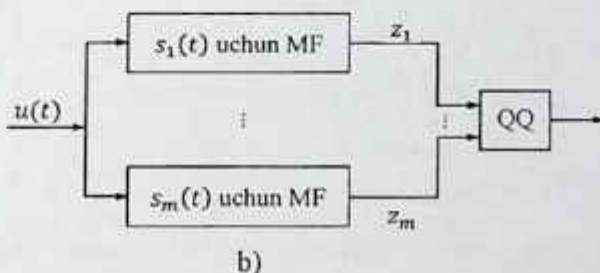
U holda xatolik ehtimolligi quyidagi ko'rinishga ega bo'ladi

$$P_x(s_i) = 1 - P_t(s_i). \quad (3.69)$$



3.19-rasm. a) – m ta determinant signallarni optimal korrelyatsion farqlash;

b) – m ta determinant signallarni optimal filtrli farqlash qurilmalarining strukturaviy sxemasi.



Xatolik ehtimolligi P_x qo'llaniladigan signallar ansambli $s_i(t)$, $i = 1, 2, \dots, m$ ga bog'liq bo'ladi. Signallarning turli xususiyatlaridan kelib chiqib, farqlanuvchi tizimlarning turi ko'pchilikni tashkil etadi. Ularning ichida uzatishning belgilangan aprior sharoitida eng katta xalaqitbardoshlikni ta'minlovchi signallar tizimi ko'proq qiziqish uyg'otadi.

m ta signallardan foydalanuvchi tizimning xalaqitbardoshligini aniqlash murakkab masala hisoblanadi. Shunga qaramasdan, teng ehtimollikli simpleks va ortogonal signallar uchun (3.68) ifoda juda sodda ko'rinishga ega bo'lib, sonli usullar yordamida aniqlash mumkin bo'lgan sodda integral ko'rinishini oladi.

Avvalo ortogonal signallar qo'llanilgan uzatish tizimini ko'rib chiqamiz. Qabul qilgich kirishidagi signal quyidagi ko'rinishga ega bo'lsin

$$u(t) = s_i(t) + n(t), \quad 0 \leq t \leq T$$

U holda i -chi kanal chiqishidagi kuchlanish $z_1 = \int_0^T u(t)s_i(t)dt$ gauss tasodifiy miqdori bo'lib, uning matematik kutilmasi $M(z_1) = E$ va dispersiyasi $\sigma_{z_1}^2 = EN_0/2$ ga teng; shuningdek qolgan kanallar chiqishidagi kuchlanish matematik kutilmasi nolga va dispersiyasi $EN_0/2$ ga teng bo'lgan gauss tasodifiy miqdori hisoblanadi.

Ko'rilayotgan hol uchun $z_1, z_2, \dots, z_m$ o'zaro bog'liq emasligini ko'rish qiyin emas, demak statistik bog'liq emas. Ushbu holatda ehtimollik zichligini quyidagicha yozish mumkin

$$w_m(z_1, z_2, \dots, z_m) = w(z_1)w(z_2) \dots w(z_m), \quad (3.70)$$

bunda

$$w(z_1) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sqrt{EN_0/2}} \exp\left(-\frac{(z_1 - E)^2}{EN_0}\right), \quad (3.71)$$

$$w(z_j) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sqrt{EN_0/2}} \exp\left(-\frac{z_j^2}{EN_0}\right), \quad j = 1, 2, \dots, m, \quad j \neq 1. \quad (3.72)$$

(3.70)–(3.72) ifodalarni (3.68) ifodaga qo'yib, o'zgartirishlardan so'ng quyidagiga ega bo'lamiz

$$\begin{aligned} P_x(s_l) &= \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^{\infty} \exp\left(-\frac{z^2}{2}\right) \Phi^{m-1}\left(z + \sqrt{\frac{2E}{N_0}}\right) dz = \\ &= \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^{\infty} \exp\left(-\frac{1}{2}\left(z - \sqrt{\frac{2E}{N_0}}\right)^2\right) \Phi^{m-1}(z) dz, \end{aligned} \quad (3.73)$$

bunda, $\Phi(z) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^z \exp\left(-\frac{t^2}{2}\right) dt$ – ehtimollik integrali.

Bundan ko'rinadiki, to'g'ri qabul qilish ehtimolligi $s_l(t)$, $i = 1, 2, \dots, m$ signallar uchun bir xil. Shuning uchun xatolik ehtimolligi quyidagi ko'rinishga ega bo'ladi

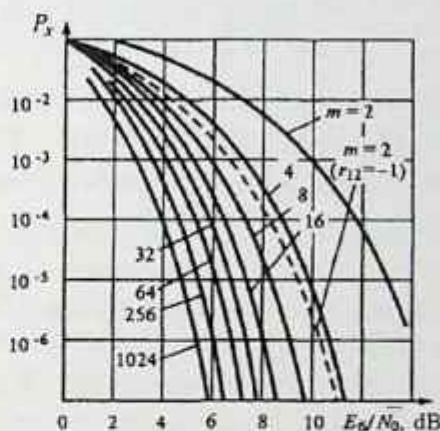
$$P_x = 1 - \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^{\infty} \exp\left(-\frac{1}{2}\left(z - \sqrt{\frac{2E}{N_0}}\right)^2\right) \Phi^{m-1}(z) dz. \quad (3.74)$$

(3.74) ifodadan ko'rinadiki, signallar soni m ning ortishi natijasida xatolik ehtimolligi kattalashadi. Bu signalni qabul qiluvchi qaysidir kanal chiqishidagi shovqinning ortib ketish ehtimolligi bilan bog'liq bo'ladi deb tushuntiriladi. Ammo bu m ta signalni tizimning potensial xalaqitbardoshligi ikkilik tizimnikidan kichik bo'lishini bildirmaydi. Taqqoslash jarayonida shuni e'tiborga olish kerakki, teng ehtimollikli har bir m lik signal ikkilik signalga qaraganda $\log_2 m$ marta ko'p axborot tashiydi, yoki bir xil axborot uzatish tezligida $\log_2 m$ marta katta davomiylikka ega bo'ladi.

3.20-rasmda m ta ortogonal signallarni kogerent qabul qilishda xatolik ehtimolligining E_b/N_0 nisbatiga bog'liqligi (uzluksiz chiziq) ($E_b = E/\log_2 m - 1$ bit axborotni tashish uchun sarflanuvchi energiya) keltirilgan.

Taqqoslash uchun ikkita qarama-qarshi signallar uchun xatolik ehtimoligining E_b/N_0 nisbatiga bog'liqligi grafigi (shtrix chiziq) keltirilgan. $m > 2$ ortogonal signallar tizimi bir xil axborot uzatish tezligida ikkilik signallarga qaraganda sezilarli energetik samaradorlikka ega bo'ladi, masalan, $m = 32$ va $P_x = 10^{-5}$ bo'lganda energetik samaradorlik taxminan 2 barobarni tashkil etadi.

3.20-rasm. m ta determinant ortogonal signallarni farqlashda (uzluksiz chiziq) va ikkita determinant qarama-qarshi signallarni farqlashda (punktir chiziq) xatolik ehtimolligi



Energetik samaradorlik uchun to'lov (badal) tizim egallovchi chastotalar polosasining kengligi hisoblanadi, bu esa o'z navbatida qabul qiluvchi qurilmaning murakkablashishiga olib keladi, ya'ni teng energiyali signallar uchun m ta korrelyatordan yoki m ta moslashgan filtdan (signallar soniga bog'liq holda) hamda qaror qabul qiluvchi qurilmadan tashkil topadi.

Simpleks signallar $s_i(t)$, $i = 1, 2, \dots, m$ qo'llanilgan tizim uchun xatolik ehtimolligi P_x ni ko'rib chiqamiz, u ortogonal signallar uchun xatolik ehtiolligi bilan o'zaro sodda bog'liqlikka ega.

Haqiqatda, $s_i(t)$, $i = 1, 2, \dots, m$ — simpleks signallar bo'lsin. Signallarning $T(1 + |r_0|)$ davomiylikli yangi ansamblini hosil qilamiz

$$s'_i(t) = \begin{cases} s_i(t), & 0 \leq t \leq T, \\ \sqrt{E/T}, & T < t < T(1 + |r_0|), \end{cases} \quad (3.75)$$

bunda, $r_0 \geq -1/(m - 1)$.

(3.75) ifoda bilan berilgan signalar ortogonal hisoblanadi

$$\int_0^{T(1+|r_0|)} s'_i(t)s'_j(t)dt = \int_0^T s_i(t)s_j(t)dt + \int_T^{T(1+|r_0|)} \frac{E}{T}dt = Er_0 + E|r_0|$$

$$= 0, \quad i \neq j.$$

Har bir $s'_i(t)$ signalning energiyasi $E(1 + |r_0|)$ ga teng. Har ikkala $\{s_i(t)\}$ va $\{s'_i(t)\}$ tizimlar signallarining orasidagi masofa bir xil ekanligini

e'tiborga olib, dastlabki signallar ansambli $s_i(t)$, $i = 1, 2, \dots, m$ uchun xatolik ehtimolligi $E(1 + |r_0|)$ energiyali ortogonal signallar ansambli uchun xatolik ehtimolligiga teng ekanligini tasdiqlash mumkin. Shunday qilib, simpleks signallar uchun xatolik ehtimolligi ifodasi quyidagi ko'rinishga ega bo'ladi

$$P_x = 1 - \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^{\infty} \exp \left[-\frac{1}{2} \left(z - \sqrt{\frac{2E}{N_0} \frac{m}{m-1}} \right)^2 \right] \Phi^{m-1}(z) dz.$$

Simpleks signallar uchun xatolik ehtimolligining E_b/N_0 nisbatiga bog'liqligi grafigini 3.20-rasmdagi grafiklardan ko'rish mumkin, faqat absissa o'qidagi E_b/N_0 o'rniga $\frac{E_b}{N_0} \frac{m}{m-1}$ qiymatini qo'yish kerak.

Simpleks signallarning xalaqitbardoshligi ortogonal signallarning xalaqitbardoshligidan katta. Ammo ushbu farq m ning kattalashishi bilan kamayib boradi va $m \gg 1$ holat uchun ikkita ansamblning xalaqitbardoshligi deyarli bir-biriga teng bo'ladi.

Yuqorida ko'rib chiqilganidek, m ta signaldan foydalanuvchi tizimda xatolik ehtimolligini aniqlash oson emas. Shuning uchun amaliyotda ko'pincha xatolik ehtimolligining yuqori chegarasidan foydalaniladi

$$P_x(s_i) \leq \sum_{j=1}^m P_x(s_j | s_i), \quad (3.76)$$

bunda, $P_x(s_j | s_i) - s_j(t)$ va $s_i(t)$ signallar qo'llaniluvchi ikkilik tizimda $s_i(t)$ signalni uzatishdagi xatolik ehtimolligi. Ushbu (3.76) munosabat har qanday signallar tizimi va har qanday kanal uchun o'rinalidir [18].

Nisbatan sodda, ammo kichik aniqlik bilan yuqori chegarani aniqlash ifodasi quyidagicha

$$P_x \leq (m-1) \max P_x(s_j | s_i) \quad (3.77)$$

bunda, $\max P_x(s_j | s_i) - s_j(t)$ va $s_i(t)$ signallar qo'llaniluvchi ikkilik tizimdagi barcha i, j juftliklar uchun maksimal xatolik ehtimolligi.

3.4.3. Tasodifiy boshlang'ich fazali signallarni farqlash

Tasodifiy boshlang'ich fazali ikkita signalni farqlash.

Qabul qilgich kirishidagi signal quyidagicha bo'lsin

$$u(t) = \theta s_1(t, \varphi_1) + (1 - \theta) s_0(t, \varphi_0) + n(t),$$

bunda, θ - tasodifiy miqdor bo'lib, mos ravishda p_0 va p_1 ehtimolliklarga ega 0 yoki 1 qiymatini qabul qiladi; φ_1 va φ_0 - o'zaro bog'liq bo'lmagan tasodifiy qiymatni qabul qiluvchi boshlang'ich fazalar bo'lib, ularning

qiymati $[-\pi, \pi]$ oraliqda bir tekis taqsimlangan bo'ladi; $n(t)$ – quvvat spektral zichligi $N_0/2$ ga teng bo'lgan gauss oq shovqini turidagi xalaqit.

O'xshashlik nisbati xuddi tasodifiy boshlang'ich fazali signallarni aniqlashga o'xshash holda (3.3.3-paragrafdagi kabi) boshlang'ich fazalarga bog'liq bo'ladi

$$l(u/\varphi_1, \varphi_0) = \frac{\exp\left(-\frac{E_1}{N_0} + \frac{2}{N_0} \int_0^T u(t)s_1(t, \varphi_1)dt\right)}{\exp\left(-\frac{E_0}{N_0} + \frac{2}{N_0} \int_0^T u(t)s_0(t, \varphi_0)dt\right)}. \quad (3.78)$$

(3.78) ifodaning surat va maxrajini φ_1 va φ_0 tasodifiy miqdorlar bo'yicha o'rtachalashtirib, o'rtacha o'xshashlik nisbatiga ega bo'lamiz

$$\bar{l}(u) = \frac{\exp(-E_1/N_0)I_0(2Z_1/N_0)}{\exp(-E_0/N_0)I_0(2Z_0/N_0)}$$

bunda, $I_0(\cdot)$ – nolinch darajali modifikasiyalangan Bessel funksiyasi; E_0 va E_1 – signallarning energiyalari; $2Z_1/N_0$ va $2Z_0/N_0$ qiymatlar $s_1(t)$ va $s_0(t)$ signallar bilan moslashgan filtrlar chiqishidagi o'rovchilarning qiymati bilan mos keladi.

Maksimum aposterior ehtimollik mezoniga muvofiq $s_1(t)$ signal uzatilgan deb qaror qabul qilinadi, agar

$$\bar{l}(u) = \frac{\exp((E_0 - E_1)/N_0)I_0(2Z_1/N_0)}{I_0(2Z_0/N_0)} \geq \frac{p_0}{p_1},$$

yoki

$$\ln I_0(2Z_1/N_0) - \ln I_0(2Z_0/N_0) \geq (E_0 - E_1)/N_0 + \ln \frac{p_0}{p_1} = C_1, \quad (3.79)$$

bunda, p_0, p_1 – mos ravishda $s_0(t)$ va $s_1(t)$ signallarning paydo bo'lish ehtimolligi.

Simmetrik kanal uchun $p_0 = p_1 = 0,5$, $E_0 = E_1 = E$ va $C_1 = 0$ bo'lgan hol uchun farqlash algoritmi quyidagi ko'rinishga ega bo'ladi

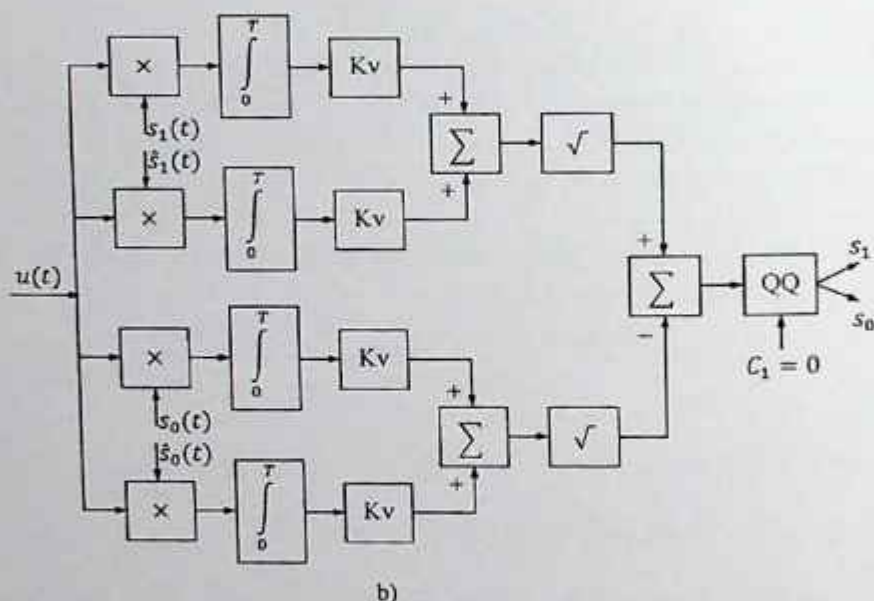
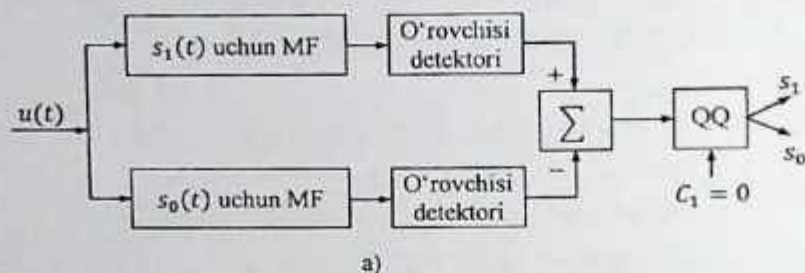
$$\ln I_0(2Z_1/N_0) \underset{s_0}{\overset{s_1}{\geq}} \ln I_0(2Z_0/N_0). \quad (3.80)$$

$\ln I_0(\cdot)$ funksiyaning monotonligi sababli (3.80) tengsizlik quyidagi tengsizlikka ekvivalent bo'ladi

$$Z_1 \underset{s_0}{\overset{s_1}{\geq}} Z_0. \quad (3.81)$$

Ishlash algoritmi (3.81) formula bilan ifodalanuvchi optimal qabul qiluvchi qurilma (3.21a-rasm) qabul qilingan $u(t)$ tebranish bo'yicha

o'rovchisi qiymatini hisoblovchi ikkita kanal, summator va taqqoslash qurilmasidan iborat.



3.21-rasm. a) – tasodifiy boshlang'ich fazali ikkita signalni filtrli optimal farqlash qurilmasining strukturaviy sxemasi; b) – tasodifiy boshlang'ich fazali ikkita signalni korrelyatsion optimal farqlash qurilmasining strukturaviy sxemasi.

Har bir kanal mos signali bo'yicha optimal hisoblanadi va 3.21-rasmdagi sxema bo'yicha amalga oshiriladi. Shuningdek qabul qiluvchi qurilmani korrelyatorlar asosida amalga oshirish usuli ham mavjud bo'lib (3.21b-rasm), bunda $\hat{s}_i(t)$, $i = 0, 1$ – $s_i(t)$ signalning Gilbert o'zgartirishi.

Tasodifiy boshlang'ich fazali m ta signalni farqlash.

Qabul qiluvchi qurilma kirishidagi signal $u(t) = s_i(t, \varphi_i) + n(t)$, $i = 1, 2, \dots, m$ ko'rinishiga ega bo'lsin, bunda boshlang'ich faza φ_i $[-\pi, \pi]$ oraliqda bir tekis taqsimlangan tasodifiy miqdor; $n(t)$ – gauss oq shovqin

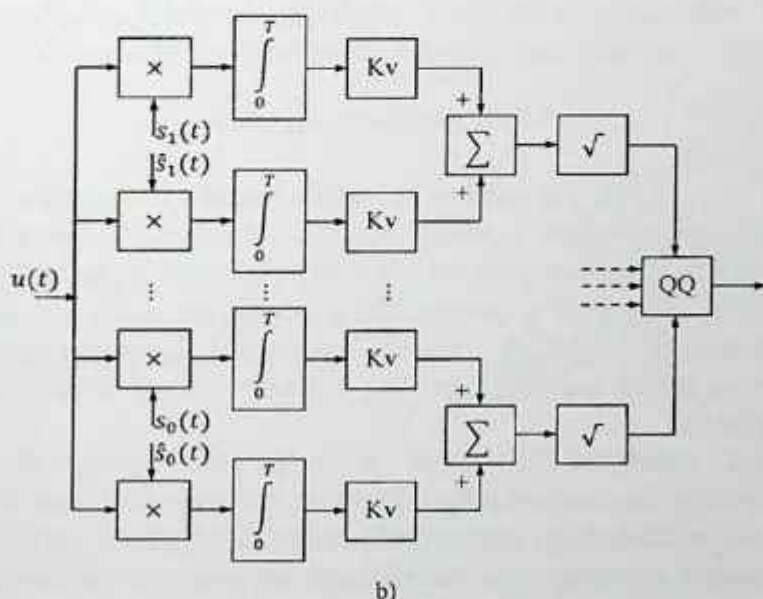
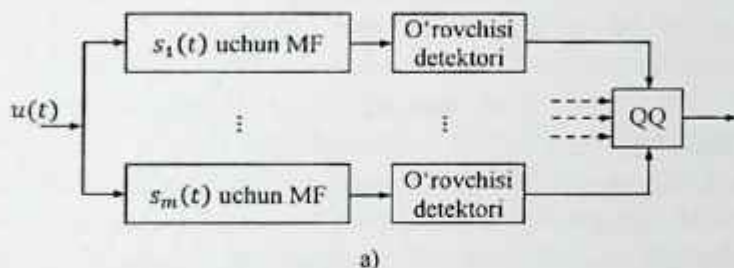
turidagi xalaqit. Foydali signallar $s_i(t)$, $i = 1, 2, \dots, m$ ortogonal, teng ehtimollikli va bir xil energiyaga ega bo'lishsin.

Qaror qabul qilish algoritmi (3.16) ni ko'rilayotgan hol uchun quyidagicha yozish mumkin

$$\begin{aligned} Z_l &> Z_i, \quad i = 1, 2, \dots, m, \quad i \neq l, \text{ yoki} \\ v_l &> v_i, \quad i = 1, 2, \dots, m, \quad i \neq l, \end{aligned} \quad (3.82)$$

bunda, $v_i = Z_i/\sigma$.

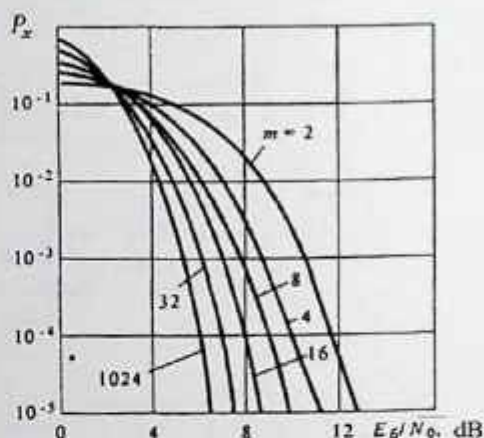
Korrelyatorlar va moslashgan filtrlar asosidagi optimal farqlash qurilmasining strukturaviy sxemasi mos ravishda 3.22a- va 3.22b-rasmda keltirilgan.



3.22-rasm. a) – tasodifiy boshlang'ich fazali m ta signalni filtrlı optimal farqlash qurilmasining strukturaviy sxemasi; b) – tasodifiy boshlang'ich fazali m signalni korrelyatsion optimal farqlash qurilmasining strukturaviy sxemasi.

Optimal farqlash qurilmasining xalaqitbardoshligini baholaymiz. Nokogerent qabul qilishda turli axborot uzatish tizimlarini taqqoslash $P_x = f(E_b/N_0)$ bog'liqlik asosida amalga oshiriladi. 3.23-rasmida keltirilgan ushbu bog'liqlik grafiklaridan ko'rinadiki, m qancha katta bo'lsa tizimning xalaqitbardoshligi shuncha yuqori bo'ladi. Kogerent va nokogerent qabul qilish usullarini taqqoslash shuni ko'rsatadiki, $m = 128$ bo'lganda xalaqitbardoshliklar orasidagi farq judayam kichik [3].

3.23-rasm. Tasodifiy boshlang'ich fazali m ta signalni farqlash xatolik ehtimolligi grafigi



3.5. Signallarni ajratish

3.5.1. Signallarni ajratish haqida tushuncha

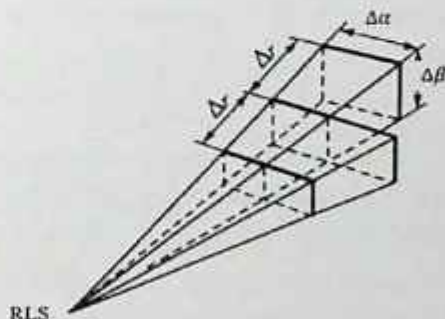
Signallarni ajratish boshqa signallar ishtirokida birorta ixtiyoriy signalni aniqlash va parametrlarini o'lchash masalalarini bajarishdan iboratdir. Signallarni ajratuvchi γ parametrlarga: vaqt bo'yicha holati (kechikish vaqti), chastotasi, uzunligi, kelish yo'nalishi, qutblanishi, hosilaviy chastotalari va kelish burchagi, hamda ularning o'zaro kombinatsiyalari va boshqalar kiradi.

Ajratish qobiliyati deb qayd qiluvchi asboblarning fazodagi vaqt bo'yicha va tabiiy xususiyatlariga ko'ra bir-biriga juda yaqin obyektlar va jarayonlarni ajrata olishiga aytiladi. Ajratish qobiliyati – radiolokatsion va radionavigatsion tizimlar, radioteleskoplar, radiotexnik razvedka tizimlari, foydali qazilmalarni qidirish, tibbiyot diagnostikasi va terapiyasi apparaturalari, axborot uzatish tizimlarining o'ta muhim xarakteristikalaridan biridir. Ajratish qobiliyatini oshirish radiotexnik tizimlar xalaqitbardoshligini ta'minlashning muhim yo'nalishidir.

Ajratish qobiliyatining miqdoriy o'lchami (kattaligi)ni optimal qabul qilgich chiqishidagi signallarni ajratish imkoniyati bilan bog'lash maqsadga muvofiqdir. Tabiiyki, qabul qilgichning chiqish signali ko'lami ajratish γ ning qandaydir bir parametri bo'yicha qancha kichik bo'lsa, radiotexnik tizimning ajratish qobiliyati shuncha yuqori bo'ladi. Ajratish qobiliyatini miqdoriy o'lchami uchun odatda, qabul qilgich chiqish signallarini modulyatsiya o'rovchilari (egiluvchilari) o'zining maksimal qiymatini 0,5 sathi darajasida kesishadigan $\Delta\gamma$ kattalik olinadi. Faqatgina γ parametri qiymati bilan farqlanadigan signallar uchun $\Delta\gamma$ kattaligi chiqish signali o'rovchisi kengligining 0,5 sathi bilan mos keladi.

Misol tariqasida uchta koordinata D uzoqlik, α azimuth va joylashish burchagi β ni o'lchovchi eng sodda impulsli radiolokatorning ajratish qobiliyatini ko'rib chiqamiz. Koordinatalar bo'yicha ajratish qobiliyatini elementar hajmlar bilan ifodalaymiz. Bunday elementar hajmning o'lchamlari: uzoqlik bo'yicha Δr , azimuthal tekislikda $\Delta\alpha$ va joylashish burchagi tekisligida $\Delta\beta$ shunday o'rnatiladiki, nishonning istalgan qo'shni hajmdagi mavjudligi ajratib ko'rsatilgan hajm markazida joylashgan nishon koordinatalarini aniqlash va o'lchashning sifat ko'rsatkichlari deyarli yomonlashmaydi (3.24-rasm). Shunday yo'l bilan aniqlangan elementar hajmni *ajratilayotgan hajm* (nishonni impulsli nurlatishda – *impuls hajm*) deb ataladi.

3.24-rasm. Hajm va koordinatalar bo'yicha ajratish qobiliyatini tushuntirishga oid



Uzoqlik bo'yicha ajratish qobiliyati bitta ajratish elementida burchak koordinatalari bo'yicha joylashgan ikki nuqtaviy nishon o'rtasidagi Δr minimal masofa bilan tavsiflanadi, bunda bir nishon ikkinchi nishonni aniqlashga va uning koordinatalarini o'lchashga xalaqit bermaydi. Δr qanchalik kichik bo'lsa ajratish qobiliyati shuncha yaxshi bo'ladi.

Nishonlardan qaytgan ichki impulsli modulyatsiyasiz to'g'ri burchakli radioimpulslar vaqt bo'yicha siljigan bo'lsin

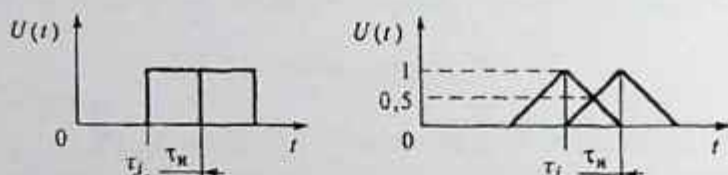
$$\Delta t = t_{k1} - t_{k2} = \frac{2}{c}(r_2 - r_1) = \frac{2\Delta r}{c},$$

bunda, $t_{k1,2}$ – mos ravishda birinchi va ikkinchi nishonlardan qaytgan signallarning kechikish vaqti; $r_2 - r_1 = \Delta r$ – nishonlar orasidagi masofa; c – yorug'lik tezligi.

3.25-rasmda shakli buzilmasdan qabul qilingan to'g'ri burchakli radioimpulslar (3.25a-rasm) va xalaqitsiz optimal (moslashgan) qabul qilishga mos keluvchi chiqish impulslari (3.25b-rasm) o'rovchilari (egiluvchilari) keltirilgan.

Minimal Δt interval kattaligi yondosh impulslarni alohida kuzatish imkoniyati bilan aniqlanadi. Ko'rilayotgan holda *kechikish vaqti bo'yicha ajratish qobiliyatining shartli o'lchami* sifatida $\Delta t = \tau_i$ qiymat qabul qilinadi, bunda bitta nishondan qaytgan signal o'rovchisini maksimumiga boshqa nishondan qaytgan signal o'rovchisining nol qiymati to'g'ri keladi (3.25b-rasm). Shunga mos ravishda *uzoqlik bo'yicha ajratish qobiliyati o'lchami* quyidagi kattalik bo'ladi

$$\Delta r_{\min} = \frac{c\tau_i}{2}. \quad (3.83)$$



3.25-rasm. Ichki impuls modulyatsiyasiz davomiyligi τ_i bo'lgan to'g'ri burchakli radioimpulslarning ikkita bir-biriga yaqin bo'lgan nishonlardan qaytgan o'rovchilari: a) – buzilishsiz qabul; b) – optimal (moslashgan) qabul.

Burchak koordinatalari bo'yicha ajratish qobiliyati odatda antenna yo'naltirilganlik diagrammasining yarim quvvat sathi bo'yicha aniqlanadigan nur kengligidan aniqlanadi. Bu nur qanchalik o'tkir bo'lsa burchak koordinatalari bo'yicha ajratish qobiliyati shuncha yuqori va kuzatuv sektoridagi nishonlar haqidagi ma'lumotlar to'liq bo'ladi.

Ajratish qobiliyatining shunday yo'l bilan kiritilgan miqdoriy o'lchamlari qabul qilinayotgan signal-shovqin nisbati yetarli darajada yuqori bo'lgan signallarga optimal ishlov berishda obyektlarni ajratish imkoniyatini xarakterlaydi. Optimal ishlov berishda real ajratish qobiliyati yuqorida keltirilgan miqdoriy o'lchamlarga nisbatan yomonroq bo'ladi. Umuman

olganda ajratish qobiliyatining pasayishi qabul traktida va indikatora ishlov berilayotgan signallar shaklining buzilishiga va axborotni yechish (qabul qilish) uzunligiga va boshqalarga bog'liq bo'ladi.

Maksimal mumkin bo'lgan (potensial) ajratish qobiliyatiga optimal (ko'pchilik signallarni statistik ajratish ma'nosida) qabul qilishda erishiladi. Potensial ajratish qobiliyati chiqish signalining faqat shakliga emas, balki signal-shovqin sathiga ham bog'liq bo'ladi. Signal-shovqin nisbati ortib borganda potensial ajratish qobiliyati ham o'sib boradi.

Uzoqlik bo'yicha ajratish qobiliyati $\Delta\gamma$ ni (boshqa parametrlar bo'yicha ham) uzoqlikni o'lchash aniqligi bilan adashtirish kerak emas (mos ravishda boshqa parametrlarni ham). Potensial o'lchash aniqligi (boshqa xatolik manbalari bo'lmaganda) optimal ishlov berish tizimida signal sathining shovqin ta'siri ostida vaqt bo'yicha siljishi orqali aniqlanadi. Bu siljish impuls uzunligidan kichik bo'lganligi uchun signal parametrlarini o'lchash xatoligi shunga mos ajratish qobiliyati o'lchami $\Delta\gamma_{min}$ dan kichik bo'ladi. Ta'kidlash lozimki, ko'rib chiqilgan (9.1) formula yordamida aniqlanadigan uzoqlik bo'yicha ajratish qobiliyati o'lchami faqat ichki impulsli modulyatsiyasiz oddiy radioimpulslardan foydalanuvchi radiotexnik tizimlar uchun o'rinlidir [10].

3.5.2. Ajratish nazariyasida moslashmaslik (noaniqlik) funksiyasi

Signallarga optimal ishlov berishda radiotexnik (radiolokatsion, radionavigatsion va boshq.) tizimlar ajratish qobiliyatini **noaniqlik (moslashmaslik) funksiyasi** deb ataladigan funksiya tavsiflaydi.

Noaniqlik funksiyasi $X(\tau, \Delta f)$ ikki o'lchamli funksiya bo'lib, optimal (moslashgan) filtrni $s(t)$ signalga nisbatan vaqt bo'yicha τ va chastota bo'yicha Δf qiymatga siljishini ko'rsatadi. Boshqa so'z bilan aytganda, bu funksiya optimal filtrning turlicha vaqtga kechikayotgan (uzoqlik) va turli chastotali (radial tezlik) signallarni farqlay olish darajasini ifodalaydi. Bu funksiyadan radiolokatsiyada signallarni uzoqlik va radial tezlik bo'yicha ajratish qobiliyatini tahlil qilishda foydalaniladi [12].

Noaniqlik funksiyasi quyidagi korrelyatsion integralni ifodalaydi

$$X(\tau, \Delta f) = \int_{-\infty}^{\infty} S(t)S^*(t - \tau)e^{j2\pi\Delta f t} dt,$$

bunda, $*$ – kompleks moslashtirish operatsiyasi, j – mavhum birlik.

Radiolokatsiya va radionavigatsiya kogerent signallari umuman olganda, vektorli parametrlar bilan tavsiflanadi: uzoqlikka mos keladigan kechikish vaqti; nishonning radial tezligiga mos keluvchi doppler chastotasi;

kechikish vaqti bo'yicha eng yuqori hosilaviy qiymatlar; burchak koordinatalari va ularning hosilalari; qutblanish parametrlari; radioto'lqinlarni muhitda tarqalish xususiyatlari bilan bog'liq parametrlar. γ_s signallarning natijaviy vektor parametri ko'pincha kutilayotgan γ signalidan farq qiladi, bu esa signalni aniqlashda namoyon bo'ladi va signallarni ajratish va ularning parametrlarini o'lchash negizida yotadi.

γ_s va γ parametrlarini bir-biridan farqi (bir-biriga o'zaro mos kelmasligi) optimal qabul qilgich chiqishidagi shovqinsiz signalning moduli bo'yicha baholanadi $|Z(\gamma_s, \gamma)| = \psi(\gamma_s, \gamma)$. Signallarga ishlov berish qurilmasini qabul kanallarida bir xil spektral zichliklarga ega bo'lgan stasionar shovqin fonidagi kutilayotgan $X(t, \gamma)$ signali uchun optimallashtirilgan deb talqin qilinadi. Shu usulda aniqlangan $\psi(\gamma_s, \gamma)$ funksiyasini **moslashmaslik funksiyasi** deb ataladi. Odatda normalangan moslashmaslik funksiyasidan foydalaniladi

$$\rho(\gamma_s, \gamma) = \psi(\gamma_s, \gamma) / \sqrt{\psi(\gamma_s, \gamma_s) \psi(\gamma, \gamma)}. \quad (3.84)$$

(3.84) formula maxrajida $\psi(\gamma_s, \gamma_s)$ va $\psi(\gamma, \gamma)$ funksiyalarini umumiy holda o'zaro farq qiladigan qiymatlari kiradi. Bunda

$$\psi(\gamma_s, \gamma) = \left| \int_{-\infty}^{\infty} X^T(t, \gamma_s) X^*(t, \gamma) dt \right|, \quad (3.85)$$

bunda, T – elementlar joyini o'zgartirish belgisi. ρ ning har bir qiymati optimal ishlov berish qurilmasi chiqishidagi normalangan kuchlanishni γ_s va γ parametrlari mos kelmagan holatda xarakterlaydi. $\gamma_s = \gamma$ mos kelgan holat uchun $\rho = 1$ bo'ladi.

$X(t, \gamma) = X(t, \gamma_v) X(t, \gamma_b)$ sharti bajarilganda bunda, γ_v – signalning vaqt parametrlarini, γ_b esa burchak (fazoviy) va qutblanish parametrlarini o'z ichiga oladi, signalga ishlov berish vaqt bo'yicha (vaqt-chastotaviy) va burchakli qutblanish (fazoviy-qutblanish) turlariga bo'linadi. To'lqin tekis frontida ishlov berishning bo'linishi antenna tizimini to'liq ochilishida kompleks o'rovchisining kechikishi $1/\Delta f_s$ dan ancha kichik bo'lganda o'rinli bo'ladi, bunda Δf_s – signalning chastota polosasi. Moslashmaslik funksiyasining normalangan ko'rinishi vaqt bo'yicha va burchak qutblanishli normalangan funksiyalar ko'paytmasidan iborat

$$\rho(\gamma_s, \gamma) = \rho_v(\gamma_s, \gamma) \rho_b(\gamma_s, \gamma). \quad (3.86)$$

Vaqt (vaqt-chastotaviy) moslashmaslik funksiyasi faqat vaqt (vaqt-chastotaviy) parametrlar bo'yicha mos kelmaslikni hisobga oladi va $X(t, \gamma)$ vaqt skalyar funksiyasi orqali aniqlanadi

$$\rho_v(\gamma_s, \gamma) = \frac{\left| \int_{-\infty}^{\infty} X(t, \gamma_s) X^*(t, \gamma) dt \right|}{\sqrt{\int_{-\infty}^{\infty} |X(t, \gamma_s)|^2 dt \int_{-\infty}^{\infty} |X(t, \gamma)|^2 dt}}. \quad (3.87)$$

Moslashmaslikning burchakli qutblanish funksiyasi vaqtga bog'liq bo'lmagan $X(\gamma) = \|X_i(\gamma)\|$ vektori bilan aniqlanadi, bu vektor kutilayotgan tebranishlarning qabul kanali nomeri i ga bog'liqligini hisobga oladi, $i = 1, 2, \dots, M$. (3.84) va (3.85) formulalarga binoan va vektorlarni skalyar ko'paytirish qoidasiga ko'ra quyidagini olamiz

$$\rho_b(\gamma_s, \gamma) = \frac{\left| \sum_{i=1}^M X_i(\gamma_s) X_i^*(\gamma) \right|}{\sqrt{\sum_{i=1}^M |X_i(\gamma_s)|^2 \sum_{i=1}^M |X_i(\gamma)|^2}}. \quad (3.88)$$

(3.87) va (3.88) formulalardagi moslashmaslik funksiyalarining boshqa ko'rinishi $\hat{\rho}(\gamma_s, \gamma)$ – kompleks moslashmaslik funksiyalaridan iborat.

3.5.3. Moslashmaslikning vaqt-chastota funksiyalari

Signal kompleks o'rovchisi $U(t)$ ni nishon harakati tufayli deformatsiyasini e'tiborga olmasdan kutilayotgan signalning kompleks amplitudasi ifodasini quyidagi ko'rinishda yozish mumkin

$$X(t, \gamma) = U(t - t_k) e^{-j2\pi F_d t}. \quad (3.89)$$

Bu formulada kutilayotgan signalning vektor parametri γ ikkita skalyar kattalik t_k – kechikish vaqti va F_d – dopler chastotasi bilan almashtirilgan. Shunga o'xshab (3.87) formulada qabul qilinayotgan signalning vektor parametri γ ni ikkita $t_{k,s} = t_k - \tau$ va $F_{d,c} = F_d - F$ skalyar kattaliklari ko'rinishida yozish mumkin, bunda τ – kechikish vaqti va F – dopler chastotasi bo'yicha moslashmasliklar. (3.87) formulada $s = t - t_{k,s}$ – yangi integrallash o'zgaruvchisiga o'tgan holda integral belgisidan tashqariga integrallash o'zgaruvchisi s ga bog'liq bo'lmagan $e^{j\varphi}$, $\varphi = -2\pi t_{k,s}$ – ko'paytiruvchini chiqarish mumkin. Modul ko'paytmasini modullarning o'zini ko'paytirish bilan almashtirishda $|e^{j\varphi}| = \sqrt{\cos^2 \varphi + \sin^2 \varphi} = 1$ ekanligini e'tiborga olamiz. Natijada moslashmaslik normalangan vaqt-chastotaviy funksiyasini topamiz, kutilayotgan va qabul qilinayotgan signallar parametrlari farqini τ, F funksiyasi sifatida yozamiz

$$\rho(\tau, F) = \left| \int_{-\infty}^{\infty} U(s) U^*(s - \tau) e^{j2\pi F s} ds \right| / \int_{-\infty}^{\infty} |U(s)|^2 ds. \quad (3.90)$$

Ba'zida (3.90) ifodaga o'xshash maxrajida modul belgisiz $\hat{\rho}(\tau, F)$ – kompleks ifodadan foydalaniladi. (3.90) formulada kompleks

amplitudalardan ularning spektral zichligiga o'tish mumkin. (3.90) ifodaga quyidagi ifodalarni qo'yib,

$$U(s) = \int_{-\infty}^{\infty} G(v) e^{j2\pi v s} dv,$$

$$U^*(s - \tau) = \int_{-\infty}^{\infty} G^*(v) e^{-j2\pi v (s - \tau)} dv$$

va $|e^{j2\pi F \tau}| = 1$ ekanligini hisobga olib, normalangan ifodani olamiz

$$\rho(\tau, F) = \left| \int_{-\infty}^{\infty} G(v) G^*(v + F) e^{j2\pi v \tau} dv \right| / \int_{-\infty}^{\infty} |G(v)|^2 dv. \quad (3.91)$$

Moslashmaslikning vaqt-chastotaviy funksiyasi $\rho(\tau, F)$ ta'rifi bo'yicha kogerent signalga optimal ishlov berish qurilmasi chiqishidagi normalangan kuchlanish moduli bo'lgani uchun, kirishiga kutilayotgan signalga nisbatan τ, F ga farq qiladigan parametrlarga mos tebranishlar keladi. Normalashtirish $\rho(0, 0) = 1$ shartini bajarishni ta'minlashdan iborat.

Moslashmaslik (noaniqlik) funksiyasi $\rho(\tau, F)$, shuningdek $\rho^2(\tau, F)$ funksiyasi $\rho = 0$ tekisligi ustidagi ba'zi sirtlarni ifodalaydi va moslashmaslik jismlari deb ataladigan fazoviy figuralar hosil qiladi.

Moslashmaslik $\rho(\tau, F)$ vaqt-chastotaviy funksiyalarining asosiy xususiyatlarini keltiramiz.

1. Markaziy simmetriya xossasi

$$\rho(-\tau, -F) = \rho(\tau, F). \quad (3.92)$$

(3.92) tenglik o'rinli ekanligiga iqrор bo'lish uchun (3.90) formula suratidagi τ, F parametrlarini $-\tau, -F$ parametrlarga almashtirish va integrallash o'zgaruvchisi $s = t - \tau$ ni almashtirish yetarlidir. Integrallash o'zgaruvchisiga bog'liq bo'lmagan $e^{j2\pi F \tau}$ ko'paytiruvchini integral belgisidan chiqaramiz, natijada haqiqatan ham $\rho(-\tau, -F)$ funksiyadan $\rho(\tau, F)$ ga o'tamiz.

2. $\rho^2(\tau, F)$ sirti va $\rho = 0$ tekisligi bilan chegaralangan jism birlik hajmi xossasi

$$V_{\rho^2} = \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} \rho^2(\tau, F) d\tau dF = 1. \quad (3.93)$$

O'lchash nazariyasida noaniqlik funksiyasidan foydalanishni inobatga olib, bu xossani ba'zan radiolokatsiyada noaniqlik funksiyasi (prinsipi) deb ham ataladi. Aniqlash (payqash) parametri q ning berilgan qiymatida

$\tau = 0, F = 0$ nuqta atrofida $\rho(\tau, F)$ funksiyasining kamayish darajasi τ_k, F_d parametrlarini o'lchash aniqligini tavsiflaydi; kamayish qanchalik keskin bo'lsa aniqlik shuncha yuqori bo'ladi. $\rho(\tau, F)$ funksiyani yon taraflarga sakrashi (og'ishi) o'lchash natijasining og'ishiga olib kelishi mumkin. O'lchash xatoliklarining mavjudligi va natijalarining bir xil chiqmasligini noaniqlikni umumlashtiradigan tushunchasi bilan tavsiflanadi, (3.93) ifodaga binoan noaniqlik jismi hajmi V_{ρ^2} ni har qanday $V_{\rho^2} = 1$ signal uchun kamaytirish mumkin emas.

3. $\rho(\tau, F)$ jismni $\tau = 0$ tekislik bilan *kesishmasi* signal o'rovchisi moduli kvadratining $|U(t)|^2$ normalangan amplituda-chastota spektriga ustma-ust mos keladi. Haqiqatan, (9.8) formuladan $\tau = 0$ bo'lganda quyidagini olamiz

$$\rho(0, F) = \frac{|\int_{-\infty}^{\infty} |U(s)|^2 e^{j2\pi Fs} ds|}{\int_{-\infty}^{\infty} |U(s)|^2 ds}. \quad (3.94)$$

(3.94) ifoda optimal filtr chiqishidagi kuchlanishni normalangan o'rovchisi qiymatlarini $\tau = 0$ va F ning turli qiymatlari uchun xarakterlab beradi.

4. $\rho(\tau, F)$ jismni $F = 0$ tekislik bilan *kesishmasi* signalning normalangan korrelyatsion funksiyasi o'rovchisi moduli $U(t)$ bilan mos tushadi. Haqiqatan, (3.90) formuladan $F = 0$ bo'lganda quyidagini olamiz

$$\rho(\tau, 0) = \frac{|\int_{-\infty}^{\infty} U(s)U^*(s - \tau) ds|}{\int_{-\infty}^{\infty} |U(s)|^2 ds}. \quad (3.95)$$

(3.95) ifoda optimal filtr chiqishidagi kuchlanishni normalangan o'rovchisi shaklini ma'lum chastotali ($F = 0$) signal ta'sirida τ ning turli qiymatlarida tavsiflab beradi. Agar kirish signali F_0 chastota bo'yicha moslashmagan bo'lsa filtr chiqishidagi kuchlanishni normalangan o'rovchisi $\rho(\tau, F)$ jismni $F = F_0$ tekisligi bilan kesishish yuzasidan aniqlanadi.

Ko'rilayotgan $\rho(\tau, F)$ jism kesishmasiga (3.91) formuladan foydalanib boshqacha talqin berish mumkin: $F = 0$ tekisligi bilan $\rho(\tau, F)$ jismni kesishmasi signal amplituda-chastota spektri moduli kvadratini normalangan o'rovchisi Fyurje o'zgartirish bilan mos tushadi

$$\rho(\tau, 0) = \frac{|\int_{-\infty}^{\infty} |G(v)|^2 e^{j2\pi v\tau} dv|}{\int_{-\infty}^{\infty} |G(v)|^2 dv}. \quad (3.95')$$

Nazorat savollari

1. Signallarning chiziqli va nochiziqli buzilishlari deganda nimani tushunasiz?
2. Optimal qabul qilish nazariyasining asosiy vazifalari nimalardan iborat? O'xshashlik funksiyasi tushunchasini ta'riflab bering.
3. Optimal qaror qabullashning qanday mezonlarini bilasiz?
4. Bayes optimal qaror qabullash mezoni to'g'risida tushuncha bering.
5. Aniqlash masalasini yechishdagi to'g'ri aniqlamaslik, to'g'ri aniqlash, yolg'on aniqlash va signalni o'tkazib yuborish holatlarini tushuntirib bering. Ushbu hodisalarning ehtimolliklari qanday aniqlanadi?
6. Bayes mezoni bo'yicha ishlovchi signalni optimal aniqlash qurilmasining ishlash algoritmini keltiring.
7. O'xshashlik nisbati yoki o'xshashlik koeffitsiyenti deganda nimani tushunasiz?
8. Signalni aniqlash qurilmasining umumiy strukturaviy sxemasini chizing va tushuntiring.
9. Determinant signalni korrelyatsion va filtrli aniqlash qurilmalarining strukturaviy sxemasini chizib bering.
10. Tasodifiy boshlang'ich fazali signalni korrelyatsion va filtr yordamida aniqlash qurilmalarining strukturaviy sxemasini chizing va ishlash prinsipini tushuntiring.
11. Kogerent radioimpulslar to'plamini optimal aniqlash qurilmasining strukturaviy sxemasini chizing va ishlash prinsipini tushuntiring.
12. Tasodifiy boshlang'ich fazali kogerent radioimpulslar to'plamini optimal aniqlash qurilmasining strukturaviy sxemasini chizib bering.
13. Signallarni farqlash deganda nimani tushunasiz?
14. Ikkita determinant signalni korrelyatsion farqlovchi qurilmaning strukturaviy sxemasini chizing va ishlash prinsipini tushuntiring.
15. Moslashgan filtrlar yordamida ikkita determinant signallarni farqlovchi qurilmaning strukturaviy sxemasini chizing va ishlash prinsipini tushuntiring.
16. AM, ChM va FM determinant signallarni farqlash xatolik ehtimolliklari o'zaro qanday munosabatga ega?
17. m ta determinant signallarni optimal korrelyatsion va filtrli farqlash qurilmalarining strukturaviy sxemalarini chizing va ishlash prinsipini tushuntiring.
18. Tasodifiy boshlang'ich fazali ikkita signalni filtrli va korrelyatsion optimal farqlash qurilmalarining strukturaviy sxemasini chizing va ishlash prinsipini tushuntiring.

19. Tasodifiy boshlang'ich fazali m ta signalni filtrli va korrelyatsion optimal farqlash qurilmalarining strukturaviy sxemasini chizing va ishlash prinsipini tushuntiring.

20. Optimal farqlash qurilmasining xalaqitbardoshligi nimalarga bog'liq?

4. AXBOROT UZATISH RADIOTEXNIK TIZIMLARI

Ushbu bobda axborot uzatish tizimlarining qurilish prinsipi va nazariyasi asoslari, aloqa kanallari va ularning modellari, asosiy xarakteristikalar, diskret, impulsli va raqamli modulyasiyalangan signallar va ularni demodulyasiyalash, xalaqitbardosh kodlash masalalari ko'rib chiqilgan. Shuningdek ko'p kanalli aloqa tizimlari hamda axborot uzatish tizimlarida sinxronizatsiyalash yoritilgan.

4.1. Axborot uzatish raqamli radiotexnik tizimlarining struktura sxemasi va asosiy xarakteristikalar

Zamonaviy axborot uzatish tizimlarida radiokanal orqali axborot uzatishda asosan raqamli usullardan foydalaniladi. Axborot uzatish raqamli tizimlarida xabar (nutq, tekst, harakatdagi va harakatsiz tasvir, ma'lumotlar va b.) simvollar (kodlar) ketma-ketligi ko'rinishida ifodalanadigan raqamlar ketma-ketligiga aylantiriladi va radiokanal bo'yicha uzatiladi. Axborot uzatish raqamli tizimlari (AURT)ning afzalligi uning yuqori axborot uzatish sifati hisoblanadi. Signal shaklining universalligi ularni nisbatan yirik tizimlar va komplekslarga birlashtirish imkonini beradi. Bunga raqamli aloqa tarmoqlari misol bo'ladi. Sotali harakatdagi aloqa tizimlarining D-AMPS, GSM va CDMA standartlari, shuningdek barcha zamonaviy yo'ldoshli aloqa tizimlari raqamli axborot tarmoqlari hisoblanadi. Raqamli axborot tarmoqlari tuzilishining o'ziga xos jihati shundaki, ularda paketli uzatishning qo'llanilishi hisoblanadi, bunda bitta manbaning raqamli potoki (oqimi) ma'lum bir o'zaro ishlash protokoliga muvofiq mustaqil ravishda uzatiladigan paketlarga bo'linadi. Bunday rejim belgilangan sifat va kanallar soni uchun tarmoqning o'tkazuvchanlik qobiliyatini oshirishga imkon yaratadi [12].

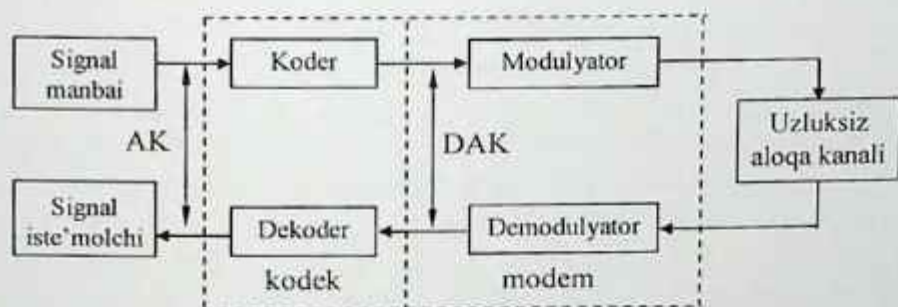
Raqamli axborot tarmog'ining asosiy elementi o'zining tarkibiga signal manbai (SM) va signal iste'molchisi (SI) orasidagi texnik vositalar majmuini oladigan va fizik sath deb ataluvchi aloqa bilan ta'minlaydigan AURTLari hisoblanadi. Raqamli axborot tarmog'i sifatida ishlashi uchun AURTLari o'zaro ishlash protokoliga muvofiq kanal va transport sathini qo'llab-quvvatlaydigan boshqaruv qurilmasi (kontroller) bilan to'ldiriladi.

AURTLarining kirish-chiqish xarakteristikalar axborot uzatish sifati va tezligi hisoblanadi. Uzatish sifati uzatilgan xabarning bitta simvolini qabul qilishda xatolik ehtimolligi P_x bilan, o'zgaruvchan parametrlil kanallar uchun yana qo'shimcha xalaqitbardoshlik bo'yicha ishonchlilik bilan xarak-

terlanadi, bunda xalaqitbardoshlik bo'yicha ishonchlilik deganda $P_x \leq P_r$ shartni qanoatlantiruvchi P ehtimollik tushuniladi, P_r – ruxsat etilgan xatolik ehtimolligi.

Texnik va axborot uzatish tezliklari bir-biridan farqlanadi. Texnik tezlik – bu bir soniyada uzatiladigan jo'natmalar (simvollar) soni: $R = 1/T_s$ (bod), bunda T_s – jo'natma davomiyligi; axborot uzatish tezligi – bu bir soniyadagi aloqa kanali bo'yicha uzatilgan ikkilik axborot birliklarining soni I (bit/s). Keltirilgan tezliklarning farqlanishi qo'shimcha xizmat axborotlarini uzatish zaruriyati, ko'p pozitsiyali kodlardan foydalanish imkoniyati va kanalda axborot yo'qotilishi bilan bog'liq. Agar kanalda yo'qotishlar va xizmat axborotlari bo'lmasa, u holda $I = R \log_2 m$ bo'ladi, m – kod asosi. Yo'qotishlar bo'lmagan ikkilik kanallar uchun ushbu tezliklar bir-biriga teng bo'ladi, shuning uchun asosan "axborot uzatish tezligi" atamasi ishlatiladi.

Bir kanalli AURTLarining strukturaviy sxemasi 4.1-rasmda keltirilgan. U uzluksiz aloqa kanali (UAK), modulyator-demodulyator (modem) va koder-dekoder (kodek) dan iborat.



4.1-rasm. Axborot uzatish raqamli tizimining strukturaviy sxemasi

Agar manbaning birlamchi signali uzluksiz bo'lsa, u holda uning chiqishida analog-raqam o'zgartirgich (ARO'), signal iste'molchisining kirishida esa raqam-analog o'zgartirgich (RAO') ishlatiladi.

Kodek simvollarining kodli ketma-ketligini boshqa bir kodli ketma-ketlikka aylantiradi, bunda ularning takt chastotasi, asosi, kodlarning tarkibi va razryadi o'zgarishi mumkin. Kodek amalga oshiradigan asosiy masalalar quyidagilardir:

- o'zgarmas asosli kodlar uchun signalning texnik tezligini kamaytirish maqsadida signal manбайдan qabul qilinayotgan ortiqchalikni bartaraf etish (uning ishlab chiqarish chegarasida – iqtisodiy kodlash);

- aloqa kanali bo'yicha xabar uzatish ishonchliligini oshirish uchun ortiqchalikni kiritish (xalaqitbardosh kodlash);
- qabul qilingan raqamli signaldan axborotni ruxsat etilmagan ajratib olishni murakkablashtirish uchun signal tarkibini o'zgartirish (maxfiy yoki kriptobardoshli kodlash).

Modem simvollar ketma-ketligini parametri radiokanal parametriga mos bo'lgan radiosignallar ketma-ketligiga aylantiradi. Sodda holda uzatish tomonida alfavitning m asosli har bir simvoliga mos keladigan ma'lum shakldagi radiosignal biriktiriladi, qabul qilish tomonida teskari jarayon amalga oshiriladi. Umuman olganda, modulyasiya va demodulyasiya jarayoni bundan ancha murakkab bo'lishi ham mumkin. Masalan, uzatish tomonida simvollar guruhiga bitta radiosignal biriktiriladi, va o'z-o'zidan kod asosi o'zgaradi. Qabullash tomonida demodulyator "yumshoq echim" deb ataluvchi rejimda ishlashi mumkin, bunda qabul qilingan radiosignalga xuddi o'sha alfavitning aniq simvoli biriktirilmaydi, faqat uning aposterior ehtimolligi hisoblanadi. SHuni qayd qilish kerakki, keyingi vaqtlarda xalaqitbardosh kodek va modem funksiyalarini birlashtirishga harakat qilinmoqda, "signal-kod konstruksiyasi" atamasi paydo bo'ldi.

Uzluksiz aloqa kanali uzatkichning chiqish kaskadi, uzatuvchi antenna, signal tarqalish muhiti, qabullash antenasi va qabul qiluvchi qurilmaning kirish kaskadidan (kuchaytirishni va zarurat bo'lganda signalni geterodinlash (signal spektrini chastotalar o'qi bo'yicha odatda nisbatan past sohaga ko'chirish)ni amalga oshiradi) tashkil topgan bo'ladi.

Radiosignallarni UAK bo'yicha uzatish uchun energiyaning ma'lum sarf-xarajati va chastotalar polosasi talab etiladi. Ularning qiymati qancha kichik bo'lsa, boshqa sharoitlar bir xil bo'lganda tizim shuncha samarali hisoblanadi.

Signal buzilmaydigan, qabul qiluvchi qurilmaning kirishida unga gauss oq shovqini ko'rinishidagi xalaqit ta'sir etuvchi sodda kanal modellari uchun AURTining samaradorligini baholaymiz. Samaradorlik modem va kodekning takomillashganlik darajasi bilan aniqlanadi va ikkita ko'rsatkich bilan xarakterlanadi: chastotalar polosasidan foydalanish koeffitsiyenti $\gamma = F/R$, bunda R – manbaning ishlab chiqaruvchanligi (unumdorligi), F – UAKning chastotalar polosasi; va signal energiyasidan foydalanish koeffitsiyenti $\beta = E/N_0$, bunda E – signalning bir bit axborotni uzatish uchun sarflanadigan energiyasi, N_0 – shovqinning quvvat spektr zichligi. γ va β koeffitsiyentlari qancha kichik bo'lsa tizim shuncha samarali hisoblanadi.

UAK chiqishidagi signal F chastotalar polosasida foydali signal va shovqinning additiv aralashmasidan iborat bo'ladi va entropiya yoki soniyadagi axborotning o'rtacha soni bilan xarakterlanadi. Kanal o'tkazuvchanlik qobiliyati C ning maksimal qiymatiga erishish uchun, tabiiyki foydali signal entropiyasining maksimal bo'lishi talab etiladi, va bunga esa agar foydali signal gauss taqsimot qonuniga ega bo'lsa va $(0 \dots F)$ polosada doimiy quvvat spektr zichligiga ega bo'lsagina erishiladi.

Kotelnikov teoremasiga asosan, bunday signal soniyasiga $2F$ oniy qiymatlari orqali to'liq aniqlanadi, signal va shovqin aralashmasining differensial entropiyasi $\log \sqrt{2\pi e(P_s + P_{sh})}$ ga teng bo'ladi, bunda P_s va P_{sh} – mos holda signal va shovqinning quvvati.

Shovqin ta'sirida axborotning ma'lum bir qismi yo'qotilishini e'tiborga olsak, UAK chiqishidagi bir soniyadagi axborotning o'rtacha miqdori (kanalning o'tkazuvchanlik qobiliyati) quyidagiga teng

$$C = 2F \left(\log_2 \sqrt{2\pi e(P_s + P_{sh})} - \log_2 \sqrt{2\pi e P_{sh}} \right) = F \log_2 (1 + P_s/P_{sh}). \quad (4.1)$$

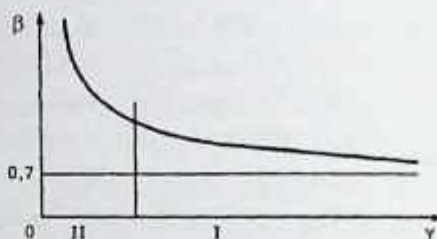
O'tkazuvchanlik qobiliyati modem va kodekni optimallashtirib erishish mumkin bo'lgan chegaraviy imkoniyatni xarakterlaydi. Shennon teoremasidan γ va β ko'rsatkichlar orasidagi bog'liqlikni o'rnatish qiyin emas. Agar kanal bo'yicha chegaraviy uzatish tezligiga erishilsa $R = C$, ya'ni manbaning unumdorligi bilan kanal o'tkazuvchanligi teng bo'ladi. (4.1) formuladan foydalanib, uncha murakkab bo'lmagan o'zgartirishlarni amalga oshirib, quyidagiga ega bo'lamiz

$$\beta = \gamma \left(2^{\frac{1}{\gamma}} - 1 \right).$$

4.2-rasmda keltirilgan bog'liqlik ideal gauss kanali uchun Shennon chegarasi deb ataladi va koordinatalari real tizim parametrlariga mos keladigan, egri chiqiziqdan yuqorida joylashadigan nuqtalarning geometrik o'rmini xarakterlaydi. Nuqta egri chiziqqa qancha yaqin bo'lsa, tizimning modem va kodeki shuncha takomillashgan bo'ladi. Parametrlardan birining yaxshilanishi ikkinchisining muqarrar yomonlashishiga olib keladi. Shuning uchun AURLarini shartli ikkita sinfga bo'lish mumkin: chastotalar polosasidan samarali foydalanadigan tizimlar (II soha) va kanal energetikasidan samarali foydalanadigan tizimlar (I soha). γ va β koeffitsiyentlarni oshirish bilan bog'liq masalani echishning quyidagi yo'lini ko'rsatish mumkin. Kanal bo'yicha uzatilayotgan signalning minimal spektr kengligi odatda jo'natmalar davomiyligi bilan aniqlanar ekan, demak manba simvollar guruhini bitta simvolga biriktirib (ko'p pozitsion kodlashdan foydalanib) γ koeffitsiyentni kamaytirish mumkin. β koeffitsiyentni

kamaytirish uchun axborot jo'natmalari guruhiga xalaqitbardoshlikni oshirish maqsadida qo'shimcha simvollar kiritiladi, natijada o'rnatilgan (o'zgarmas) tezlikda ularning davomiyligini kamaytirish talab etiladi, bu esa signal spektrining kengayishiga va natijada γ koeffitsiyentning oshishiga olib keladi.

4.2-rasm. Shennon chegarasi



Yuqoridagilardan shunday muhim xulosaga kelish mumkin: bitta ko'rsatkichni yaxshilash ikkinchi bir ko'rsatkichning yomonlashishiga olib keladi.

4.2. Aloqa kanallari

Aloqa tizimining turli nuqtalari orasidagi xabar (signal) uzatishda foydalaniladigan texnik vositalar majmuasi **aloqa kanali** deb tushuniladi. Masalan, axborot manbai chiqishidan qabul qilish qurilmasi detektori kirishigacha, yoki radiouzatish qurilmasi chiqishidan radioqabullash qurilmasi dekoderi chiqishigacha va h.k.

Texnik vositalar deganda radiouzatuvchi va qabullovchi qurilmalar, aloqa liniyasi – elektromagnit to'lqinlari tarqaladigan fizik muhit tushuniladi. Aloqa kanali xabar (signal) uzatishda foydalaniladigan ketma-ket ulangan, turli amallarni bajaradigan bloklardan tashkil topgan bo'ladi.

Axborot (xabar) uzatish tizimlarini ularning turli ko'rsatkichlari asosida bir-biridan farqlash mumkin. **Axborot uzatish tizimi** bajaradigan *vazifasiga ko'ra*: teleko'rsatuv, radioeshittirish, telemetriya, radiolokatsiya, radioboshqaruv va boshqalarga bo'linadi. Axborot uzatishda foydalaniladigan aloqa liniyasi – *elektromagnit to'lqinlar tarqalish muhitiga ko'ra*: radiokanallarga (misol uchun: radioaloqa, kosmik aloqa) va simli aloqa kanallariga (kabel orqali, sim orqali, optik tolali aloqa liniyasi, o'ta yuqori chastota to'lqin o'tkazgichlari va h.k.) bo'linadi. Axborot uzatishda ba'zan mexanik va akustik kanallardan ham foydalaniladi.

Aloqa kanalining chiqishidagi signalning uning kirishidagi signal bilan bog'liqligiga ko'ra aloqa kanallari *chiziqli va nochiziqli* kanallarga bo'linadi.

Aloqa kanali chiqishidagi signal uning kirishidagi signal bilan ma'lum bir vaqt davomiyligida skalyar bog'liq bo'lgan o'zgarmas parametrlar vaqt kanali va chiqishidagi signal kirishidagi signal bilan bir necha skalyar parametrlar orqali bog'liq bo'lgan fazo-vaqt kanallariga bo'linadi.

Elektr signallaridan foydalanib axborot uzatish radiokanallarini ular foydalanadigan chastotalar diapazoniga qarab turlarga ajratish qabul qilingan bo'lib, bu aloqa kanallarining xabar o'tkazish imkoniyatini baholash imkonini beradi. Signallarni radiokanallar orqali uzatishda $3 \cdot 10^3 \dots 3 \cdot 10^{12}$ Hz bo'lgan chastotalar diapazonidan foydalaniladi. Ushbu diapazon o'nlik klassifikatsiya asosida quyidagicha bo'linadi (4.1-jadval).

4.1-jadvalning birinchi ustunida qavs ichida standart bo'yicha qabul qilinmagan, ammo keng foydalaniladigan nomlanishlar va ularning qisqartmalari keltirilgan. Hozirda radiokanallar foydalanadigan chastotalar diapazoni infraqizil to'lqinlar diapazoniga ancha yaqinlashgan va optik kvant generatorlari – lazerlardan foydalanish natijasida optik diapazon ham o'zlashtirilgan. Optik tolali aloqa liniyalarida to'lqin uzunligi 1,55...0,85 mkm bo'lgan, chastotasi 10^{14} Hz diapazonida bo'lgan chastotalardan foydalaniladi.

4.1-jadval

Chastotalar diapazonining bo'linishi

T/R	To'lqinlarning nomi	To'lqinlar diapazoni	Chastotalarning nomlanishi	Chastotalar diapazoni
4.	Dekakilometrli (o'ta uzun to'lqin, O'UT)	100...10 km	Juda past chastota (JPCh)	3...30 kHz
5.	Kilometrli (uzun to'lqin, UT)	10...1 km	Past chastota (PCh)	30...300 kHz
6.	Gektometrli (o'rta to'lqin, O'T)	1000...100 m	O'rta chastota (O'Ch)	300...3000 kHz
7.	Dekametrli (qisqa to'lqin, QT)	100...10 m	Yuqori chastota (YuCh)	3...30 MHz
8.	Metrlil (ultra qisqa to'lqin, UQT)	10...1 m	Juda yuqori chastota (JYuCh)	30...300 MHz
9.	Detsimetrli	100...10 sm	Ultra yuqori chastota (UYuCh)	300...3000 MHz
10.	Santimetrli	10...1 sm	O'ta yuqori chastota (O'YuCh)	3...30 GHz
11.	Millimetrli	10...1 mm	Haddan tashqari yuqori chastota (HTYuCh)	30...300 GHz
12.	Detsimillimetrli	1...0,1 mm	Giper yuqori chastota (GYuCh)	300...3000 GHz

Axborot uzatish tizimlarining hozirgi davrdagi rivojlanishi iloji boricha yuqori chastotalar diapazonini o'zlashtirish orqali amalga oshirilmoqda. Buning bir necha sabablari bo'lib, bular: signal uzatish tezligini iloji boricha kattalashtirish (tizimning tezkorligini oshirish), geometrik o'lchamlari kichik bo'lgan antennalar yordamida elektromagnit to'lqinlarni kichik burchak oraliq'ida nurlatish, nisbatan yuqori chastotalar diapazonida atmosfera va ko'p turli sanoat xalaqtlari sathining pastligi, keng polosali yuqori xalaqitbardoshlikni ta'minlovchi modulyatsiya turlaridan foydalanish imkoniyatining mavjudligi va boshqalar.

Axborot uzatish tizimlarida aloqa kanallari kirishi va chiqishidagi signallar ko'rinishiga qarab ularni turlarga ajratish katta ahamiyatga ega bo'lib, quyidagilardan iborat:

- kirishi va chiqishidagi signal sathi uzluksiz bo'lgan **uzluksiz aloqa kanali**. Misol uchun, modulyator chiqishi va demodulyator kirishi orasidan iborat bo'lgan har qanday aloqa kanali;

- kirishi va chiqishida signal sathi diskret bo'lgan **diskret aloqa kanali**. Bunday kanalga kodlash qurilmasi kirishidan dekoder chiqishigacha bo'lgan bloklardan iborat aloqa kanali misol bo'ladi;

- signal sathi kirish tomonida uzluksiz chiqish tomonida diskret bo'lgan uzluksiz-diskret va kirishida diskret chiqishida uzluksiz bo'lgan **diskret-uzluksiz aloqa kanali**. Bunday kanallarga modulyator kirishi va demodulyator kirishi oraliq'idan iborat aloqa kanali yoki modulyator chiqishi va dekoder chiqishi orasidan iborat bo'lgan aloqa kanali misol bo'ladi.

Har qanday diskret va yarimdiskret aloqa kanali tarkibida uzluksiz kanal bo'ladi. Misol tariqasida modulyator chiqishi va dekoder chiqishi oraliq'idan iborat bo'lgan aloqa kanalini keltirish mumkin. Shuni alohida ta'kidlash kerakki, radiokanalning diskret yoki uzluksizligi u orqali uzatiladigan xabarning diskret yoki uzluksizlik xususiyatiga bog'liq emas, uzluksiz xabarni diskret kanal orqali va aksincha diskret xabarni uzluksiz kanal orqali uzatish mumkin [1].

4.3. Aloqa kanallarining modellari

4.3.1. Uzlüksiz kanallarning modellari

Uzlüksiz radiokanallarni tahlil etish usuli va modeli real radiokanallarning fizik va statistik xarakteristikalarini o'rganish asosida tanlanadi. Uzlüksiz radiokanallar har qanday boshqa radiokanallarning asosiy qismini tashkil etgani uchun uni tahlil etish natijalaridan aloqa tizimlari orqali axborot uzatish tizimlarini tahlil etish va qo'yilgan talablarga javob beradigan aloqa tizimlarini loyihalashda foydalaniladi. Uzlüksiz radiokanallarni tahlil qilishdan asosiy maqsad, radiokanallar orqali signallar o'tishida yuzaga keladigan chiziqli va nochiziqli buzilishlar sabablarini va radiokanallardan o'tayotgan signallarga turli xalaqitlar ta'sirini o'rganishdan iborat.

Radiokanallar orqali o'tuvchi signallarning buzilishini tahlil qilish uchun kirish signali xarakteristikalari, kanal orqali o'tuvchi signalga ishlov berish algoritmlariga oid ma'lumotlarga ega bo'lish kerak va ular asosida chiqish signallarining xarakteristikalarini aniqlash kerak bo'ladi. Radiokanallarda signallarga ishlov berishda bajariladigan amallar radiokanallarning matematik modellari asosida aniqlanadi. Radiokanallarni yuqori aniqlikda tahlil etishda ularni nochiziqli, tasodifiy parametrlı inersion (stoxastik) tizim deb tahlil etish kerak bo'ladi. Bunday tizimlar chiqishidagi signal uning kirishiga signal ta'sir etishidan avval paydo bo'lmaydigan dinamik tizimlar deb ataladi. Bunday tizimlarni tahlil etish murakkab masala bo'lib, uni yechish kirish signali tasodifiy modulyatsiyalangan signal bo'lganda yanada murakkablashadi.

Signallar real radiokanallar orqali o'tganda ularning shakli o'zgaradi, buzilishlar ro'y beradi. Axborot nuqtai nazaridan bunday buzilishlarni qayta tiklanishi mumkin bo'lgan va qayta tiklanishi mumkin bo'lmagan turlarga bo'linadi. Qayta tiklanishi mumkin bo'lgan buzilishlar uzatilayotgan axborotning qisman yo'qotilishiga olib kelmaydi. Qayta tiklanishi mumkin bo'lmagan buzilishlar natijasida axborot qisman yoki butunlay yo'qotilishi mumkin. Qayta tiklanishi mumkin bo'lgan buzilishlar radiokanalning amplituda, faza va chastotasini signal shakliga mos ravishda tanlash va amplituda xarakteristikasini signal dinamik diapazoniga mos ravishda bo'lishini ta'minlash natijasida bartaraf etilishi mumkin.

Qayta tiklanmaydigan buzilishlar radiokanal kirishiga bir vaqtning o'zida foydali signal va turli tasodifiy xalaqitlarning ta'siri natijasida hosil bo'ladi. Xalaqitlar tasodifiy xarakterga ega bo'lgani uchun uning ta'sirini butunlay yo'q qilib bo'lmaydi. Xalaqitning turiga qarab, tegishli usulda ishlov berish orqali xalaqitning ta'sirini kamaytirish mumkin.

Yuqorida ta'kidlanganidek buzilishlar chiziqli va nochiziqli bo'lib, chiziqli buzilishlarni tahlil etishda radiokanalni reaktiv elementlari bor o'zgarmas parametrli inersion tizim deb qaraladi. Bunda kirish signalining spektral tashkil etuvchilari orasidagi amplituda va chastota mutanosibligi o'zgaradi, natijada signal shakli o'zgaradi, buzilishlar yuz beradi. Chiziqli buzilishlar yuz bermasligi uchun kirish signalining hamma spektr tashkil etuvchilari uchun radiokanalning uzatish koeffisienti moduli va kechikish vaqti bir xil bo'lishi kerak. Nochiziqli buzilishlar radiokanalning nochiziqli inersiyasiz aktiv va passiv elementlardan (tranzistor, diod va h.k.) tashkil topgan qismlarida yuzaga keladi. Nochiziqli buzilishlar, signallar nochiziqli funksional qurilmalar orqali o'tganda uning spektrida qo'shimcha, yangi tashkil etuvchilari paydo bo'lishiga sabab bo'ladi, spektri kengayadi va uning tashkil etuvchilari orasida o'zaro xalaqitlar paydo bo'ladi [23].

Uzluksiz radiokanal chiqishidagi signalni umumiy holda quyidagicha ifodalash mumkin:

$$x(t, \tau) = \mu(t)s[t - \tau(t)] + w(t), \quad (4.2)$$

bunda, $s(t)$ – radiokanal kirishidagi signal; $\mu(t)$ – multiplikativ xalaqitning foydali signal $s(t)$ ga ta'sirini aks ettiruvchi koeffisient; $w(t)$ – additiv xalaqit; $\tau(t)$ – foydali signalning kanal orqali o'tishi natijasida hosil bo'ladigan kechikish. Agar $\mu(t)$ va $\tau(t)$ lar yoki ulardan biri vaqt bo'yicha o'zgarib tursa, bunday radiokanal ***o'zgaruvchan ko'rsatkichli*** va aks holda μ va τ vaqt bo'yicha o'zgarmas bo'lsa bunday kanal ***o'zgarmas ko'rsatkichli radiokanal*** deb ataladi.

Multiplikativ xalaqitlar birinchi navbatda signal tarqaluvchi muhitning (fazoning) xarakteristikalarini vaqt bo'yicha o'zgarib turishi; radiotexnik qurilmalar elektr manbalari kuchlanishlarining o'zgarishi natijasida uning kuchaytirish koeffisienti o'zgarishi; radiosignalni radioqabullash qurilmasi kirishiga bir necha radionurlar algebraik yig'indisi sifatida ta'sir etishi natijasida hosil bo'ladi. Multiplikativ xalaqitlar qisqa to'lqin diapazonida, harakatdagi mobil aloqa tizimlarida va atmosfera optik aloqa tizimlarida asosiy xalaqit hisoblanadi. Multiplikativ xalaqit $\mu(t)$ umuman tasodifiy jarayon bo'lib, agar uning korrelyatsiya vaqti oralig'i $\Delta\tau_m$ signal davomiyligi yoki korrelyatsiya oralig'i $\Delta\tau_s$ dan ancha katta bo'lsa, ya'ni

$$\frac{\Delta\tau_m}{\Delta\tau_s} \gg 1, \quad (4.3)$$

bo'lsa bunday multiplikativ xalaqit sekin o'zgaruvchi va aksincha

$$\frac{\Delta\tau_m}{\Delta\tau_s} \ll 1, \quad (4.3')$$

bo'lsa bunday multiplikativ xalaqit tez o'zgaruvchi multiplikativ xalaqit deb ataladi.

Additiv xalaqitlar radiotexnik qurilma rezistorlari, diodlari, tranzistorlari, simlari orqali o'tuvchi tok qiymatining yoki uning elementlariga qo'yilgan kuchlanishlarning issiqlik jarayoni ta'sirida tasodifiy shaklda o'zgarishi, atmosfera va sanoat xalaqitlari ta'siridagi fluktuatsiya hodisasi natijasida hosil bo'ladi.

Additiv xalaqitlar uch turga bo'linadi: fluktuasion – keng polosali “oq shovqin”, spektri energiyasi nisbatan tor chastotalar polosasida bo'lgan – garmonik tebranishsimon xalaqitlar hamda ta'sir etish vaqti tasodifiy va qisqa bo'lgan energiyasi qisqa vaqt orasida mavjud bo'lgan impuls xalaqitlardan iborat.

Spektri kengligi foydali signal spektriga deyarli teng yoki anchagina kichik bo'lgan garmoniksimon xalaqitlar asosan qo'shni radiokanallar, ba'zan esa aks kanallar orqali radioqabullash qurilmasiga ta'sir etuvchi tor polosali xalaqitlar qatoriga kiradi. Tor polosali xalaqitlarning foydali signalga ta'sirini yo'qotish yoki kamaytirishga signal qabullash va unga ishlov berish qurilmalarining texnik ko'rsatkichlarini yaxshilash, tegishli texnik yechimlarni tadbqiq qilish natijasida erishiladi.

Impuls xalaqitlar sanoat qurilmalari, atmosferada yuz beradigan momaqaldiroqlar, payvandlash qurilmalari, elektr transporti kabellarning ish faoliyati natijasida hosil bo'luvchi tasodifiy vaqt oraliqlarida tasodifiy qiymatga ega bo'lgan impulslarning radiokanallar, asosan RQQga ta'siri natijasi bo'lib, bunday xalaqit nisbatan keng energetik spektrga ega bo'ladi. Ma'lumki, bunday impuls ko'rinishidagi xalaqitlarning spektri kengligi uning davomiyligiga teskari proporsional bo'lib, bunday xalaqitning spektr tashkil etuvchilari juda past va juda yuqori chastotalar diapazonida bo'ladi.

Fluktuasion additiv xalaqit spektri energiyasi juda keng polosaga yoyilganligi bilan xarakterlanadi. Chunki bu tur xalaqit radioelektron qurilmalarning tashkiliy elementlarida hosil bo'ladigan issiqlik shovqini, vaqt birligida uning o'tkazgichlari orqali o'tuvchi elektronlar soni o'zgarmas emas, balki o'rtacha qiymati atrofida tasodifiy ravishda o'zgarib turishi kabi hodisalar natijasida hosil bo'ladi. Foydali signal spektri tashkil etuvchilari joylashgan polosa ΔF da hosil bo'ladigan issiqlik shovqini energiyasi o'rtacha qiymati va spektri energiyasi zichligi quyidagi ifodalar orqali aniqlanadi:

$$P = \sigma^2 = 4kT^0\Delta F, \quad (4.4)$$

$$G(F) = \frac{P}{\Delta F} = 4kT^0, \quad (4.5)$$

bunda, $k = 1,38 \cdot 10^{-23}$ Dj/grad – Bolsman doimiysi, T^0 – asbolyut temperatura.

Radioqurilma ichida hosil bo'ladigan fluktuasion xalaqitlarni to'liq yo'qotib bo'lmaydi, uning ta'sirini radiokanal qurilmalarini loyihalashda e'tiborga olish va uning axborot uzatish sifati yomonlashishiga ta'sirini kamaytirish mumkin.

Ta'sir energiyasi ma'lum spektrda (polosada) yoki vaqt orasida joylashgan xalaqitlarning matematik modeli tor polosali tasodifiy signal va impulslar tasodifiy ketma-ketligi hisoblanadi. Fluktuasion additiv xalaqitning matematik modeli sifatida Gauss qonuniga (normal taqsimot qonuniga) bo'ysunuvchi "oq shovqin" olinadi.

Hozirda real radiokanallarni ruxsat etilgan xatolik bilan va berilgan texnik ko'rsatkichlari asosida turli radiokanallarni tahlil qilishning turli murakkablik darajasida bo'lgan matematik ifodalari yaratilgan. Bulardan eng keng foydalaniladiganlari quyidagilar: ideal radiokanal; Gauss radiokanali; noma'lum fazali Gauss radiokanali; so'nishli va xalaqitlari spektri to'plangan bir nurli radiokanal; ko'p nurli so'nishli Gauss radiokanali; ko'p nurli so'nishli va additiv xalaqitli Gauss radiokanali.

Real radiokanallarni tahlil etishda, odatda, injenerlik hisobi natijalarining aniqlik darajasi talab darajasida bo'lgan, masalani yechishda ortiqcha qiyinchiliklarni keltirib chiqarmaydigan matematik modeli tanlanadi.

Ideal radiokanal matematik modelidan uzluksiz radiokanallarni tahlil etishda quyidagi shartlar bajarilgan holda foydalanish mumkin: radiokanalda hech qanday xalaqitlar yo'q, radiokanallardan o'tuvchi signallarning shakli avvaldan ma'lum, ya'ni signal – determinant signal va signalning quvvati hamda spektri polosasi cheklangan. Bu modeldan foydalanilganda radiokanalda amalga oshiriladigan o'zgartirishlar va radiokanal kirishidagi signal shakli ma'lum holati uchun chiqish signali aniqlanadi. Bunday matematik modeldan asosan radiokanallar orqali o'tuvchi modulyatsiyalangan signallarning chiziqli va nochiziqli buzilishlarni aniqlashda foydalaniladi.

Gauss radiokanali. Radiokanalning bunday matematik modelidan quyidagi shartlar bajarilganda, ya'ni radiokanalning uzatish koeffisienti va signalning radiokanal orqali o'tishdagi kechikishi vaqt bo'yicha o'zgarmas; signal shakli qabullash tomonida ma'lum va radiokanalda gauss additiv fluktuasion xalaqit mavjud bo'lgan holatlarda foydalaniladi. Gauss kanali matematik modelidan real bir nurli so'nishsiz va asta so'nuvchi radiokanallarni tahlil etishda foydalaniladi. Bunda so'nishlar foydali signal amplitudasining tasodifiy ravishda o'zgarishi natijasida yuz beradi deb hisoblanadi. Radiokanalning bunday matematik modeli u orqali o'tuvchi

signalning amplitudasi va fazasining buzilishlarini hamda fluktuasion xalaqit ta'sirini tahlil etish imkoniyatini beradi.

Noma'lum fazali Gauss radiokanali. Radiokanalning bu matematik modelida kirish signali fazasi tasodifiy qiymatga ega bo'ladi, natijada chiqish signali ham tasodifiy fazaga ega bo'ladi. Radiokanal chiqish signalini tahlil etish uchun signalning radiokanal orqali o'tishidagi vaqt bo'yicha kechikish yoki fazasi o'zgarishining taqsimot qonunini bilish talab etiladi.

So'nishli bir nurli Gauss radiokanali. Radiokanalning bunday modelidan foydalanilganda kanalning uzatish koeffisienti va faza xarakteristikasi tasodifiy qiymatga ega bo'lgan jarayon deb qaraladi. Bunda radiokanalda xalaqitlar bo'lmagan holatda ham chiqish signali spektri kirish signali spektridan zararli amplituda va fazasi natijasida kengayadi. Radiokanalning bunday matematik modeli turli tasodifiy, shu bilan birga o'zgaruvchi parametrlari radiokanallar xususiyatlarini yetarli darajada yaxshi ifodalaydi.

So'nishli ko'p nurli Gauss radiokanali. Radiokanalning bunday modelidan radiouzatkich chiqishidan radioqabullash qurilmasi kirishiga turli nurlar (yo'llar) orqali ta'sir etadigan holatlarda foydalaniladi. Bunda RQQ kirishidagi radionurlarning sathlari va boshlang'ich fazalari turlicha va tasodifiy qiymatga ega bo'ladi. RQQ kirishidagi signal bir necha radionurlanishlarning interferensiyasi – algebraik yig'indisi natijasi bo'ladi. Umuman olganda radiokanalning chastota va faza xarakteristikasi vaqt va chastotaga bog'liq bo'ladi. Ko'p nurli so'nishli radiokanalni ifodalashda bir kanalliga qaraganda n marta (bunda n – radionurlar soni) ko'p bo'lgan statistik xarakteristikalaridan foydalanish kerak bo'ladi. Shu bilan birga so'nishli ko'p nurli Gauss radiokanal turli radiokanallarni o'zida qamrab olgan bo'lib, eng umumlashgan model hisoblanadi.

So'nishli ko'p nurli va additiv (spektr va vaqt bo'yicha to'plangan) xalaqitli Gauss radiokanali. Radiokanalning bu matematik modelida fluktuasion xalaqit bilan birga spektri ma'lum polosada to'plangan va energiyasi qisqa vaqt orasida to'plangan (mavjud bo'lgan) xalaqitlar ham hisobga olinadi. Radiokanalning bunday modeli ko'p turli haqiqatda mavjud kanallarning xususiyatlarini yetarli darajada aniqlik bilan tahlil etish imkoniyatini beradi. Ammo radiokanalning bu modelidan foydalanish murakkab bo'lib, katta hajmdagi statistik ma'lumotlarni to'plash va ularga ishlov berishni talab qiladi.

Odatda, ko'p hollarda uzluksiz va diskret radiokanallarni tahlil etishda Gauss radiokanali va so'nishli bir nurli Gauss radiokanali modelidan foydalaniladi [30].

4.3.2. Diskret kanallarning modellari

Diskret kanallarni tahlil etish uchun maxsus matematik model va usullardan foydalaniladi. Bu model va usullardan foydalanib ikkilik radiokanalning quyidagi xarakteristikalarini aniqlaymiz: diskret signal elementlarini xato qabul qilish shartli ehtimolligi, diskret signal kodlari kombinatsiyasini xato qabul qilish to'liq ehtimolligi va to'g'ri qabullash ehtimolligi, radiokanal chiqishida diskret signal elementar tashkil etuvchilarini paydo bo'lish ehtimolligi va shu kabilar.

Diskret radiokanal sifatida "koder kirishidan dekoder chiqishigacha" bo'lgan qurilmalardan iborat qismni tahlil qilamiz (4.1-rasm). Diskret kanal kirishiga s_{ki} simvollar berilganda uning chiqishida s_{chj} simvollar paydo bo'ladi. Agar radiokanal uchun s_{ki} signalning uzatilish aprior ehtimolligi $P(s_{ki})$ ($i = 1, 2, 3, \dots, n$ – kirish signali alfaviti), R – elementar signallarni uzatish tezligi, chiqish signali s_{chj} alfaviti $j = 1, 2, 3, \dots, m$, s_{ki} signal uzatilganda diskret kanal chiqishida s_{chj} simvolni paydo bo'lish shartli aprior ehtimolligi $P(s_{chj}/s_{ki})$ lar ma'lum bo'lsa diskret radiokanal modeli aniqlangan bo'ladi.

Yuqorida keltirilgan diskret radiokanal xarakteristikalaridan birinchisi xabar manbaining xossasiga ikkinchisi esa signal o'tkazish chastotalar polosasiga bog'liq. Chiqish signali hajmi m axborot uzatish tizimining tuzilish usuliga bog'liq. Shartli ehtimollik $P(s_{chj}/s_{ki})$ asosan uzluksiz radiokanal va uning xarakteristikalari orqali aniqlanadi. Agar teskari bog'lanishli aloqa tizimida chiqish signallari alfaviti m kirish signallari alfaviti n dan katta, ya'ni $m > n$ bo'lsa, bunday radiokanal "o'chirishli" radiokanal deb ataladi. Qabul qilingan signal chiqish simvollarining hech biriga yuqori ehtimollik bilan mos kelmasa, bu signal "o'chiriladi". Xato qabul qilingan signalni o'chirish xato qabullash ehtimolligini kamaytiradi. Odatda, simvolni o'chirish mezon (ehtimolligi) berilgan bo'ladi.

Diskret radiokanal matematik modelini tahlil etish natijasida s_{chj} elementar signal qabul qilinganda s_{ki} elementar signal uzatilish shartli aposterior ehtimolligi $P(s_{ki}/s_{chj})$ aniqlanadi. Ushbu aposterior ehtimolliklar $P(s_{ki}/s_{chj})$ va aprior ehtimolliklar $P(s_{ki})$ asosida signal xato qabul qilinish to'liq ehtimolligini, to'g'ri qabullanganlik to'liq ehtimolligini, radiokanal chiqishida aniq bir signalning paydo bo'lish ehtimolligini, diskret

radiokanalning axborot uzatishga tegishli xarakteristikalar (axborot uzatish tezligi, axborot o'tkazish imkoniyati va qabul qilingan axborot miqdori) ni aniqlash mumkin.

s_{chj} elementar signal qabul qilinganda s_{ki} elementar signal uzatilish shartli aposterior ehtimolligi Bayes formulasi orqali aniqlanadi.

$$P\left(s_{ki}/s_{chj}\right) = \frac{P(s_{ki})P\left(s_{chj}/s_{ki}\right)}{\sum_{k=1}^m P(s_{ki})P\left(s_{chj}/s_{ki}\right)}. \quad (4.6)$$

s_{ki} signal radiokanal orqali uzatilganda dekoder chiqishida s_{chj} signali faqat $i = j$ hollarda to'g'ri qabul qilingan, boshqa hollarda signal noto'g'ri qabul qilingan bo'ladi.

Agar dekoder qaror qabul qilish qurilmasi aposterior ehtimollik maksimumi (eng katta qiymati) asoslanib qaror qabul qilish algoritmi (mezoni) asosida qaror qabul qilsa, ya'ni

$$\max \left[P\left(s_{ki}/s_{chj}\right) \right] = P\left(s_{ki}/s_{chj}\right) \quad (4.7)$$

bo'lsa dekoder chiqishida s_{chj} simvoli, ya'ni aposterior ehtimolligi eng katta simvol qaror qabul qilish qurilmasi chiqishida paydo bo'ladi.

Agar aposterior ehtimollik $P\left(s_{chi}/s_{kj}\right)$ maksimal qiymatga ega bo'lsa

bu simvol xato qabul qilingan bo'ladi, chunki s_{kj} signal ($j \neq i$) uzatilganda qaror qabul qilish qurilmasi s_{chi} signal uzatilgan deb qaror qabul qiladi. Bu diskret radiokanal uchun $P\left(s_{chj}/s_{ki}\right)$ – aposterior ehtimolliklar $i = j$ hamda $j \neq i$ lar uchun ma'lum bo'lsa uning hamma xususiyatlari ma'lum hisoblanadi. Agar radiokanal uchun s_{ki} va s_{chj} larning paydo bo'lishi aposterior ehtimolligi i va j larning turli qiymatlari uchun oniy qiymatlarni aniqlash vaqtiga bog'liq bo'lmasa bunday radiokanal bir tarkibli radiokanal deb ataladi. Bunda s_{ki} bir xil ehtimollik bilan s_{chj} ga ($j \neq i$) o'tishi mumkin bo'ladi, ya'ni

$$P\left(s_{chj}/s_{ki}; t\right) = P\left(s_{chj}/s_{ki}\right). \quad (4.8)$$

Agar s_{ki} signalni s_{chj} ga o'tish ehtimolligi vaqt t ga bog'liq bo'lsa bunday radiokanal bir tarkibli bo'lmagan radiokanal deb ataladi.

Agar s_{ki} simvol uzatilganda s_{chj} simvolning paydo bo'lish aposterior ehtimolligi undan avval qandaydir simvollar uzatilganligiga bog'liq, ya'ni

$$P\left(s_{chj}/s_{k1}, s_{k2}, \dots, s_{kn}\right) \quad (4.9)$$

bo'lsa bunday radiokanal xotirali kanal deb ataladi va

$$P\left(s_{chj}/s_{k1}, s_{k2}, \dots, s_{kn}\right) = P\left(s_{chj}/s_{ki}\right) \quad (4.9')$$

sharti bajarilsa, bunday radiokanal xotirasiz kanal deb ataladi.

(4.8) va (4.9') shartlar bajariladigan radiokanal Gauss bir tarkibli xotirasiz kanali deb ataladi.

Real radiokanallar bir tarkibli bo'lmagan va xotirali kanallar bo'lib, buning sabablari quyidagilar: uzluksiz kanalda signal shaklining buzilishi va signalga turli xalaqitlarning ta'siri, chiqish signallari elementlarining kirish signallari elementlariga nisbatan kechikishi, uzatilayotgan va qabul qilinayotgan signallar orasidagi takt bo'yicha sinxronlikning buzilishi (yomonlashishi), qaror qabul qilish qurilmasining ishidagi xatoliklar. Ammo ko'p hollarda bir tarkibli xotirasiz radiokanal modelidan foydalanib kanallarning asosiy xususiyatlari aniqlanadi.

Bir tarkibli xotirasiz radiokanallarni matematik ifodalash uchun quyidagi ko'rinishdagi matrisadan foydalaniladi:

$$P_{ij} = \begin{pmatrix} P_{11} & P_{12} & \dots & P_{1m} \\ P_{21} & P_{22} & \dots & P_{2m} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ P_{n1} & P_{n2} & \dots & P_{nm} \end{pmatrix}. \quad (4.10)$$

Ushbu (4.10) matrisaning tashkil etuvchilari s_{ki} signalni s_{chj} ga o'tish shartli ehtimolligi $P_{ij} = P\left(s_{chj}/s_{ki}\right)$ ni anglatadi. Bu shartli s_{kj} signalni s_{chj} ga o'zgarish xatoligi s_{ki} signalni uzatish aprior ehtimolligi $P(s_{ki})$ bilan birga diskret kanalning ehtimollik xarakteristikasini to'liq aniqlash imkoniyatini beradi.

Diskret kanallarning matematik modeli sifatida Markov ketma-ketligi (zanjiri) nazariyasidan foydalaniladi. Bu nazariya asosida tasodifiy ketma-ketliklarni ifodalash mumkin. Quyida ushbu nazariyaning biz kelgusida foydalanadigan asoslari bilan tanishib chiqamiz.

Agar tasodifiy signal $x(t)$ ni Kotelnikovning diskretizatsiyalash teoremasi asosida $\Delta t = \frac{1}{2F}$, sek oraliqlardagi oniy qiymatlarini aniqlasak, bu oniy qiymatlar tasodifiy ketma-ketligi $X_i = X(t_i)$ bo'ladi. Agar uzluksiz signal $x(t)$ stasionar tasodifiy va ergodiklik xususiyatiga ega bo'lsa, u holda

oniy qiymatlar ketma-ketligi $X(t_i)$ ham stasionar va ergodiklik xususiyatiga ega bo'ladi.

Bunday ketma-ketlikning sonli xarakteristikalar: o'rtacha qiymati, dispersiyasi va korrelyatsiya funksiyasi ko'plik bo'yicha va vaqt bo'yicha o'rtalashtirish orqali amalga oshiriladi. Oniy qiymatlar ketma-ketligining o'rtacha qiymati quyidagicha aniqlanadi:

$$M[X_i] = \frac{1}{n} \sum_{k=1}^n x_{ik} \quad (4.11)$$

bunda, n – tahlil etilayotgan tasodifiy ketma-ketliklar soni, x_{ik} – tasodifiy ketma-ketlik X_i ning k vaqtdagi o'rtacha qiymati, k – tahlil etilayotgan ketma-ketliklardan Δt oraliqlarda olingan oniy qiymatlar soni.

Agar stasionar ketma-ketlik X_i ning hamma qiymatlari uzluksiz va bir-biriga bog'liq bo'lmasa, bunday jarayonning to'liq xarakteristikasi bir o'lchamli taqsimot qonuni $P(X_i)$ bo'ladi. Katta o'lchamli taqsimot qonuni bir o'lchamli taqsimot qonunlari ko'paytmasiga teng bo'ladi. Agar x_i diskret bir-biri bilan bog'liq bo'lmagan signallar ketma-ketligi bo'lsa, uning oniy qiymati x_i ning paydo bo'lish ehtimolligi $P(x_i)$ bo'ladi va x_i – diskretizatsiyalashgan qiymatlardan birining paydo bo'lish ehtimolligi

$$\sum_{i=1}^n P(x_i) = 1. \quad (4.12)$$

Agar X_i ketma-ketlik bir-biriga bog'liq (korrelyatsiya mavjud) bo'lsa, u holda alohida simvollarining paydo bo'lish ehtimolligidan tashqari undan avval qanday simvollar paydo bo'lganligi ehtimolligini bilish kerak, ya'ni $P(X_i/X_{i-1}, X_{i-2}, \dots, X_{i-k})$. Simvollar orasida statistik bog'liqlik bo'lgan ketma-ketlik Markov zanjirlari deb ataladi. Bunda simvollar ketma-ketligida faqat X_i va X_{i-1} vaqtdagi qiymatlariga bog'liq bo'lsa Markov zanjiri oddiy hisoblanadi, uning xususiyatlari (4.10) matrisada boshlang'ich ehtimollik $P(s_{chi}) = P(s_k)$ orqali aniqlanadi.

Radiokanalning stasionar ish holatida ergodik markov zanjiri ketma-ketligida X_j qiymatni paydo bo'lish ehtimolligi P_j quyidagi algebraik tenglama orqali stasionar tasodifiy jarayonning qiymatlaridan birining paydo bo'lish ehtimolligi birga tengligini e'tiborga olgan holda aniqlanadi, ya'ni

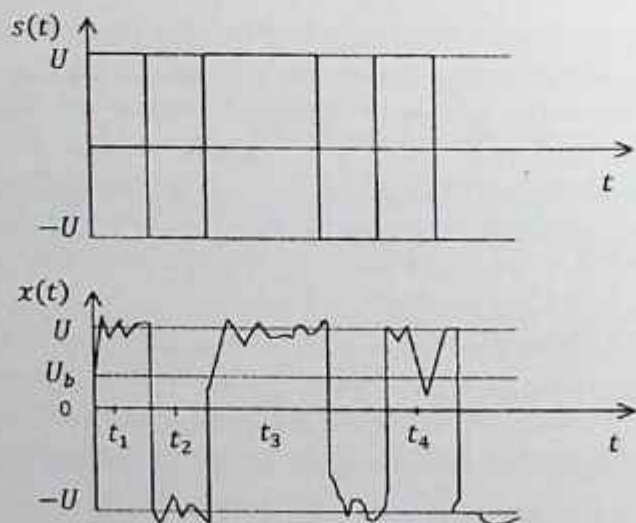
$$P_j = \sum_{i=1}^m P_i P_{ij}, \quad j = 1, 2, \dots, m. \quad (4.13)$$

Xotirasiz bir tarkibli diskret kanallarni matematik tahlil etishda oddiy bir tarkibli markov zanjirlari nazariyasidan foydalaniladi.

Ushbu nazariya natijalaridan foydalanib oddiy bir tarkibli ikkilik diskret kanalning ehtimollik xarakteristikalarini aniqlaymiz. Bu kanal uchun $i = j = 2$, $P_{12} = P_{21} = P_1$, $P_{21} = P_{22} = P_2$, $P_{11} = P(s_1/s_1)$, $P_{12} = P(s_1/s_2)$, $P_{21} = P(s_2/s_1)$, $P_{22} = P(s_2/s_2)$. Bunda P_{11} va P_{22} lar s_1 va s_2 signallarni to'g'ri qabul qilish ehtimolligi, P_{12} va P_{21} – xato qabul qilish ehtimolligi.

Modulyator chiqishidagi signal $s_1(t)$ va demodulyator kirishida $x(t) = s_2(t)$ bo'lgan holat uchun qaror qabul qilish qurilmasi ishlash jarayonini ko'rib chiqamiz (4.3-rasm). Bunda musbat impulslar $s_1(t)$ signaliga, manfiy impulslar $s_2(t)$ signaliga mos keladi va ularning shakli radiokanaldan o'tish natijasida o'zgargan.

Agar radiokanalda signal shakli buzilmasa, u holda radiokanal uzluksiz Gauss kanali bo'lib, signal shaklining o'zgarishiga fluktuasion xalaqit $w(t)$ sabab bo'ladi. Qaror qabul qilish qurilmasi kirishidagi signalni $s_2(t) = s_1(t) + w(t)$ deb qabul qilamiz. Demodulyatorning qaror qabul qilish qurilmasi o'zining kirishidagi $s_2(t)$ signalning $t_1, t_2, \dots, t_k$ vaqtlardagi oniy qiymatlari asosida $s_1(t) = +U$ yoki $s_2(t) = -U$ ligini aniqlaydi. Signallarning amplitudasi U – aniq (determinant) qiymatligi uchun $|U| + w(t) = x(t)$ ning taqsimoti xalaqit $w(t)$ ning bir o'lchamli taqsimoti orqali aniqlanadi.



4.3-rasm. $s(t) + w(t) = x(t)$ ni t_k vaqtlardagi oniy qiymatlari asosida qaror qabul qilishga oid vaqt diagrammalari

Demodulyator qaror qabul qilish qurilmasi chiqishidagi xato qabullash va to'g'ri qabullash ehtimolligi nafaqat xalaqitning ko'rsatkichlari, shu bilan birga qaror qabul qilish qurilmasining bo'sag'asi sathi U_b ga ham bog'liq. Agar $x(t_k) \leq U_b$ bo'lsa, u holda manfiy signal $s_2(t) = -U$, qaror qabul qilish qurilmasi kirishiga manfiy signal keldi deb xato qaror qabul qiladi. To'g'ri qaror qabul qilinishi uchun quyidagi tengsizliklar bajarilishi kerak:

$$U + w(t_k) > U_b, \quad w(t_k) > -U + U_b, \quad (4.14)$$

$$-U + w(t_k) < U_b, \quad w(t_k) < U + U_b. \quad (4.15)$$

$x(t) = s_1(t) + w(t)$ ning oniy qiymatini aniqlash vaqti t_k da xalaqit ta'sirida $x(t)$ qiymatining o'zgarishi yuz beradi. Xato qabullash ehtimolligi P_{12} va P_{21} (4.14) va (4.15) tengsizliklarga teskari bo'lgan ehtimollik sharti bajarilganda yuz beradi, ya'ni

$$P_{21} = P(w < -U + U_b) = \int_{-\infty}^{-U+U_b} P(w)dw, \quad (4.16)$$

$$P_{12} = P(w > U + U_b) = \int_{U+U_b}^{\infty} P(w)dw. \quad (4.17)$$

Uzatilayotgan signallarning musbat va manfiy amplitudalari bir-biriga teng $|-U + U_b| = |U + U_b|$ bo'lishi uchun hamda P_{12} va P_{21} xatoliklarning qiymati bir xil bo'lishi uchun qaror qabul qilish qurilmasi bo'sag'asi $U_b = 0$ qilib tanlanadi. Xatoliklar $P_{12} = P_{21} = P_0$ bo'lgan kanal simmetrik kanal deb ataladi. Simmetrik aloqa kanallarida xatolik yuz berishi ehtimolligi quyidagi ifoda orqali aniqlanadi:

$$P_0 = \int_U^{\infty} P(w)dw = \int_{-\infty}^{-U} P(w)dw = \frac{1}{2} [1 + F(\sqrt{h})], \quad (4.18)$$

bunda, $\sqrt{h} = U/\sigma$, σ – xalaqitning o'rtacha kvadratik qiymati, xalaqitning dispersiyasi, $F(\sqrt{h})$ – Kramp funksiyasi (ehtimollik integrali) bo'lib, u quyidagicha aniqlanadi:

$$F(\sqrt{h}) = \frac{2}{\sqrt{2\pi}} \int_0^{\sqrt{h}} e^{-z^2/2} dz. \quad (4.19)$$

Argumenti $(0 \div \infty)$ oralig'ida o'zgaruvchi Kramp funksiyasi qiymatlarining jadvali mavjud. Kramp funksiyasi qiymati $(-1 \div +1)$ oralig'ida o'zgaruvchi toq funksiya $F(-\sqrt{h}) = F(\sqrt{h})$ hisoblanadi.

Xato qabullashning to'liq ehtimolligi

$$P_{\Sigma} = P(s_1)P_{12} + P(s_2)P_{21} = \frac{1}{2}[P_{12} + P_{21}] = P_0. \quad (4.20)$$

Simmetrik aloqa kanali uchun to'liq xatolik ehtimolligi shartli ehtimollikka teng bo'lib, xotirasiz simmetrik ikkilik kanalning xossasini to'liq aniqlash imkoniyatini beradi.

Simmetrik xotirasiz ikkilik kanalida signalni to'g'ri qabullash ehtimolligi P_t quyidagi ifoda orqali aniqlanadi:

$$P_t = P(s_1)P_{11} + P(s_2)P_{22} = 1 - P_0, \quad (4.21)$$

bunda, $P_{11} = 1 - P_{12}$ va $P_{22} = 1 - P_{21}$, ya'ni s_1 va s_2 signallarning to'g'ri qabullanishi ehtimolliklari.

Real radiokanallarni kirish signallari paydo bo'lishi ehtimolligi taqsimotini chiqish signallari paydo bo'lishi ehtimolliklariga ma'lum mezon asosida almashtiruvchi qurilma deb hisoblash mumkin.

Ideal diskret kanali uchun chiqish signallari ehtimolligi taqsimoti kirish signallari ehtimolligi taqsimotiga mos keladi, taqsimot ehtimolligi qonuni o'zgarmaydi.

Diskret xabarlarining simvollar aloqa kanallari orqali uzatilganda ular elementar signallar (odatda 1 va 0) kombinatsiyasi mos ravishda n ta elementar signaldan iborat bo'lgan kodlar kombinatsiyasi bilan almashtiriladi. Bunda kodlar kombinatsiyasidagi bitta, ba'zan bir necha 1 va 0 larning aloqa kanalidagi xalaqitlar ta'sirida o'z qiymatlarini teskarisiga almashib qolishi natijasida boshqa kod kombinatsiyasi paydo bo'ladi, diskret xabar simvoli xato qabul qilinadi. Oddiy, tejamkor kodlardan foydalanil-ganda kodlar kombinatsiyasidagi bir elementar signal xalaqit ta'sirida o'z qiymatini o'zgartirsa, u diskret xabarning boshqa simvoliga mos keladi, xato qabullash hodisasi yuz beradi. Diskret xabarlarini uzatishda korreksiyalovchi kodlardan foydalanilganda kodlar kombinatsiyasida kamida q ta elementar signal o'z qiymatini teskarisiga o'zgartirishi natijasida diskret xabar simvoli xato qabul qilinadi. Shuning uchun kodlar kombinatsiyasida kamida q ta elementar signal xato qabullanishi ehtimolligini aniqlash kerak bo'ladi. Agar kodlar kombinatsiyasidagi elementar signallar ketma-ketligi bir-biriga bog'liq bo'lmasa, u holda ehtimollik binom taqsimoti va Bernulli formulasi orqali aniqlanadi

$$P_m(p_0, q) = C_m^q \cdot p_0^q \cdot (1 - p_0)^{m-q}, \quad (4.22)$$

bunda, $C_m^q = \frac{m!}{q!(m-q)!}$ — m ta elementning q tadan kombinatsiyalar soni, p_0 — bitta elementar signalni uzatishda xato qabullash ehtimolligi, m — kodlar kombinatsiyasidagi elementar signallar soni.

m ta elementdan tashkil topgan kodlar kombinatsiyasida xato qabullash o'rtacha qiymati quyidagi ifoda orqali aniqlanadi:

$$M[q] = \sum_{q=0}^m q P_m(p_0, q) = m p_0. \quad (4.23)$$

(4.23) ifodadan ko'rinadiki, real kanallarda $p_0 \ll 1$ bo'lgani uchun kodlar kombinatsiyasida xatolik yuz bermasligi ehtimolligi $P_m(p_0, 0)$ bo'ladi, ya'ni xatolik bo'lmaydi. q ning soni oshgan sari $P_m(p_0, q)$ funksiya asta-sekin kichiklashadi. Bir kodlar kombinatsiyasida $q > 1$ xatoliklar q birdan kattalashgan sari juda kam uchraydi. Bunday xulosa bir tarkibli xotirasiz kanallar uchun $m p_0 \ll 1$ holat uchun to'g'ri hisoblanadi. Shuning uchun birinchi navbatda kodlar kombinatsiyasidagi bittalik va ikkitalik xatolarni aniqlash va ularni tuzatishga alohida e'tibor beriladi.

Signal va xalaqitlar real radiokanallar orqali o'tishida yuz beradigan o'zgarishlarni aniqlash uchun tasodifiy jarayonlarni radiokanalni inersiyali nochiziqli staxostik tizim sifatida o'rganish kerak bo'ladi. Buning uchun radiokanalni tasodifiy o'zgaruvchan koeffisientli, o'ng tomoni tasodifiy o'zgaruvchi nochiziqli differensial tenglama orqali ifodalash kerak bo'ladi. Bunday differensial tenglamalarni yechish murakkab bo'lib, uni real radiokanallar uchun tahlil etish zamonaviy ilmiy izlanishlar oldiga qo'yiladigan masala hisoblanadi. Odatda tasodifiy signallarni radiokanallar orqali o'tishi nisbatan soddalashtirilgan matematik modellar asosida amalga oshiriladi [13].

4.4. Modulyatsiya

4.4.1. Diskret modulyatsiyalangan signallarning turlari va ularning spektrlari

Diskret modulyatsiya natijasida diskret xabar a_i simvollariga ma'lum kodlash usulidan foydalangan holda tegishli kodlar kombinatsiyalari birlashtiriladi. Odatda bu kodlar kombinatsiyalari "1" va "0" ikkilik ($M = 2$) elementar signallardan iborat bo'ladi. Bu elementar signallar yuqori chastotali tashuvchini modulyatsiyalaydi. Modulyatsiya natijasida tashuvchining modulyatsiyalangan parametri ko'p hollarda modulyatsiyalovchi signaldagi bir-biridan farqlanuvchi elementar signallarga mos ravishda ikkilik aloqa tizimlari uchun $S_1(t)$ va $S_2(t)$ yoki ko'p asosli tizimlar uchun ($M > 2$) bo'lganda $S_1(t)$, $S_2(t)$, ... $S_m(t)$ ta turli ko'rinishlarni oladi. Modulyatsiya natijasida modulyatsiyalangan signal modulyatsiyalovchi cheklangan sonli signallardan biriga mos keluvchi ko'rinishni olgani uchun, diskret

modulyatsiyalangan signallarni **manipulyatsiyalangan signallar** deb ham ataladi.

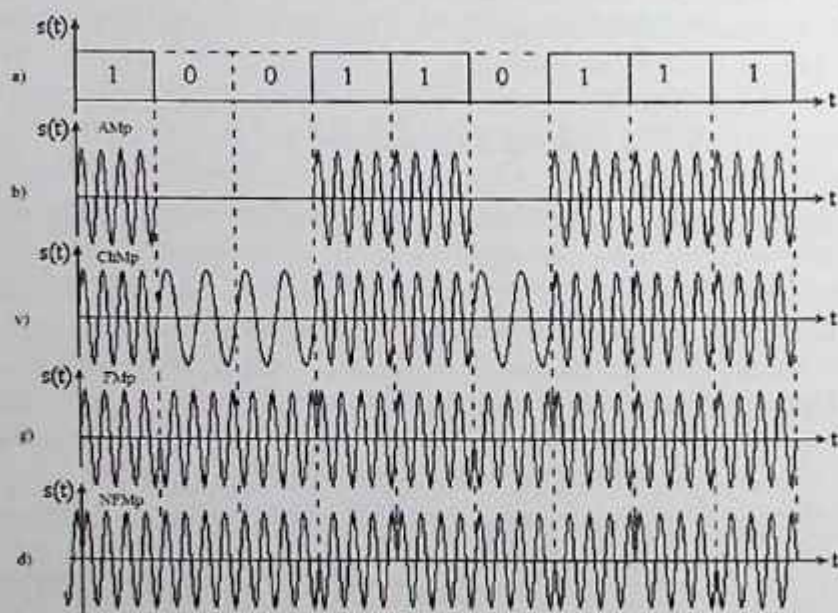
Odatda diskret modulyatsiyalangan signallarni shakllantirishda tashuvchi sifatida yuqori chastotali garmonik signallardan foydalaniladi:

$$u_t(t) = A_0 \sin(\omega_0 t + \varphi_0), \quad (4.24)$$

va uning amplitudasi A_0 , chastotasi ω_0 va fazasi φ_0 ni diskret signallarga mos ravishda o'zgartirib AMp, ChMp va FMp signallarni olish mumkin. Modulyatsiyani amalga oshiruvchi qurilma modulyator, manipulyator deb ataladi.

"1" va "0" elementar simvollar ketma-ketligiga mos ravishda manipulyatsiyalangan AM, ChM, FM va NFM signallar vaqt diagrammalari 4.4-rasmda keltirilgan.

Amplitudasi diskret modulyatsiyalangan signal (4.4a-rasm)da "1" simvoli davomiyligi τ_0 ga teng bo'lgan radioimpulsni uzatish orqali, "0" simvoli esa radioimpuls uzatilmasdan amalga oshiriladi. Chastota manipulyatsiyasida "1" ni uzatish chastotasi f_1 va "0" ni uzatish chastotasi f_2 bo'lgan tashuvchini τ_0 vaqt davomida uzatish orqali amalga oshiriladi. Oddiy fazasi manipulyatsiyalangan signallarda yuqori chastotali tashuvchining fazasi har gal "1" simvoli "0" ga almashganda va "0" simvoli "1" ga almashganda $180^\circ (\pi)$ ga o'zgaradi.



4.4-rasm. Manipulyatsiyalangan AM, ChM, FM va NFM signallar vaqt diagrammalari

FM signallarni qabul qilishdagi ba'zi muammolardan holi bo'lish uchun, hozirda asosan fazasi nisbiy modulyatsiyalangan (NFM) signallardan foydalaniladi. Bunda oddiy FMdan farqli NFM signal tashuvchisining fazasi "1" simvoli uzatilganda 180° ga o'zgaradi, "0" simvoli uzatilganda tashuvchisining fazasi o'zgarmas saqlanadi. NFM signalda fazaning o'zgarishi avvalgi simvolga ("1" yoki "0") nisbatan bo'ladi. Bu usuldan ChM, AMLarda ham foydalanib nisbiy ChM (NChM) va nisbiy AM (NAM) signallarni shakllantirish mumkin. Delta modulyatsiyani ham nisbiy modulyatsiyalangan signal deb hisoblash mumkin. Takrorlanish davri $T = 2\tau_0$ bo'lgan ikkilik diskret signal $u(t)$ bilan amplitudasi, chastotasi va fazasi manipulyatsiyalangan signallarning spektrlarini ko'rib chiqamiz.

Amplitudasi manipulyatsiyalangan signal spektri.

AMP signalni quyidagicha ifodalash mumkin:

$$s(t) = A_0 u(t) \sin(\omega_0 t + \varphi_0), \quad (4.25)$$

bunda,

$$u(t) = \begin{cases} 1, & 0 < t < T_0, \\ 0, & -T_0 < t < 0. \end{cases} \quad (4.26)$$

Diskret signal $u(t)$ uchun Fyurje qatori quyidagi ko'rinishga ega bo'ladi:

$$u(t) = \frac{1}{2} + \frac{1}{\pi} \sum_{k=1}^{\infty} \frac{1 - \cos k\pi}{k} \sin k\Omega t. \quad (4.27)$$

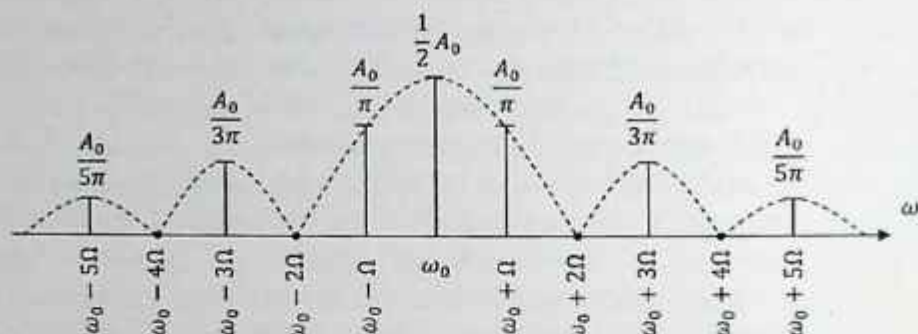
(4.27) ifodani e'tiborga olsak AMP signal uchun (4.25) ifoda quyidagi ko'rinishni oladi:

$$\begin{aligned} s(t) &= A_0 \left(\frac{1}{2} + \frac{1}{\pi} \sum_{k=1}^{\infty} \frac{1 - \cos k\pi}{k} \sin k\Omega t \right) \sin(\omega_0 t + \varphi_0) = \\ &= \frac{1}{2} A_0 \sin(\omega_0 t + \varphi_0) + \frac{A_0}{2\pi} \sum_{k=1}^{\infty} \frac{1 - \cos k\pi}{k} \cos(\omega_0 t - k\Omega t + \varphi_0) - \\ &\quad - \frac{A_0}{2\pi} \sum_{k=1}^{\infty} \frac{1 - \cos k\pi}{k} \cos(\omega_0 t + k\Omega t + \varphi_0). \end{aligned} \quad (4.28)$$

(4.28) ifoda asosida qurilgan AMP signal spektri 4.5-rasmda keltirilgan.

Bu signal spektrida tashuvchining amplitudasi $\frac{1}{2} A_0$ ga teng bo'lib, ikki yon polosla spektrlari tashkil etuvchilarining amplitudalari quyidagicha aniqlanadi:

$$A_k = \frac{A_0}{2\pi} \frac{1 - \cos k\pi}{k} = \frac{A_0}{k\pi} \sin \frac{k\pi}{2}. \quad (4.29)$$



4.5-rasm. AMp signal spektri

AMp signal spektri o'g'uvchisi quyidagicha ifodalanadi:

$$A(\omega) = \frac{A_0 \tau_0 \sin 0.5(\omega - \omega_0) \tau_0}{2 \cdot 0.5(\omega - \omega_0) \tau_0}, \quad (4.30)$$

va bu o'g'uvchi shaklan modulyatsiyalovchi diskret signal spektrini ω_0 chastotaga yuqoriga surilgan shaklini takrorlaydi.

Fazasi manipulyatsiyalangan signal spektri.

FMP signalni quyidagi formula orqali ifodalash mumkin:

$$\begin{aligned} s(t) &= A_0 \sin[\omega_0 t + \Delta \varphi u(t) + \varphi_0] = \\ &= A_0 \cos[\Delta \varphi u(t)] \sin(\omega_0 t + \varphi_0) + A_0 \sin[\Delta \varphi u(t)] \cos(\omega_0 t + \varphi_0). \end{aligned} \quad (4.31)$$

Ushbu FMP signal diskret takrorlanish davri $T = 2\tau_0$ bo'lgan $u(t)$ signal bilan manipulyatsiyalangan, ya'ni

$$u(t) = \begin{cases} 1, & 0 < t < T_0, \\ -1, & -T_0 < t < 0. \end{cases} \quad (4.32)$$

(4.32) formuladagi $u(t)$ ni (4.31) ifodaga qo'yib, quyidagini olamiz:

$$s(t) = A_0 \cos \Delta \varphi \sin(\omega_0 t + \varphi_0) + A_0 u(t) \sin \Delta \varphi \cos(\omega_0 t + \varphi_0). \quad (4.33)$$

Modulyatsiyalovchi diskret signal $u(t)$ ni Furiye qatoriga yoyish natijasida quyidagini olamiz:

$$u(t) = \frac{2}{\pi} \sum_{k=1}^{\infty} \frac{1 - \cos k\pi}{k} \sin k\Omega t. \quad (4.34)$$

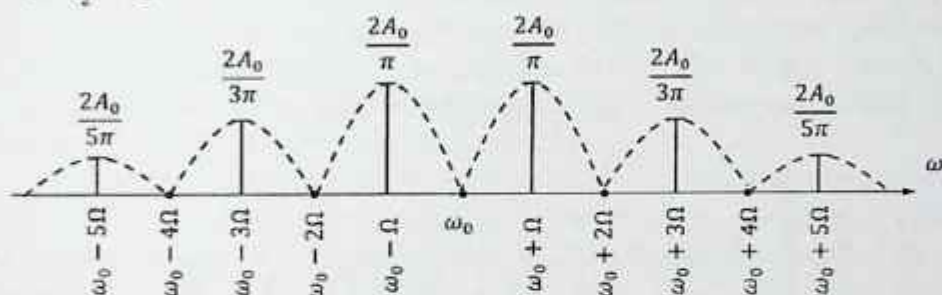
(4.34) ni e'tiborga olib (4.33) ni quyidagi shaklga keltirish mumkin:

$$\begin{aligned} s(t) &= A_0 \cos \Delta \varphi \sin(\omega_0 t + \varphi_0) + \\ &+ \frac{2A_0}{\pi} \sin \Delta \varphi \cos(\omega_0 t + \varphi_0) \sum_{k=1}^{\infty} \frac{1 - \cos k\pi}{k} \sin k\Omega t = \end{aligned}$$

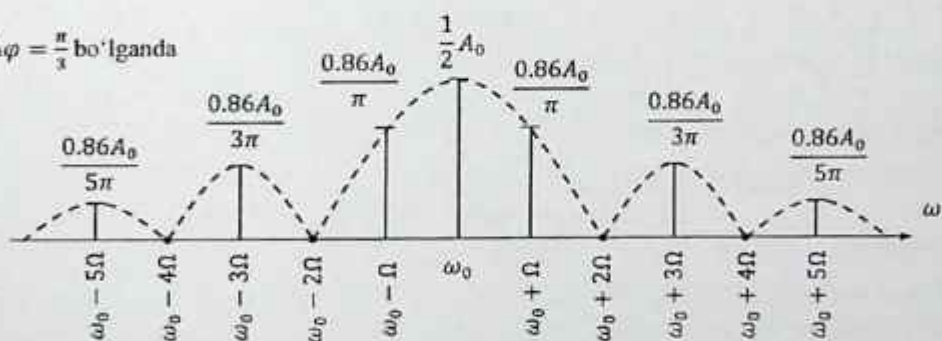
$$\begin{aligned}
&= A_0 \cos \Delta \varphi \sin(\omega_0 t + \varphi_0) + \frac{A_0}{\pi} \sin \Delta \varphi \sum_{k=1}^{\infty} \frac{1 - \cos k\pi}{k} \sin(\omega_0 t - k\Omega t + \varphi_0) \\
&\quad - \\
&\quad - \frac{A_0}{\pi} \sin \Delta \varphi \sum_{k=1}^{\infty} \frac{1 - \cos k\pi}{k} \sin(\omega_0 t + k\Omega t + \varphi_0). \quad (4.35)
\end{aligned}$$

Faza devitsiyasi $\Delta \varphi$ ning $\pi/2$ va $\pi/3$ qiymatlari uchun FMP signal spektri 4.6-rasmda keltirilgan.

$\Delta \varphi = \frac{\pi}{2}$ bo'lganda



$\Delta \varphi = \frac{\pi}{3}$ bo'lganda



4.6-rasm. FMP signal spektri

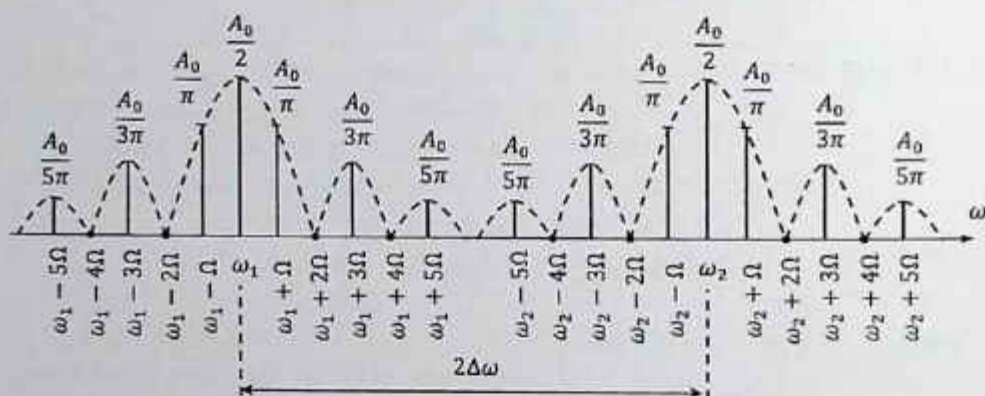
Bu FMP signal spektri tashuvchining chastotasi ω_0 va ikki yon polosa spektr tashkil etuvchilardan iborat. Signal tashuvchisining amplitudasi xuddi analog modulyatsiyalangan FM signaldagidek $\Delta \varphi$ – faza devitsiyasiga bog'liq bo'lib, $\Delta \varphi = \pi/2$ da u nolga teng bo'ladi. Yon polosa spektri tashkil etuvchilarining amplitudasi ham faza devitsiyasiga bog'liq bo'lib, $\Delta \varphi$ ning qiymati 0 dan $\pi/2$ gacha o'zgarganda signal tashuvchisining amplitudasi nolgacha kichiklashib boradi va yon polosa spektr tashkil etuvchilarining amplitudasi kattalashib boradi, ya'ni signal umumiy quvvati saqlanib qoladi

va u signal spektri tashkil etuvchilariga taqsimlanib boradi, faza deviatitsiyasining qiymati $\Delta\varphi = \pi/2$ bo'lganda FMP signalning hamma energiyasi uning yon spektri tashkil etuvchilari orasida taqsimlangan bo'ladi. Xuddi AMP signaldagidek FMP signal spektri og'uvchisi ω_0 chastotaga surilgan yakka impuls $u(t)$ ning $\sin\Delta\varphi$ ga ko'paytmasi orqali aniqlanadi, ya'ni

$$A(\omega) = A_0\tau_0\sin\Delta\varphi \frac{\sin 0.5(\omega - \omega_0)\tau_0}{0.5(\omega - \omega_0)\tau_0}. \quad (4.36)$$

Chastotasi manipulyatsiyalangan signal spektri.

Chastotasi manipulyatsiyalangan signal spektri xuddi shu usulda aniqlanadi va uning spektri ikki xil qiymatga ega bo'lgan f_1 va f_2 chastotalarni davriy signal $u(t)$ bilan amplitudasi bo'yicha manipulyatsiyalash natijasida olingan spektrlar yig'indisiga teng bo'ladi (4.7-rasm).



4.7-rasm. ChMP signal spektri

Avval ko'rib chiqilgan, modulyatsiyalangan signallarni shakllantirishda tashuvchi sifatida yuqori chastotali garmonik signallardan foydalanib, ushbu tashuvchining amplitudasi, fazasi va chastotasini nisbatan past chastotali modulyatsiyalovchi signal $u(t)$ bilan modulyatsiyalagan (uzatilayotgan xabar signaliga mos ravishda o'zgartirgan) edik. Raqamli aloqa tizimlarida (radiotelemetriya, radioboshqaruv va boshqalar) birlamchi axborot tashuvchi sifatida impulslar ketma-ketligidan ham foydalaniladi. Bu impulslar ketma-ketligi quyidagi asosiy parametrlarga ega: impuls amplitudasi, takrorlanish chastotasi, impuls davomiyligi. Ushbu parametrlarning birortasini uzatilayotgan xabarga mos ravishda o'zgartirish natijasida impuls larni modulyatsiyalash amalga oshiriladi. Ushbu modulyatsiyalangan impuls lar

ketma-ketligi bilan ikkilamchi – asosiy garmonik tebranish signali amplitudasi, chastotasi yoki fazasini modulyatsiyalash natijasida IAM-AM, IAM-ChM, IAM-FM, IChM-AM, IChM-FM, IKM-AM, IKM-ChM va h.k. yuqori chastotali signallar shakllantiriladi va radiokanallar orqali uzatiladi [15].

4.4.2. Impulslar modulyatsiyasi va impulsli modulyatsiyalangan signal spektri

Modulyatsiyalanadigan impulslar ketma-ketligining chastotasi V.A. Kotelnikovning uzluksiz signallarni diskretlash haqidagi teoremasi asosida aniqlanadi, bunda impulslarning takrorlanish chastotasi f_i modulyatsiyalovchi analog signalning maksimal chastotasi F_m dan kamida ikki barobar katta bo'lishi shart.

Turli parametrlari modulyatsiyalangan impulslar ketma-ketliklarining vaqt diagrammalari 4.8-rasmda keltirilgan.

1. **Impuls amplitudasi modulyatsiyasi (IAM)**, bunda impulslar ketma-ketligining amplitudalari uzatilayotgan xabarga mos ravishda o'zgaradi. Impulslar amplitudasi modulyatsiyasida impulsning amplitudasi quyidagicha o'zgaradi:

$$A(t) = A_0 + \Delta A[u(t)].$$

IAM signallar ikki xil bo'lishi mumkin:

a) birinchi tur IAM-I, bunda impulslarning oniy qiymatlari modulyatsiyalovchi xabarga mos ravishda o'zgaradi;

b) ikkinchi tur IAM-II, bunda impulslar amplitudasi uning davomiyligi τ_0 da o'zgarmas bo'lib, modulyatsiyalovchi signalning takt nuqtasidagi qiymatiga mos keladi (4.8v-rasm).

2. **Impuls davomiyligi modulyatsiyasi (IDM)**, bunda uzatilayotgan xabarga mos ravishda impulslarning davomiyligi (kengligi) τ_0 o'zgaradi. Impulslar davomiyligi modulyatsiyasida impulslarning kengligi quyidagicha o'zgaradi:

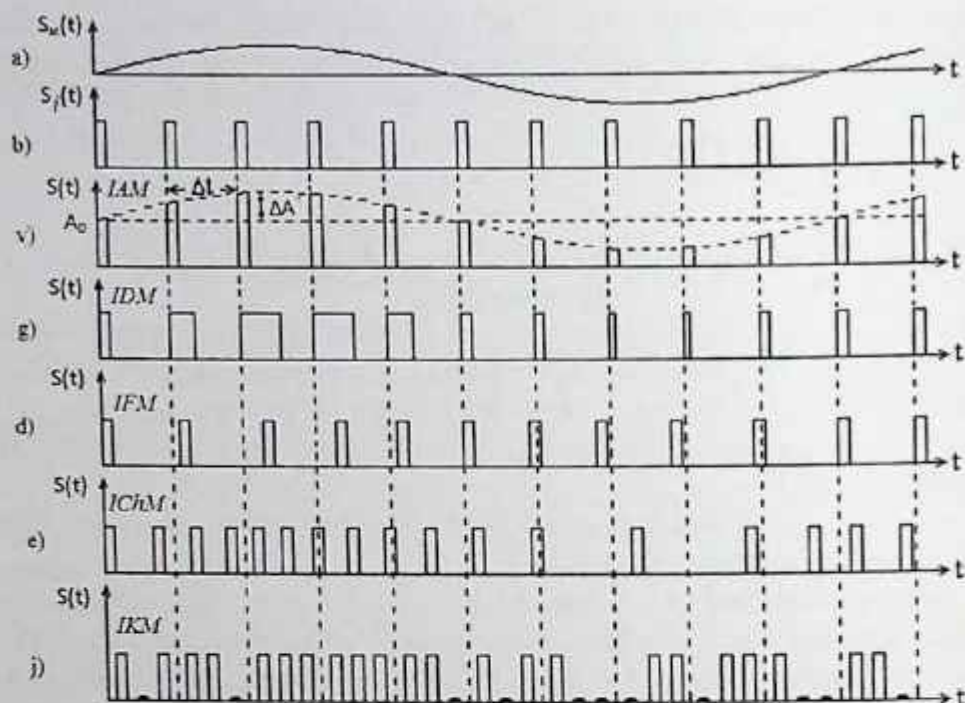
$$\tau_0(t) = \tau_0 + 2\Delta\tau_m[u(t)],$$

bunda, $\Delta\tau_m$ – impulsning bir tomonga maksimal kengayishi.

IDM ikki turli bo'lishi mumkin (4.8g-rasm):

a) impulsning takt chizig'iga nisbatan faqat bir tomonga – orqa tomonga $\Delta\tau(t)$ ga uzatilayotgan xabar signalining amplitudasiga mos ravishda kengayishi;

b) impulsning takt chizig'iga nisbatan har ikki tomonga uzatilyotgan xabar signalining amplitudasiga mos ravishda $\Delta\tau(t)$ ga kengayishi (old va orqa frontning bir hilda surilishi);



4.8-rasm. Turli parametrlari modulyatsiyalangan impulsar ketma-ketliklari vaqt diagrammalari

3. **Impulsar fazasi modulyatsiyasi** (IFM), bunda uzatilayotgan xabarga mos ravishda impulsning holati takt chizig'iga nisbatan chapga yoki o'ngga siljiydi (davomiyligi τ_0 o'zgarmas saqlanib qoladi, 4.8d-rasm). Impulsar fazasi modulyatsiyalanganda uning fazasi (boshlang'ich holati) takt chizig'iga kT_i nisbatan oldiga yoki orqaga siljiydi, ya'ni

$$t_k = \theta(t) = kT_i + \Delta\tau_m[u(t)].$$

4. **Impulsar chastotasi modulyatsiyasi** (ICHM), bunda impulsning takrorlanish chastotasi modulyatsiyalovchi xabar signalining amplitudasiga mos ravishda $\pm\Delta f_i$ ga o'zgaradi (4.8e-rasm). Impulsar chastotasi modulyatsiyalanganda ularning takrorlanish chastotasi $u(t)$ xabarga mos ravishda kattalashadi va kichiklashadi.

$$f_T = f_i + \Delta f_i[u(t)].$$

IFM va ICHM signallarni umumlashtirgan holda vaqt bo'yicha modulyatsiyalangan impuls – impuls vaqt modulyatsiyasi (IVM) deb ataladi.

5. **Impuls kod modulyatsiyasi** (IKM), bunda birlamchi analog xabar (signal) diskretlash va kvantlash natijasida raqamli kodlangan diskret

xabarga aylantiriladi va har bir takt chizig'i vaqti oralig'ida ushbu kodlar kombinatsiyasiga mos keluvchi "1" va "0" elementar signallar ketma-ketligi shakllantiriladi. Ushbu kodlar ketma-ketligining impulslari yuqori chastotali garmonik tebranish signalining asosiy parametrlaridan birini modulyatsiyalashi natijasida: IKM-AM, IKM-ChM, IKM-NFM signallar shakllantiriladi.

Impuls amplitudasi modulyatsiyalangan signal spektri.

To'rtburchak shaklidagi videoimpulslar ketma-ketligini past chastotali bir tonli signal $u(t) = U_m \cos \Omega t$ bilan IAM-I signal spektrini aniqlaymiz. Modulyatsiyalovchi xabar signali $u(t) = 0$ bo'lgan holat uchun videoimpulslar ketma-ketligi spektri quyidagilardan tashkil topgan bo'ladi.

$$s(t) = \frac{A_0 \tau_i}{T} \left[1 + 2 \sum_{k=1}^{\infty} \frac{\sin(k\omega_1 \tau_i/2)}{k\omega_1 \tau_i/2} \cos k\omega_1 t \right], \quad (4.37)$$

bunda, A_0 , T , $\omega_1 = 2\pi/T$, τ_i – amplituda, impulslarning takrorlanish davri, chastotasi va davomiyligi.

Impulslar ketma-ketligi amplituda modulyatsiyasi natijasida quyidagi qonuniyat bo'yicha o'zgaradi:

$$u(t) = A_0(1 + m \cos \Omega t), \quad m = \frac{kU_m}{A_0}.$$

Bu holda

$$s(t) = A_0 [1 + m \cos \Omega t] \frac{\tau_i}{T} \left[1 + 2 \sum_{k=1}^{\infty} \frac{\sin(k\omega_1 \tau_i/2)}{k\omega_1 \tau_i/2} \cos k\omega_1 t \right], \quad (4.38)$$

Uncha murakkab bo'lmagan trigonometrik o'zgartirishlardan so'ng IAM signal uchun quyidagi ifodani olamiz:

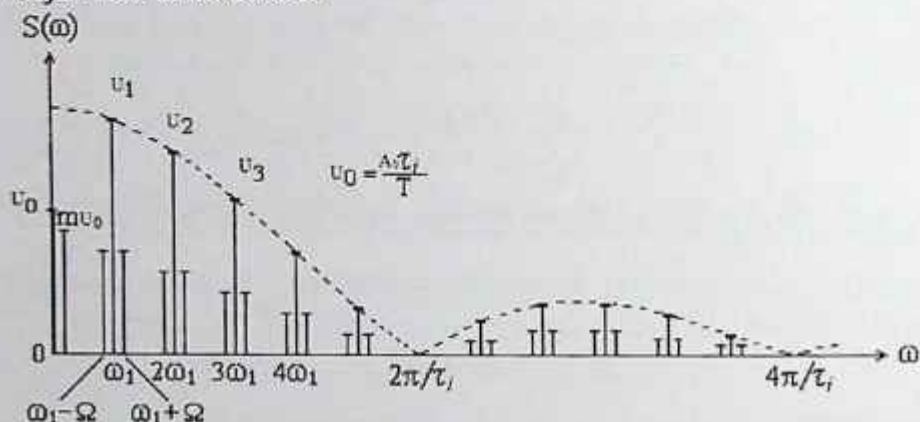
$$s(t) = A_0 \frac{\tau_i}{T} \left[1 + 2 \sum_{k=1}^{\infty} \frac{\sin(k\omega_1 \tau_i/2)}{k\omega_1 \tau_i/2} \cos k\omega_1 t \right] + mA_0 \frac{\tau_i}{T} \cos \Omega t + mA_0 \frac{\tau_i}{T} \sum_{k=1}^{\infty} \frac{\sin(k\omega_1 \tau_i/2)}{k\omega_1 \tau_i/2} \cos k\omega_1 t [\cos(k\omega_1 + \Omega)t + \cos(k\omega_1 - \Omega)t]. \quad (4.39)$$

(4.38) va (4.39) ifodalarni bir tonli xabar signali $u(t) = U_m \cos \Omega t$ bilan modulyatsiyalash natijasida olingan IAM signal spektri oddiy modulyatsiyalanmagan impulslar spektridan quyidagilar bilan farqlanadi:

- modulyatsiyalovchi signal chastotasi Ω ga teng tashkil etuvchisining borligi bilan;

- modulyatsiyalanmagan impulslar ketma-ketligi spektrining har bir tashkil etuvchisi yonida $k\omega_1 \pm \Omega$ chastotali yon tashkil etuvchilari borligi bilan (4.9-rasm).

Agar impulslar ketma-ketligi murakkab shakldagi (davriy bo'lmagan) xabar signali bilan modulyatsiyalansa, u holda yuqori chastotali yon spektr tashkil etuvchilarining soni va past chastotali spektr tashkil etuvchilarining soni ko'payadi. Ushbu IAM signal spektrida past chastotali (Ω) tashkil etuvchining borligi, uning detektorlanishini past chastotalar filtri yordamida amalga oshirish imkoniyatini beradi. Past chastotaga eng yaqin bo'lgan IAM signal spektri tashkil etuvchisining chastotasi $k\omega_1 - \Omega$ ga teng bo'lib, past chastotali tashkil etuvchilarni ajratib olishni osonlashtirish uchun $\omega_1 > 2\Omega$ sharti bajarilishi talab etiladi.



4.9-rasm. IAM signal spektri

Boshqa tur impuls modulyatsiyasi signallarining spektrlari ham IAM signal spektri kabi aniqlanadi. Bunda modulyatsiyalanmagan impuls spektri ifodasidagi tegishli o'zgaruvchining modulyatsiyalanadigan parametrini modulyatsiyalovchi $u(t)$ ga mos ravishda o'zgartirish va uni tashkil etuvchilarga yoyish kerak bo'ladi [17].

4.4.3. Raqamli modulyatsiyalangan signallar

Zamonaviy axborot uzatish tizimlarida qo'llanilishga mo'ljallangan signallarni shakllantirishning boshqa bir usullari ham mavjud. Hozirgi vaqtda muhim istiqbolli signallar raqamli signallar hisoblanadi.

Boshqaruvchi, ya'ni modulyatsiyalovchi signalning diskret o'zgari-shida tashuvchi signalning modulyatsiyalovchi parametri sakrab o'zgaradi. Bunday holatda "modulyatsiya" atamasi o'rnida "manipulyatsiya" atamasi qo'llaniladi, modulyatsiyalangan signal esa **manipulyatsiyalangan** deb ataladi. Xususiyl holda manipulyatsiya bu tashuvchi tebranishni to'g'ri to'rtburchak shaklidagi doimiy tok posilkalari bilan modulyatsiyalashdir. Diskret manipulyatsiyalovchi signal unipolyar yoki bipolyar to'g'ri to'rtbur-

chak impulslari shaklida bo'lishi mumkin. Ikkita mumkin bo'lgan holatni ta'riflash uchun "posilka" va "pauza" atamalari qo'llaniladi. Ushbu holatlar odatda +1 va -1 yoki 1 va 0 simvollarini orqali belgilanadi.

Raqamli modulyatsiya turlari kodlangan xabarlarini diskret shaklda uzatish uchun qo'llaniladi. Raqamli modulyatsiyaning mohiyati shundan iboratki, bunda uzatiluvchi uzluksiz signal vaqt bo'yicha diskretlanadi, sath bo'yicha kvantlanadi va oniy qiymatlar kodlar kombinatsiyasiga aylantiriladi. Hosil bo'lgan kod videosignallari ketma-ketligi yuqori chastotali signal – tashuvchini modulyatsiyalaydi [16].

Raqamli modulyatsiya usullarining **afzalliklari** sifatida quyidagilarni keltirish mumkin:

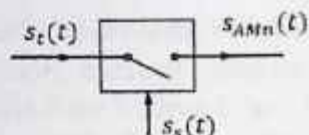
- apparatura xarakteristikasi noidealligi va nobarqarorligining axborot uzatish sifatiga kichik ta'siri;
- hattoki nobarqaror xarakteristikali va katta sathli shovqinga ega bo'lgan kanallardan foydalanilganda ham yuqori xalaqitbardoshligi;
- aloqa tarmoqlari bog'lamalarida signallar regeneratsiyasi (qayta tiklash) ning imkoniyati, natijada juda uzoq liniyalar bo'yicha axborot uzatishda yuzaga keladigan xatoliklar (buzilishlar) to'planishi effekti susaytiriladi;
- turli xabarlar uchun signallarni (nutq, televizion tasvir, diskret ma'lumotlar, aloqa qurilmalari ishlashini boshqaruvchi komandalar va h.k.) ifodalashning universal shakli;
- ko'p kanalli tizimlarning guruh traktidagi noxiziqli buzilishlarga sezgirlikning pastligi;
- turli tizimlarning kompyuterlar va elektron avtomatik telefon stansiyalari bilan nisbatan sodda moslashuvi, bu aloqa tarmoqlarini qurishda muhim ahamiyatga ega;
- kompyuterlar yordamida signallarni uzatish va ularga ishlov berishni avtomatlashtirish imkoniyati va boshqalar.

Amplituda manipulyatsiyasi (ASK)

Tashuvchi tebranish amplitudasining diskret axborot (manipulyatsiyalovchi) signali amplitudasining o'zgarishiga mos ravishda o'zgarishi **amplituda manipulyatsiyasi (AMn)** deb ataladi. Ushbu modulyatsiya turi xorijiy adabiyotlarda **Amplitude Shift Keying (ASK)** deb yuritiladi.

AMn signalni hosil qilish strukturaviy sxemasini kirishiga tashuvchi signal $s_t(t)$ berilgan, birlamchi signal $s_s(t)$ bilan boshqariluvchi kalit sifatida tasavvur etish mumkin (4.10-rasm).

4.10-rasm. Amplituda modulyatorining strukturaviy sxemasi



Bunda birlamchi signalni Fyurje qatorining kesimi shaklida deb tasavvur etish mumkin (4.11a-rasm):

$$s_s(t) = \sum_{k=1}^{\infty} A_k \cos(\Omega_k t + \varphi_k), \quad (4.40)$$

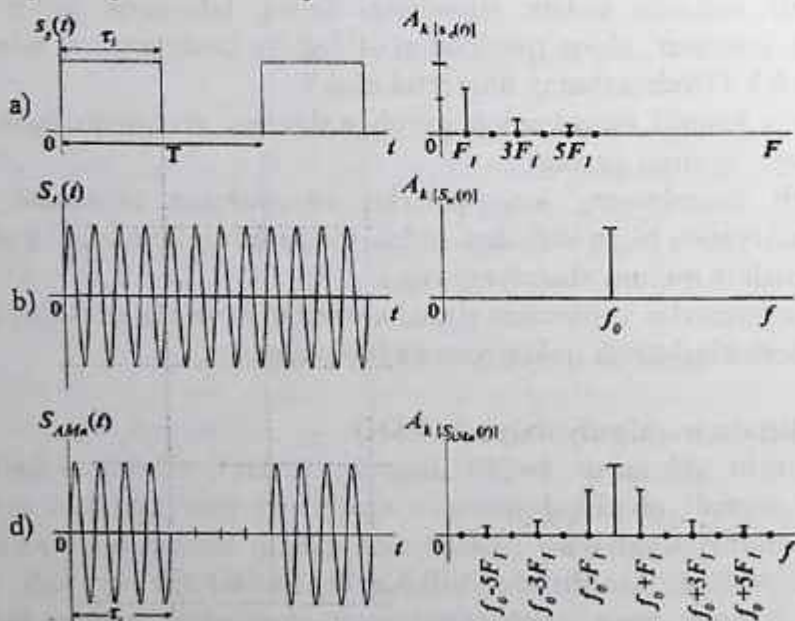
tashuvchi signal esa (4.11b-rasm):

$$s_t(t) = A_0 \cos(\omega_0 t + \varphi_0). \quad (4.41)$$

AMn signal to'g'ri to'rtburchaksimon og'uvchili radioimpulslar ketma-ketligi ko'rinishiga ega bo'ladi (4.11d-rasm). Kod kombinatsiyasi simvollariga mos keluvchi (1 va 0 yoki +1 va -1) τ_i davomiylikli impulslar modulyatsiya natijasida quyidagi ko'rinishga ega bo'ladi:

$$s_{AMn}(t) = \frac{1}{2} A_0 [1 + x(t)] \cos(\omega_0 t + \varphi_0), \quad (4.42)$$

bunda, $x(t)$ – $s_s(t)$ signalning o'zgarish qonuniga mos keluvchi va ± 1 qiymatni qabul qiluvchi funksiya.



4.11-rasm. AMn signalni shakllantirish jarayoniga oid: a) – birlamchi signal; b) – tashuvchi signal hamda d) – AMn signallarning vaqt va spektr diagrammalari.

AMn signalning spektr tashkil etuvchilarini aniqlash 4.4.1-bo'limda keltirilgan. Davriy signallar uchun spektr diskret, tasodifiy kod simvollari (nodavriy signallar) uchun spektr uzluksiz ko'rinishga ega bo'ladi. AMn signalning spektr kengligi $\Delta F = 2k\Omega_1$ ga teng bo'lib, bunda k – e'tiborga olinuvchi garmonika raqami; Ω_1 – axborot signali birinchi garmonikasining chastotasi.

Real kanallarda spektr kengligini aniqlashda uchinchi yoki beshinchi garmonika olinadi, masalan $V = 50$ Bodga teng tezlik bilan raqamli signalni uzatish uchun spektr kengligi $\Delta F = 2 \cdot 5 \cdot \Omega_1 = 5V = 250$ Hz talab etiladi.

Hozirda AMn past tezlikli axborot uzatish tizimlarida, vaqt bo'yicha ajratishli ko'p kanalli tizimlarda, radiolokatsiya tizimlarida va shuningdek bir qator optik aloqa tizimlarida qo'llaniladi.

Ikkilik faza manipulyatsiyasi (BPSK).

Faza manipulyatsiyasining ikki turi farqlanadi: faza manipulyatsiyasi (FMn) va nisbiy faza manipulyatsiyasi (NFMn). Faza manipulyatsiyasi (inglizcha Phase Shift Keying – PSK) da mantiqiy nol va birni uzatish uchun amplitudasi va chastotasi bir xil bo'lgan, ammo fazasi bir-biriga nisbatan siljigan signallardan foydalaniladi. Agar faza o'zgarishlari faqatgina ikkita qiymatni qabul qilsa, u holda ikkilik faza manipulyatsiyasi deb yuritiladi.

Ikkilik (binar) faza manipulyatsiyasi (binar FMn, inglizcha Binary Phase Shift Keying – BPSK) da tashuvchi tebranishning faza o'zgarishi birlamchi signalning ma'lum vaqtlarida 0° yoki 180° ga sakrash bilan xarakterlanadi, va ayni vaqtda tashuvchining amplitudasi hamda chastotasi o'zgarmasdan saqlanadi.

Mantiqiy nolga mos bo'lgan matematik signalni $s_0(t) = A \sin(2\pi ft)$ ko'rinishida, mantiqiy birga mos bo'lgan signalni esa $s_1(t) = A \sin(2\pi ft + \pi) = -A \sin(2\pi ft)$ ko'rinishida ifodalash mumkin. U holda modulyatsiyalangan BPSK signalni quyidagicha yozish mumkin

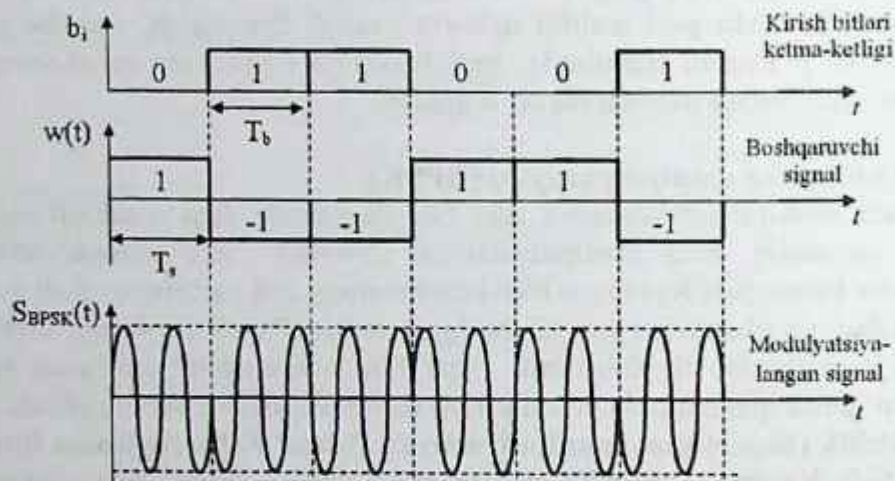
$$s_{BPSK}(t) = AV(t) \sin(2\pi ft), \quad (4.43)$$

bunda, $V(t) = +1$ va -1 qiymatni qabul qiluvchi boshqaruvchi signal bo'lib, $+1$ qiymatli signal mantiqiy nolga, -1 qiymatli signal mantiqiy birga mos keladi.

BPSK signalni shakllantirish vaqt diagrammalari 4.12-rasmda keltirilgan.

Shunday qilib, har bir posilka bitta ikkilik simvolni uzatadi va qayd qilingan $T_s = T_b$ davomiylilikda BPSK signal eng katta xalaqitbardoshlikka ega signal hisoblanadi, chunki 0 va π fazali impulslar qarama-qarshi, ya'ni maksimal uzoq signallar hisoblanadi. Chastota resursidan foydalanish

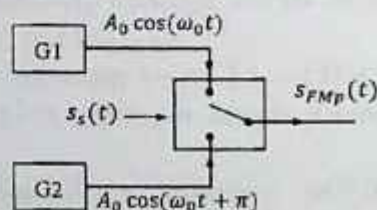
jihatidan esa BPSK eng samarasiz hisoblanadi, chunki BPSK signalning spektri modulyatsiyalovchi to'g'ri to'rtburchakli signalning spektri kabi bo'lib, chastota oshgan sari $1/f^2$ ga proporsional ravishda kamayib boradi. Agar aloqa texnikasi uchun radiospektrdan foydalanishni reglamentlashda amalga oshiriladigan mezon asosida tasniflanadigan bo'lsa, ya'ni signal spektrining 99% kenligi o'lchanadigan bo'lsa, BPSK signal uchun ushbu o'lcham an'anaviy mo'ljal $1/\Delta$ dan bir necha marta $\Delta f_{99} \approx 18,5/\Delta$ katta bo'ladi.



4.12-rasm. BPSK signalni shakllantirish vaqt diagrammalari

BPSK signalni hosil qiluvchi modulyatorning strukturaviy sxemasini kirishi turli fazalarga ega ikkita alohida tebranishlar manbai (generatorlar) dan iborat bo'lgan, chiqishi axborot signali bilan boshqariluvchi kalit sifatida tasavvur etish mumkin.

4.13-rasm. BPSK signalni hosil qiluvchi modulyatorning strukturaviy sxemasi



Hozirda ikki holatli (binar) va ko'p holatli faza manipulyatsiyasining bir qancha variantlari ishlab chiqilgan bo'lib, axborot uzatish tizimlarida ikkita holatli, to'rtta holatli va sakkizta holatli fazasi manipulyatsiyalangan

signallardan nisbatan ko'proq foydalaniladi. Ushbu signallar yuqori xalaqitbardoshlikni ta'minlaydi.

Kvadraturali faza manipulyatsiyasi (QPSK).

Raqamli faza modulyatsiyasining spektral samaradorligini oshirishga mo'ljallangan bir nechta usullar mavjud. Ularning ichida eng soddasi bu to'g'ri to'rtburchakli posilkalar davomiyligi T_b ni kengaytirish hisoblanadi. BPSK da bitta bit $T_s = T_b$ vaqt davomida uzatiladi, demak $R = 1/T_b$. Ushbu tezlikni saqlab qolish uchun posilkanı "kengaytirish" jarayonida fazalar φ_i larning qabul qilishi mumkin bo'lgan qiymatlarining sonini ko'paytirish kerak bo'ladi. Posilka davomiyligi ikki marta $T_s = 2T_b$ kengaytirilsa T_s vaqt davomida 2 bit axborotni uzatish mumkin bo'ladi, ya'ni faza qiymatlarining ikkitasi o'rniga to'rttasidan foydalanish, masalan 0, 90, 180 va 270° lar hisobiga 4 ta turlicha xabarlarini uzatish mumkin. Manipulyatsiyaning bunday usuli **kvadraturali faza manipulyatsiyasi (KFMn, inglizcha Quadrature Phase Shift Keying – QPSK)** deb ataladi.

Ushbu atamaning ma'nosini tushunish uchun faza bo'yicha modulyatsiyalangan signalning umumiy ko'rinishidan foydalanamiz

$$s(t) = A \sin(2\pi f t + \varphi(t)), \quad (4.44)$$

Sodda trigonometrik formulalardan foydalanib, ushbu ifodani quyidagi ko'rinishga keltiramiz

$$s(t) = A \cos(2\pi f t) \sin \varphi(t) + A \sin(2\pi f t) \cos \varphi(t). \quad (4.45)$$

Hosil qilingan ifodadan ko'rinadiki, berilgan signalni bir-biriga nisbatan faza bo'yicha 90° ga siljigan ikkita garmonik tashkil etuvchilarning yig'indisi sifatida ifodalash mumkin, chunki

$$\cos(2\pi f t) = \sin(2\pi f t + \pi/2).$$

Modulyatsiyani amalga oshiruvchi qurilmada ushbu tashkil etuvchilarning bittasi generator signaliga sinfaz, ikkinchisi esa ushbu signalga nisbatan kvadraturada bo'ladi (kvadraturali modulyatsiya tushunchasi ana shundan). Sinfaz tashkil etuvchi I (In Phase) deb, kvadraturali tashkil etuvchi esa Q (Quadrature) deb belgilanadi. Yuqoridagi signalni quyidagicha o'zgartirib yozish mumkin

$$s(t) = A \cos(2\pi f t + \varphi) = \frac{A}{\sqrt{2}} \cos\left(2\pi f t + \frac{\pi}{4}\right) (\cos \varphi + \sin \varphi) + \frac{A}{\sqrt{2}} \sin\left(2\pi f t + \frac{\pi}{4}\right) (\cos \varphi - \sin \varphi). \quad (4.46)$$

Agar $d_I = \cos \varphi + \sin \varphi$; $d_Q = \cos \varphi - \sin \varphi$ belgilanishlarni kiritsak, u holda signalning quyidagi ko'rinishiga ega bo'lamiz

$$s_{QPSK}(t) = \frac{A}{\sqrt{2}} d_I \cos\left(2\pi f t + \frac{\pi}{4}\right) + \frac{A}{\sqrt{2}} d_Q \sin\left(2\pi f t + \frac{\pi}{4}\right), \quad (4.47)$$

$$I = \frac{A}{\sqrt{2}} d_I \cos\left(2\pi f t + \frac{\pi}{4}\right); \quad Q = \frac{A}{\sqrt{2}} d_Q \sin\left(2\pi f t + \frac{\pi}{4}\right).$$

Kodlovchi d_I va d_Q signallar $+1$ va -1 qiymatlarni qabul qilishi mumkin, $d_I = \cos \varphi + \sin \varphi$ va $d_Q = \cos \varphi - \sin \varphi$ larni e'tiborga olib, 4.2-jadvalda keltirilgan kodlovchi signal bilan faza siljishlari orasidagi bog'liqlikni keltirib chiqaramiz.

4.2-jadval

QPSK modulyasiyasida kodlovchi signal bilan faza siljishlari orasidagi bog'liqlik

Signal fazasi	d_I	d_Q
0°	$+1$	$+1$
90°	$+1$	-1
180°	-1	-1
270°	-1	$+1$

$+1$ kodlovchi bitga mantiqiy nol, -1 bitga mantiqiy bir mos kelishini hamda signal fazasi va d_I va d_Q qiymatlar orasidagi bog'liqlikni e'tiborga olib, modulyatsiyalangan QPSK signalning kirish dibitlari va fazalari orasidagi munosabatni keltirib chiqaramiz (4.3-jadval).

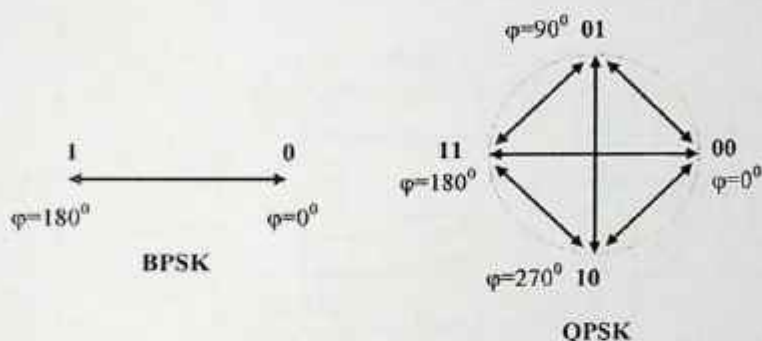
4.3-jadval

QPSK signalning kirish dibitlari va fazalari orasidagi bog'liqlik

Signal fazasi	d_I	d_Q	Kirish dibiti
0°	$+1$	$+1$	00
90°	$+1$	-1	01
180°	-1	-1	11
270°	-1	$+1$	10

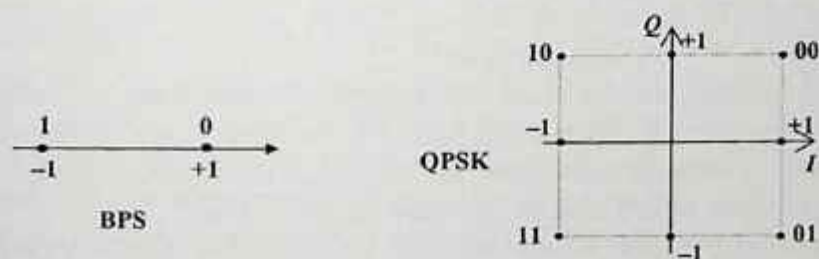
Signalning mumkin bo'lgan diskret holatlarini vektor diagrammada tasvirlash mumkin. Holatlar vektor diagrammasidan foydalanilganda signalning har bir qiymatiga mos vektor qo'yiladi, bunda vektorning uzunligi – bu signalning shartli amplitudasi, vektorning gorizontal o'qqa nisbatan aylanish burchagi esa – bu signal fazasiga to'g'ri keladi. Ya'ni vektor diagrammasi bu koordinatalar sistemasida holatlar vektorini tasvirlashdir. Ikkilik va kvadraturali faza manipulyatsiyasining holatlar diagrammasi 4.14-rasmda keltirilgan.

Signalning turli holatlarini tasvirlashning nisbatan keng tarqalgan usuli bu signal yulduzchalar turkumi hisoblanadi. *Signal yulduzchalar turkumi* bu absissa o'qi bo'ylab kodlovchi signalning d_I qiymatlari (I o'q), ordinata o'qi bo'ylab kodlovchi signalning d_Q qiymatlari (Q o'q) joylashtiriladigan dekart koordinatalar tizimi hisoblanadi.



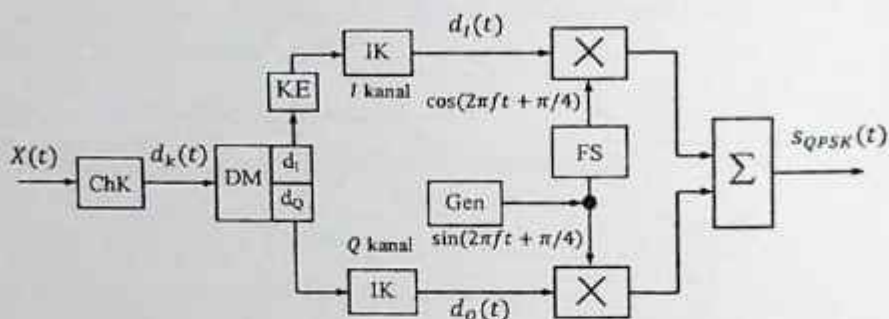
4.14-rasm. BPSK va QPSK modulyatsiyasi uchun holatlar vektor diagrammasi

Ikkilik faza manipulyatsiyasida tekislik to'g'ri chiziqqa aylanadi, va bu to'g'ri chiziq bo'ylab kodlovchi signal d_k ning qiymatlari joylashtiriladi. Bunday holda signal yulduzchalar turkumida $+1$ va -1 kodlovchi bitlar qiymatlariga mos ikkita nuqta joylashadi. Ushbu ikki nuqta signalning barcha mumkin bo'lgan holatlariga mos keladi. QPSK modulyatsiyasida signal yulduzchalar turkumi to'rtta: $(+1, +1)$, $(+1, -1)$, $(-1, +1)$, $(-1, -1)$ koordinatali nuqtalardan iborat bo'ladi. Ushbu to'rtta nuqta to'rtta mumkin bo'lgan dibitlarga mos keladi va signalning barcha mumkin bo'lgan holatlarini aks ettiradi (4.15-rasm).



4.15-rasm. BPSK va QPSK modulyatsiyasi uchun signal yulduzchalar turkumi

QPSK signalni shakllantiruvchi qurilmaning strukturaviy sxemasi 4.16-rasmda keltirilgan. Kvadraturali faza manipulyatsiyasini amalga oshirishda kirish bitlar oqimi kodlovchi ketma-ketlik $\{d_k(t)\}$ ga aylantiriladi, bunda mantiqiy nolga +1 kodlovchi bit, mantiqiy birga esa -1 kodlovchi bit to'g'ri keladi. Shundan so'ng kodlovchi bitlar ketma-ketligi toq va juft bitlar ketma-ketligiga ajratiladi.

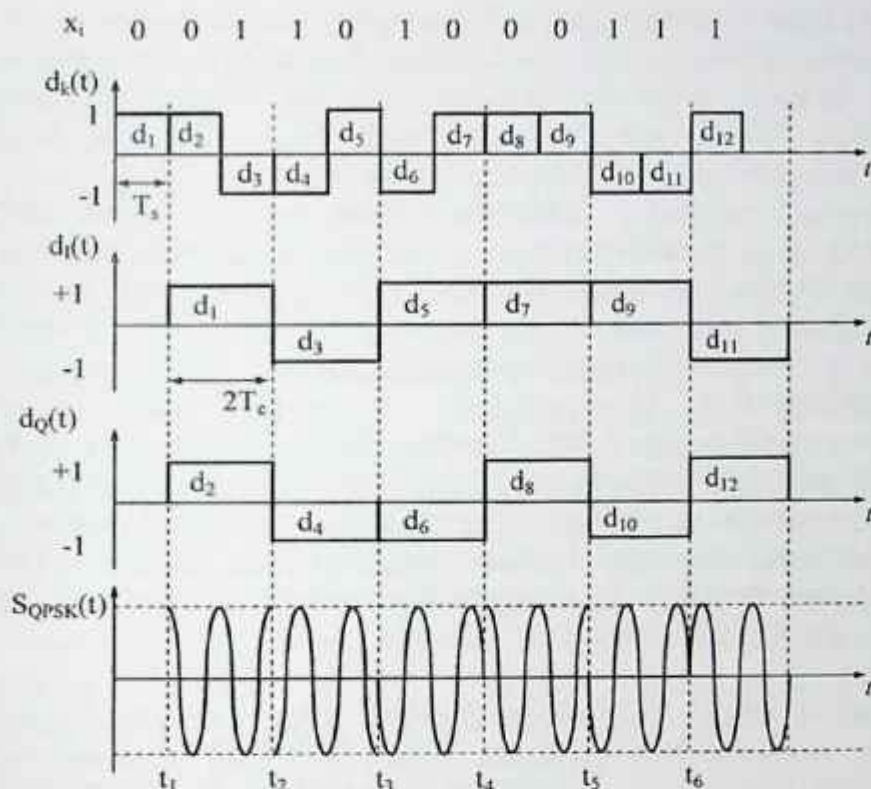


4.16-rasm. QPSK modulyatorining strukturaviy sxemasi

Toq bitlar sinfaz kanalga, juft bitlar esa kvadraturali kanalga beriladi. Toq raqamli impulslar sinfaz tarmoqda kechiktirish elementi (KE) yordamida T_s vaqtga kechiktiriladi. Har bir nimketma-ketlikdagi bitlar davomiyligi impulslar kengaytirgichi (IK) yordamida $2T_s$ gacha kengaytiriladi, ya'ni har bir d_I va d_Q boshqaruvchi bitning davomiyligi kirish biti d_k davomiyligidan ikki marta katta bo'ladi. d_I boshqaruvchi bitlar $\cos(2\pi ft + \frac{\pi}{4})$ signalni faza bo'yicha modulyatsiyalaydi, d_Q boshqaruvchi bitlar esa ortogonal (faza bo'yicha 90° ga siljigan), ya'ni $\sin(2\pi ft + \frac{\pi}{4})$ signalni faza bo'yicha modulyatsiyalaydi. Ana shundan so'ng ikkita signal qo'shiladi va modulyatsiyalangan QPSK signal hosil bo'ladi. QPSK signalni shakllantirish vaqt diagrammalari 4.17-rasmda keltirilgan.

Yuqorida keltirilgan kvadraturali faza manipulyatsiyasining sxemasida natijaviy signalning fazasi faqatgina har $2T$ sekunddagina o'zgarishi mumkin. Kvadraturali faza manipulyatsiyasining farqli tomoni turli fazalarga mos keluvchi signalning to'rtta diskret holatlari mavjudligidir.

Bu bitta diskret holatda ikkita axborot bitlari (dibit deb ataluvchi) ketma-ketligini kodlash imkoniyatidir. Haqiqatdan ham, ikkita bit ketma-ketligi hammasi bo'lib to'rtta turli kombinatsiyaga ega bo'lishi mumkin: 00, 01, 10 va 11. Natijada axborot uzatish tezligi ikki marta oshadi [35].



4.17-rasm. QPSK signalni shakllantirish vaqt diagrammalari

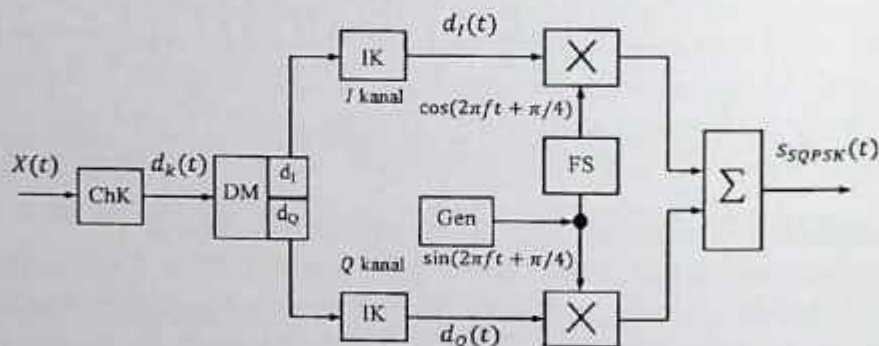
Siljishli kvadraturali faza manipulyatsiyasi (SQPSK).

QPSK modulyatsiyasida toq va juft impulslar $1/2T$ bit/s tezlik bilan uzatiladi, bunda ularning o'tishlari 4.17-rasmda keltirilganidek sinxronizatsiyalangan bo'ladi. Standart QPSK modulyatsiyasida d_I va d_Q larning sinxronizatsiyasi hisobiga $2T$ vaqt oralig'ida tashuvchining fazasi faqat bir marta o'zgarishi mumkin. d_I va d_Q larning qiymatlariga bog'liq holda har qanday $2T$ vaqt oralig'ida tashuvchining fazasi 4.17-rasmda keltirilganidek to'rtta qiymatdan birini qabul qilishi mumkin. Navbatdagi $2T$ vaqt oralig'ida tashuvchining fazasi o'zgarmasdan saqlanadi, agar oqimlar impulsaridan birining belgisi o'zgarmasa. Agar oqimlar impulsaridan birining belgisi o'zgarsa, $\pm 90^\circ$ faza siljishi yuz beradi. Ikkala oqimlardagi impulsar belgilarining o'zgarishi 180° faza siljishiga olib keladi. Oddiy ikkilik faza manipulyatsiyasida kuzatiladigan fazaning bunday sakrashlari QPSK signal og'uvchisining parazit amplituda modulyatsiyasini keltirib chiqaradi. Agar QPSK modulyatsiyalangan signal spektrning ikkilamchi maksimumlarini

kamaytirish uchun filtrlanadigan bo'lsa natijaviy signal doimiy og'uvchili signal bo'lmay qoladi, va 180° ga tasodifiy faza siljishi og'uvchini nolga aylantirib qo'yishi mumkin. Signalning bunday o'zgarishi maqsadga muvofiq emas, chunki yon polosalar energiyasining oshishiga va aloqa kanalidagi xalaqitlarning kattalashishiga olib keladi.

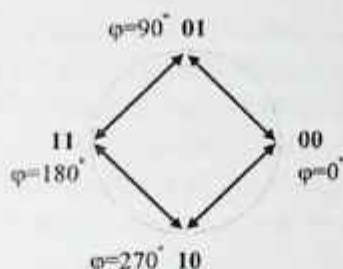
Yuqoridagi nomaqbul hodisadan xalos bo'lish uchun siljishli kvadraturali faza manipulyatsiyasi (inglizcha **Staggered Quadrature Phase Sift Keying – SQPSK**) deb nomlangan modulyatsiya turi ishlab chiqilgan. Signalni shakllantirishning bunday usuli QPSK signalni shakllantirish usuliga o'xshash, ammo kvadraturali kanalda nimketma-ketlik T_s vaqtga kechiktiriladi.

Ushbu usulni amalga oshirish uchun QPSK signalni shakllantirish strukturaviy sxemasiga (4.16-rasm) muhim bo'lmagan o'zgartirish kiritish yetarli, ya'ni sinfaz tarmoqdagi T_s vaqtga kechiktirish elementini olib tashlash kerak (4.18-rasm). Bunday o'zgartirish kanal simvollarining kvadraturali nimketma-ketligini sinfaz nimketma-ketlikka nisbatan T_s vaqtga kechiktirish amaliga to'g'ri keladi.



4.18-rasm. *SQPSK modulyatorining strukturaviy sxemasi*

SQPSK modulyatsiyasida $d_I(t)$ va $d_Q(t)$ impulsar oqimi ajratilgan bo'lib, natijada impulsar bir vaqtda holatini o'zgartira olmaydi. Tashuvchi fazasini 180° ga o'zgartira olmaydi, chunki bir marta o'tishni faqat komponentlardan biri o'zgartirishi mumkin. Natijada fazaning 180° ga sakrashi yuz bermaydi, chunki modulyatorning sinfaz yoki kvadraturali kanali kirishiga keluvchi ketma-ketlikning har bir elementi fazaning 0° , 90° , yoki 270° (-90°) ga o'zgartirishi mumkin. SQPSK modulyatsiyasi uchun holatlar diagrammasi 4.19-rasmda keltirilgan.



4.19-rasm. SQPSK modulyatsiyasi uchun holatlar vektor diagrammasi

Kvadraturali amplituda modulyatsiyasi (QAM).

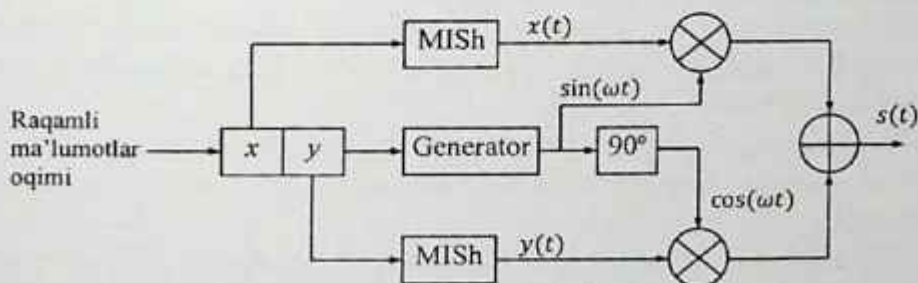
Kvadraturali amplituda modulyatsiyasi (KAM, inglizcha Quadrature Amplitude Modulation – QAM) da tashuvchi signalning ham amplitudasi ham fazasi o'zgaradi. Bu vaqt birligida kodlanuvchi bitlar sonini oshirishga imkon beradi va shu bilan birga aloqa kanali bo'yicha uzatishda xalaqitbardoshligini oshiradi. Hozirgi vaqtda bitta bod oralig'ida kodlanuvchi axborot bitlarining soni 8...9 taga, signal holatlarining (nollar va birlar kombinatsiyalari) soni signallar fazosida 216...512 taga yetishi mumkin.

Signallarni kvadraturali ko'rinishda tasvirlash ularni ifodalashning qulay va yetarlicha universal vositasi hisoblanadi. Kvadraturali tasvirlash tebranishni ikkita ortogonal tashkil etuvchilar – sinusoida va kosinusoidalarning chiziqli kombinatsiyasi shaklida ifodalashdan iborat:

$$s(t) = x(t) \sin(\omega t + \varphi) + y(t) \cos(\omega t + \varphi), \quad (4.48)$$

bunda, $x(t)$ va $y(t)$ – bipolyar diskret qiymatlar.

Kvadraturali modulyatorning ishlash prinsipini to'rtta fazali FMn signalni shakllantirish sxemasi misolida tushuntiramiz (4.20-rasm.)



4.20-rasm. Kvadraturali modulyator sxemasi

Davomiyligi T bo'lgan ikkilik kirish simvollar ketma-ketligi surish registri yordamida juft (x) va toq (y) impulsarga ajratiladi va ushbu

impulslar mos ravishda sinfaz ($\sin \omega t$) va kvadraturali ($\cos \omega t$) kanallarning modulyatsiyalovchi impulslarni shakllantirgich (MISH)lari kirishiga beriladi. MISHlar chiqishida $\pm U_m$ amplitudali va $2T$ davomiylikli bipolyar impulslar ketma-ketligi $x(t)$ va $y(t)$ lar shakllantiriladi. Ushbu impulslar ketma-ketligi kanallarning ko'paytiruvchi qurilmalari kirishiga beriladi va ular bir-biriga bog'liq bo'lmagan holda ikkita bir xil ammo faza bo'yicha 90° ga siljigan tebranishni amplituda bo'yicha modulyatsiyalaydi. Natijada ularning chiqishida ikki fazali $(0, \pi)$ FM tebranish hosil bo'ladi. Ularning yig'indisi FM-4 signalni yoki kvadraturali FM signalni (QPSK) hosil qiladi. Har bir kanalda amplituda manipulyatsiyasi amalga oshirilishi hisobiga ushbu modulyatsiya turi **kvadraturali amplituda manipulyatsiyasi** (ayrim chet el adabiyotlarida Quadrature Amplitude Shift Keying – QASK) deb ham yuritiladi.

Yuqoridagi usulda shakllantirilgan signallar bitta kanalda uzatiladi. Modomiki, ikkita signalni uzatish uchun bitta va faqat bitta fizik kanaldan foydalanilar ekan, KAM-4 signalni uzatish tezligi AMn signalga nisbatan 2 marta yuqori bo'ladi.

Kvadraturali amplituda modulyatsiyasida bir-biriga bog'liq bo'lmagan ikkita mantiqiy kanal shakllantiriladi, ya'ni birlik sathga bir kanalda birlik sath yoki boshqa kanalda nollik sath mos kelishi mumkin. Shuning hisobiga ikkita chiqish signali bitta fizik muhit orqali o'tishida bir-biriga ta'sir ko'rsatmaydi.

Har bir KAM signalning geometrik talqinini signallar fazosida vektor shaklida tasvirlash mumkin. Bunda vektorlarning ohirlari signal fazosida koordinatalari $x(t)$ va $y(t)$ ning qiymatlari orqali aniqlanuvchi signal nuqtalari shaklida tasvirlanadi. Ushbu nuqtalar to'plami **signal yulduzchalari turkumi** (signal constellation) deb ataladi.

Umumiy holda m amplitudali sathni qo'llab-quvvatlovchi tizimlar uchun har bir ikkilik simvollar oqimi uchun m^2 ta turli nol va birlar kombi-natsiyasini shakllantirish mumkin.

QAM-16 signalni shakllantirish prinsipini ko'rib chiqamiz.

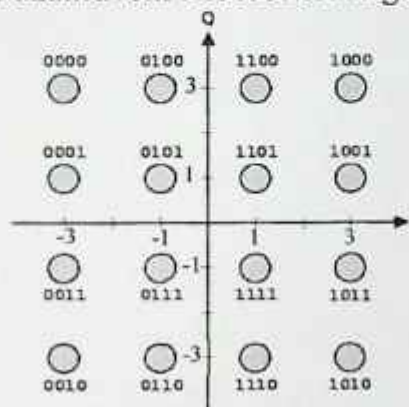
Kvadraturali amplituda modulyatsiyasida $s(t)$ signal quyidagicha ifodalanadi

$$s(t) = I \cos \omega_0 t + Q \sin \omega_0 t = K \cos(\omega_0 t + \theta), \quad (4.49)$$

$$K = \sqrt{I^2 + Q^2}, \quad \theta = \arctg \frac{Q}{I},$$

bunda, I va Q – modulyatsiyalovchi signalning sinfaz va kvadraturali tashkil etuvchilari.

QAM-16 da kirish ikkilik ketma-ketligi kvadrobittlarga ajratilishi lozim bo'lib, I -sinfaz va Q -kvadraturali tashkil etuvchilari $\pm 1, \pm 3$ qiymatlarni qabul qiladi. Bu holda 4.21-rasmdan ko'rinadiki, QAM-16 tizimning holatlar diagrammasi (signal yulduzchalari turkumi) 16 ta signal nuqtalaridan iborat bo'lib, har bir nuqta to'rtta uzatiluvchi axborot bitlariga mos keladi.



4.21-rasm. QAM-16 uchun signal yulduzchalari turkumi

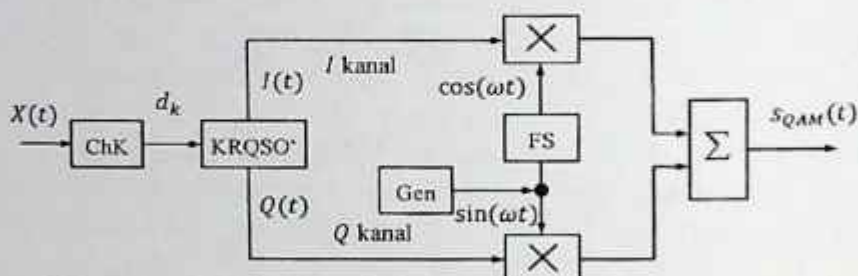
4.4-jadvalda kvadrobittlar va ularga mos modulyatsiyalovchi signalning sinfaz va kvadraturali tashkil etuvchilarining qiymatlari keltirilgan.

4.4-jadval

Kirish kvadrobittlari va modulyatsiyalovchi signal sinfaz va kvadraturali tashkil etuvchilarining qiymatlari orasidagi bog'liqlik

№	Kvadrobittlar	I	Q	K	θ , grad
1	0000	-3	3	4,243	-45
2	0001	-3	1	3,162	-18,43
3	0010	-3	-3	4,243	45
4	0011	-3	-1	3,162	18,43
5	0100	-1	3	3,162	-71,56
6	0101	-1	1	1,414	-45
7	0110	-1	-3	3,162	71,56
8	0111	-1	-1	1,414	45
9	1000	3	3	4,243	45
10	1001	3	1	3,162	18,43
11	1010	3	-3	4,243	-45
12	1011	3	-1	3,162	18,43
13	1100	1	3	3,162	71,56
14	1101	1	1	1,414	45
15	1110	1	-3	3,162	-71,56
16	1111	1	-1	3,162	-45

4.22-rasmda QAM-16 modulyatorining strukturaviy sxemasi keltirilgan. Kvadraturali amplituda modulyatsiyasini amalga oshirishda kirish bitlari oqimi $X(t)$ chiziqli koder (ChK) yordamida kodlovchi ketma-ketlik $\{d_k\}$ ga shunday aylantiriladiki, bunda mantiqiy nolga -1 kodlovchi bit, mantiqiy birga esa $+1$ kodlovchi bit mos keladi.



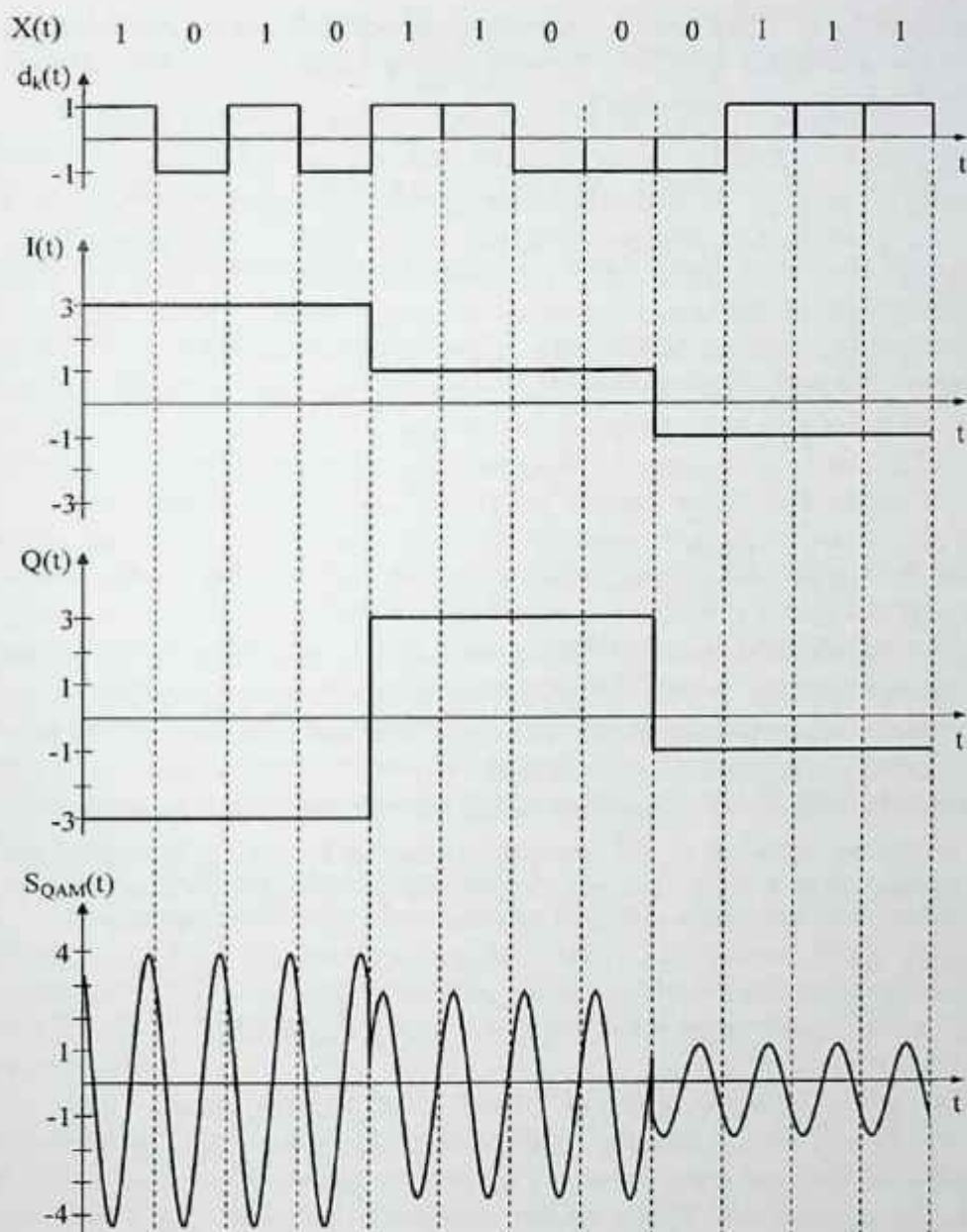
4.22-rasm. QAM-16 modulyatorining strukturaviy sxemasi

Hosil qilingan kirish ikkilik ketma-ketligi $\{d_k\}$ kirish raqamli signalini o'zgartirgich (KRQSO') yordamida modulyatsiyalovchi signalning sinfaz va kvadraturali tashkil etuvchilari $\pm 1, \pm 3$ qiymatlarni qabul qiluvchi kvadrobitlarga ajratiladi (4.23-rasm). Undan so'ng modulyatsiyalovchi signalning sinfaz va kvadraturali tashkil etuvchilari har biri o'zining ko'paytiruvchi qurilmasiga beriladi va kosinusoidal va sinusoidal tashuvchilarni modulyatsiyalaydi. Sinfaz va kvadraturali tarmoqlarda hosil bo'lgan modulyatsiyalangan signallar summatorga beriladi va natijada uning chiqishida QAM-16 signal hosil bo'ladi.

Amplituda-faza manipulyatsiyasi (APK).

Turli telekommunikatsiya kanallari orqali uzatiluvchi axborotlar oqimining oshib borishi signallarni shakllantirishning turli samarali usullarini topish va uni amalga oshirishga zaruriyat tug'diradi. Xususan, bunday usullarga ajratilgan chastotalar polosasidan oqilona foydalanish darajasini oshiruvchi ko'p holatli diskret faza manipulyatsiyasi, shuningdek kvadraturaviy amplituda modulyatsiyasi misol bo'la oladi.

Axborot uzatish samaradorligini oshirishning navbatdagi yo'nalishlaridan biri yuqorida ko'rsatilgan ikkita modulyatsiya usullarini birlashtirish, ya'ni amplituda-faza modulyatsiyasi (AFM) dan foydalanish hisoblanadi.



4.23-rasm. QAM-16 signalni shakllantirish vaqt diagrammalari

Amplituda-faza modulyatsiyasi (inglizcha **Amplitude Phase Keying** – **APK**) deb shunday garmonik modulyatsiya turiga aytiladiki, bunda natijaviy signal tashuvchi tebranish amplitudasi va fazasi o'zgarishining kombinatsiyasi asosida shakllantiriladi. AFM signallar avval ko'rib chiqilgan

signallar kabi bazis funksiyalar yordamida garmonik tebranishning kesimlari shaklida (ko'rinishida) beriladi. Xususiyl holda bazis funksiyalar sifatida quyidagi funksiyalar bo'lishi mumkin:

$$\Psi_1(t) = \sqrt{\frac{2E}{T}} \cos \omega t; \quad \Psi_2(t) = \sqrt{\frac{2E}{T}} \sin \omega t; \quad t \in [0, T],$$

bunda, $E = \|S\|^2 = \int_0^T S^2(t) dt$ – signal energiyasi; T – signal posilkasining davomiyligi.

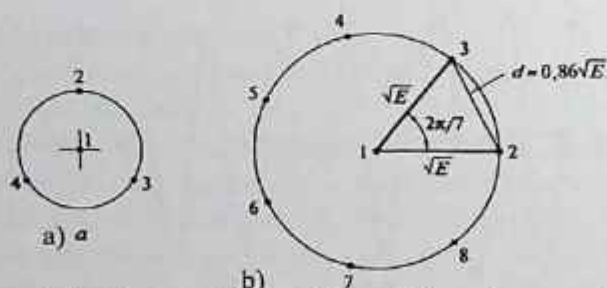
Sodda AFM signallardan biri sifatida to'rtta realizatsiyaga ega bo'lgan signalni keltirish mumkin, bunda bazif funksiyalar quyidagicha ifodalanadi:

$$S_1(t) = \sqrt{\frac{2E}{T}} \cos \omega t; \quad S_2(t) = \sqrt{\frac{2E}{T}} \cos(\omega t + 2\pi/3);$$

$$S_3(t) = \sqrt{\frac{2E}{T}} \cos(\omega t + 4\pi/3); \quad S_4(t) = 0.$$

4.24a-rasmda to'rt holatli AFM signal 1...4 ta nuqta orqali tasvirlangan bo'lib, undan uchitasi $R = \sqrt{E}$ radiusli aylanada teng taqsimlangan va to'rtinchisi esa ushbu aylana markazida (koordinatalar boshida) joylashgan. Ushbu signal (1,3) ko'rinishida belgilanadi.

Sakkiz holatli AFM signalning signal yulduzchalari turkumida tasviri 1...8 ta nuqtadan bittasi $R = \sqrt{E}$ radiusli aylana markazida, qolgan yettitasi esa aylanining o'zida teng (bir xil) oraliqlarda joylashgan bo'ladi (4.24b-rasm).



4.24-rasm. AFM signalni ikki o'lchamli fazoda nuqtalar orqali tasvirlanishi:
a) – AFM-4; b) – AFM-8.

Nuqtalar orasidagi masofani uchburchaklar uchun sinuslar teoremasidan foydalanib topish mumkin:

$$d = \frac{\sqrt{E} \sin(2\pi/7)}{\cos(\pi/7)} \approx 0,86\sqrt{E}. \quad (4.50)$$

Ushbu tuzilish sakkiz holatli diskret faza modulyatsiyalangan signalning tuzilishiga qaraganda samaraliroq hisoblanadi, sakkiz holatli DFM signal uchun signal nuqtalari orasidagi masofa $d = 0,765\sqrt{E}$ ga teng.

Shuning bilan birga AFM signallar muhim kamchilikka ham ega bo'lib, bu signallarning turli realizatsiyalari har xil energiya qiymatlariga ega bo'lishadi, bu esa AFM signallar demodulyatorining realizatsiyasini bir muncha murakkablashtiradi. Ammo ushbu kamchilikka qaramasdan bu signallar raqamli aloqa tizimlarida, xususan sun'iy yo'ldoshli tizimlarda qo'llaniladi, chunki DFM signallar holatligining soni oshishi bilan AFM signallarga nisbatan samaradorligi pasayadi.

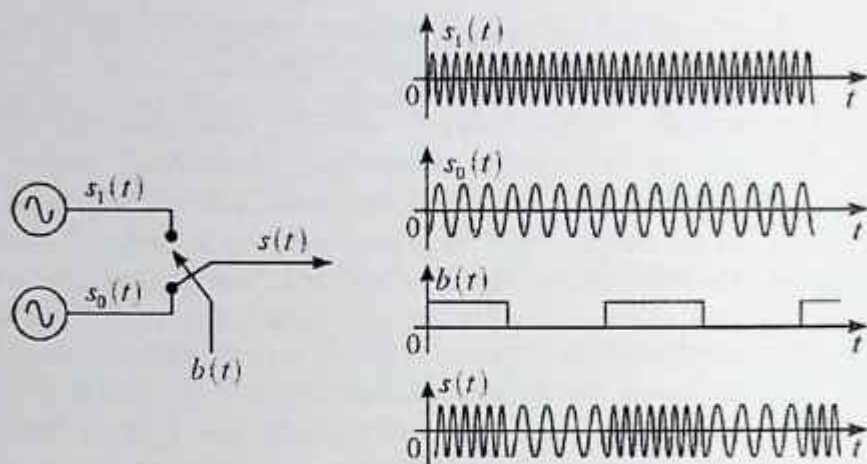
AFM signal bir-biriga bog'liq bo'lmagan holda shakllantirilgan bir nechta mos holda tanlangan amplituda va fazali FM signallarning yig'indisi natijasida hosil qilinadi. Buning uchun tashuvchi chastotali tebranish har biri to'g'ri to'rtburchakli videoimpulslarning turlicha ketma-ketligi bilan boshqariluvchi bir xil ikkita faza modulyatoriga beriladi va ushbu modulyatorlarning chiqish signallari qo'shiladi. Bunda ulardan birining sathi atenuator yordamida ikki marta pasaytiriladi, bu amplituda modulyatsiyasiga mos keluvchi jarayon hisoblanadi. Natijada signal yulduzchalari turkumi har bir kanalning signal vektorlarini yig'ish natijasini ifodalaydi [35].

Chastota manipulyatsiyasi (FSK).

Chastotasi manipulyatsiyalangan (ChMn, inglizcha Frequency Shift Keying – FSK) zamonaviy raqamli aloqa tizimlarida keng tarqalgan signallardan biri hisoblanadi. Buning sababi ushbu signallarni shakllantirish soddaligi va boshlang'ich fazaga bog'liq bo'lmagan holda qabul qilish imkoniyatidir.

FSK modulyatsiyasida axborot ketma-ketligining "0" va "1" qiymatlariga o'zgarmas amplitudali analog signallarning ma'lum chastotalari mos keladi. Chastota manipulyatsiyasi nisbatan xalaqitbardosh hisoblanadi, chunki telefon kanalidagi xalaqitlar asosan signal chastotasiga qaraganda uning amplitudasiga ko'proq ta'sir ko'rsatadi.

Modulyatsiyalovchi signal $b(t)$ nol va birlardan iborat ketma-ketlik shaklida bo'lgan hol uchun FSK modulyatsiyasini ko'rib chiqamiz. FSK signalni shakllantiruvchi qurilmani 4.25-rasmda keltirilgan sxema asosida ko'rib chiqamiz.



4.25-rasm. FSK signalni shakllantirish prinsipi

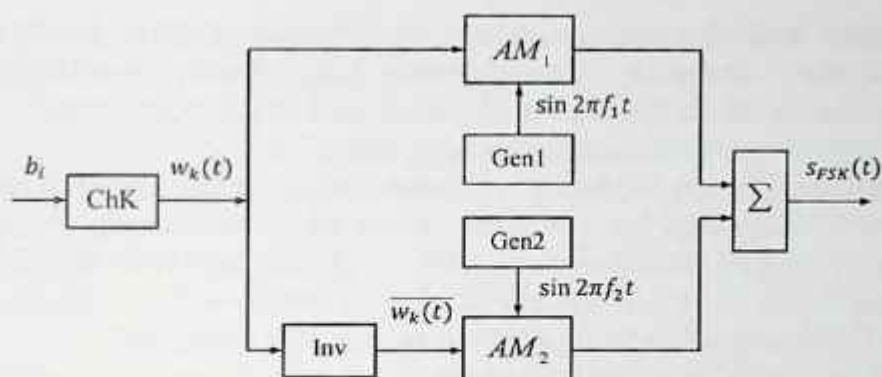
4.25-rasmda turli chastotalardagi $s_0(t)$ va $s_1(t)$ tebranishlarni shakllantiruvchi ikkita generator tasvirlangan, shuningdek $b(t)$ raqamli signal bilan boshqariluvchi elektron kalit ham mavjud bo'lib, mantiqiy "1" ni uzatish uchun chiqishiga $s_1(t)$ signal, mantiqiy "0" ni uzatish uchun chiqishiga $s_0(t)$ signal ulanadi. Shunday qilib, chiqish signali chastotasi bitlar ketma-ketligiga mos holda manipulyatsiyalanadi. Keltirilgan sxemaning soddaligiga qaramasdan u amaliyotda qo'llanilmaydi, chunki o'tish jarayoni juda kichik bo'lgan juda tezkor kalit talab etiladi, shuningdek generatorlarning ixtiyoriy boshlang'ich fazasida simvollar o'zgarishida faza bo'yicha sakrash yuzaga kelishi mumkin, bu esa spektrning kengayishiga olib keladi.

FSK signalni shakllantirishning boshqa bir usulini ko'rib chiqamiz, bunda FSK signalni turli chastotali ikkita amplitudasi manipulyatsiyalangan signallarning yig'indisi shaklida ifodalash mumkin

$$s_{FSK}(t) = s_{AM1}(t) + s_{AM2}(t) = 0,5(1 + w_k(t)) \sin 2\pi f_1 t + 0,5(1 - w_k(t)) \sin 2\pi f_2 t, \quad (4.51)$$

bunda, $w_k(t) = \{1, -1\} - b_i = \{0, 1\}$ raqamli xabarga mos keluvchi, chiziqli koder chiqishidagi modulyatsiyalovchi signal.

FSK modulyatorning strukturaviy sxemasi 4.26-rasmida keltirilgan bo'lib, modulyator chiziqli koder (ChK), inverter, ikkita bir xil amplituda modulyatori, ikkita yuqori chastotali tashuvchi tebranish generatori va summatoridan iborat.



4.26-rasm. FSK modulyatorining strukturaviy sxemasi

Minimal faza siljishili chastota manipulyatsiyasi (MSK).

Minimal faza siljishili chastota manipulyatsiyasi (MChMn, inglizcha Minimum Shift Keying – MSK) da modulyatorning kirish bitlari impulslari ketma-ketligi ikkita mos holda toq va juft impulslardan iborat ketma-ketlikka ajratiladi. Modulyatsiyalangan (modulyator chiqishidagi) signal navbatdagi n -chi bit davomiyligida joriy n -chi va undan oldingi $(n - 1)$ -chi bitlar holatiga bog'liq bo'lgan holda ifodalanadi:

$$s(t) = A \cos 2\pi(f_0 \pm \Delta f_m)t = \pm A \cos \frac{\pi t}{2T_b} \cos 2\pi f_0 t \mp A \sin \frac{\pi t}{2T_b} \sin 2\pi f_0 t, \quad (4.52)$$

ya'ni, $I = A \sin 2\pi \Delta f_m t$ va $Q = A \cos 2\pi \Delta f_m t$ amplitudali kvadraturali tashkil etuvchilarning yig'indisi sifatida ifodalanadi, bunda chastota deviat-siyasi $\Delta f_m = 1/4T_b$ ga teng, f_0 – kanalning tashuvchi chastotasi. Yig'indi signal chastotasi va fazasining ikkita qo'shni b_I va b_Q bitlarga bog'liqligi 4.5-jadvalda keltirilgan.

4.5-jadval

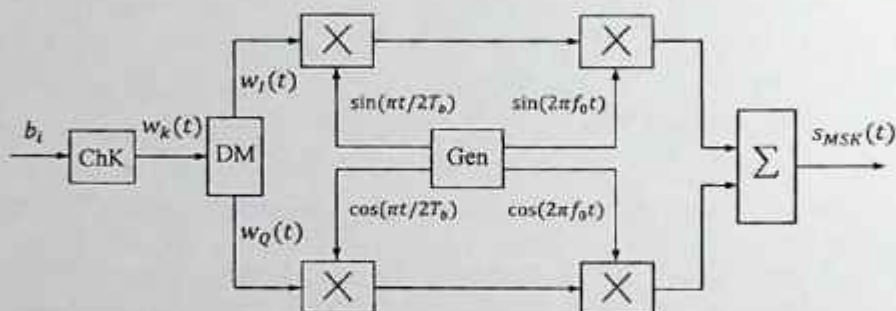
Yig'indi signal chastotasi va fazasining ikkita qo'shni b_I va b_Q bitlarga bog'liqligi

b_I	b_Q	$S(t)$	chastota	faza
1(+)	1(+)	$A \cos 2\pi(f_0 - \Delta f_m)t$	$f_0 - \Delta f_m$	0
1(+)	0(-)	$A \cos 2\pi(f_0 + \Delta f_m)t$	$f_0 + \Delta f_m$	0
0(-)	1(+)	$-A \cos 2\pi(f_0 + \Delta f_m)t$	$f_0 + \Delta f_m$	π
0(-)	0(-)	$-A \cos 2\pi(f_0 - \Delta f_m)t$	$f_0 - \Delta f_m$	π

MSK modulyatsiyasini sinfaz va kvadraturali tashkil etuvchilarning amplitudalari sinusoidal qonun bo'yicha o'zgaruvchi, amplitudalarining belgisi esa ikkilik ketma-ketlik bitining qiymati orqali aniqlanuvchi siljishli kvadraturali modulyatsiya deb qarash mumkin.

Eslatib o'tamiz, modulyatsiya qonunining argumenti sifatida qo'llaniluvchi (4.5-jadvaldagi birinchi ikkita ustun) ikkita bit shunday tanlanadiki, bunda qanday bit joriy bit ekanligi e'tiborga olinadi: agar joriy bit juft bo'lsa juftlikning ikkinchi biti undan avvalgi toq bit hisoblanadi, agar joriy bit toq bo'lsa juftlikning ikkinchi biti undan avvalgi juft bit hisoblanadi.

MSK modulyatorining strukturaviy sxemasi 4.27-rasmda keltirilgan. Modulyator chiziqli koder (ChK), demultipleksor (DM), kvadraturali past chastotali signallar $\sin\left(\frac{\pi t}{2T_b}\right)$ va $\cos\left(\frac{\pi t}{2T_b}\right)$ ni hamda yuqori chastotali tashuvchi tebranishlar $\sin 2\pi f_0 t$ va $\cos 2\pi f_0 t$ ni generatsiyalovchi generator, to'rtta ko'paytirgich va summatoridan iborat.



4.27-rasm. MSK modulyatorining strukturaviy sxemasi

Chiziqli koder kirishidagi b_i axborot bitlari T_b davomiylikli musbat va manfiy qutbli to'g'ri to'rtburchakli impulsar ketma-ketligiga aylantiriladi. Ushbu ketma-ketlik demultipleksor (DM) da ikkiga: toq raqamli impulsar nimketma-ketligi $w_I(t)$ va juft raqamli impulsar nimketma-ketligi $w_Q(t)$ ga ajratiladi, va har birining davomiyligi ikki marta kengaytiriladi, ular mos ravishda sinfaz va kvadraturali tarmoqlarga beriladi. Hosil qilingan $w_I(t)$ va $w_Q(t)$ nimketma-ketliklar mos ko'paytiruvchi qurilmalariga beriladi va ularning kvadraturali past chastotali signallar $\sin\left(\frac{\pi t}{2T_b}\right)$ va $\cos\left(\frac{\pi t}{2T_b}\right)$ ga ko'paytirilishi amalga oshiriladi. Natijada ko'paytirgichlarning chiqishida ikkita kvadraturali kanallarning modulyatsiyalovchi signallarini hosil qilamiz. Ushbu modulyatsiyalovchi $w_I(t) \sin\left(\frac{\pi t}{2T_b}\right)$ va $w_Q(t) \cos\left(\frac{\pi t}{2T_b}\right)$ signallar mos ravishda tashuvchi tebranishlar $\sin 2\pi f_0 t$ va $\cos 2\pi f_0 t$ ni

modulyatsiyalaydi va ularning chiqishlaridagi signallar qo'shilishi natijasida MSK signal hosil qilinadi. Modulyator chiqishidagi signalning chastotasi $f = f_0 - 1/(4T_b)$ ga teng bo'ladi, agar joriy bit oldingi bit bilan mos kelsa; va $f = f_0 + 1/(4T_b)$ ga teng bo'ladi, agar mos kelmasa.

4.28-rasmda MSK signalni shakllantirish vaqt diagrammalari keltirilgan.

MSK signalda faza uzulishlari (keskin o'zgarishlari) ning bo'lmashligi uning energetik spektri SQPSK signal spektriga qaraganda ancha yuqori darajada ixcham bo'ladi. MSK signal spektrining quvvati taxminan $1/f^4$ ga proporsional kichiklashadi, ya'ni bu signal egallagan polosa $\Delta f_{0,99} \approx 1,2/T_b$ ga teng bo'lib, oddiy BFMga nisbatan 15 marta kichik bo'ladi.

Gauss minimal faza siljishili chastota manipulyatsiyasi (GMSK).

Modulyatsiyalangan MSK signal spektri kengligini siqish nafaqat unda uchraydigan faza o'zgarishini, shu bilan birga uning (chastotasi, chastota o'zgarish tezligi kabilar) hosilalarini ham uzluksiz bo'lishini ta'minlash orqali amalga oshirilishi mumkin. GSM standartida **Gauss MChM (GMSK – Gaussian MSK)** modulyatsiyalangan signaldan foydalaniladi. Bu tur modulyatsiyada "posilka" davomida signal fazasining o'zgarishi Gauss integral taqsimot funksiyasi qonuniyati bo'yicha o'zgarishi natijasida, signal chastota va fazasining sekin (asta-sekin) o'zgarishi natijasida signal energetik spektrining yanada ixchamlashishiga erishiladi.

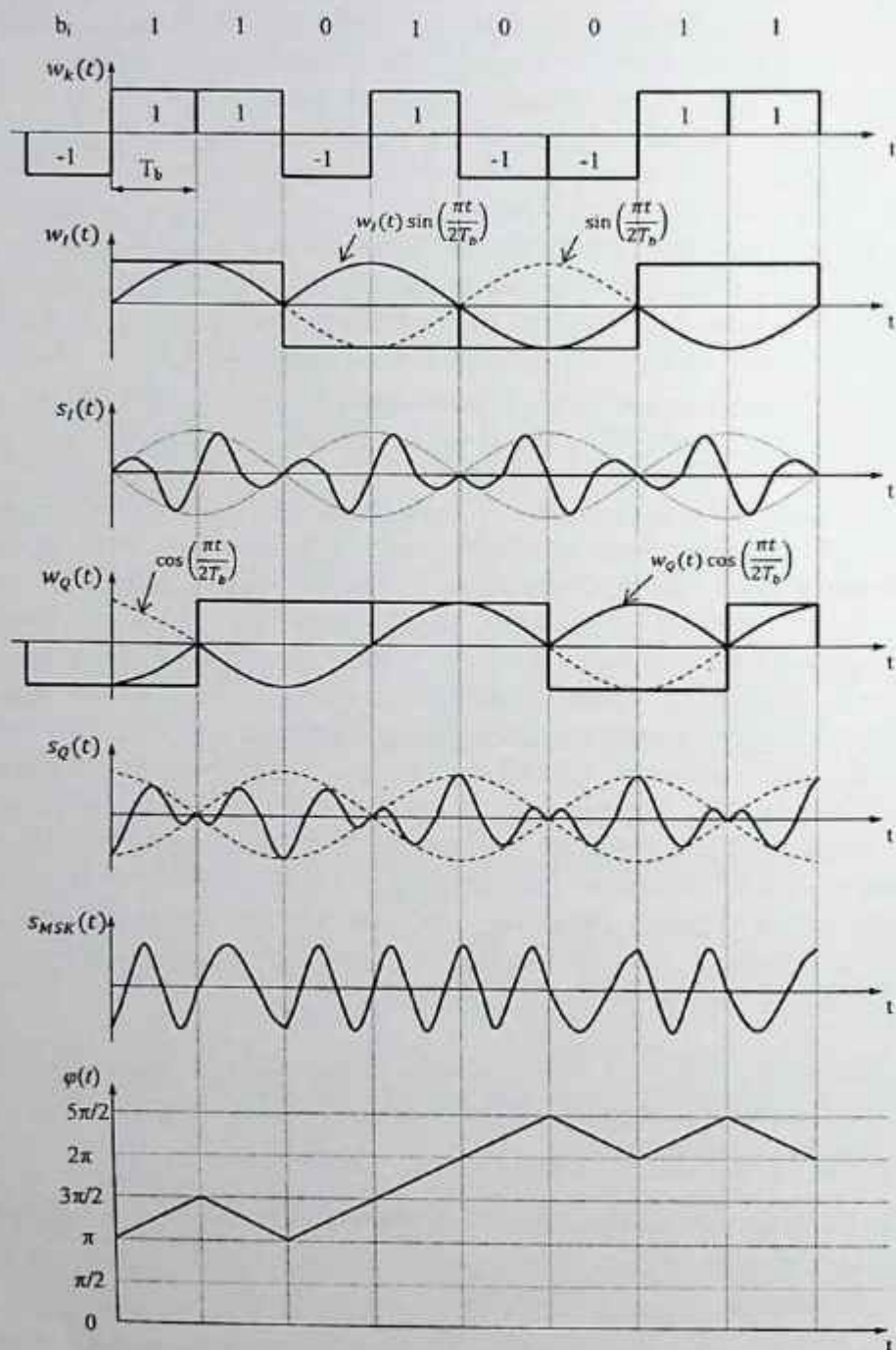
Texnik nuqtai nazardan GMSK modulyatsiyalangan signalni shakllantirish davomiyligi T_b bo'lgan to'g'ri to'rtburchak shaklidagi impuls (posilka) ketma-ketligini polosasining kengligi B (-3dB sathda) bo'lgan va gaussimon amplituda-chastota xarakteristikali past chastotalar filtridan o'tkazilishi orqali amalga oshiriladi. So'ngra tekislangan signal yuqori chastotali tashuvchini modulyatsiyalaydi. GSM standartida $BT_b = 0,3$ qiymati tanlangan bo'lib, bu esa o'z navbatida $\Delta f_{0,99} \approx 0,92/T_b$ bo'lishini ta'minlaydi.

4.6-jadvalda yuqorida tahlil etilgan modulyatsiya turlari uchun modulyatsiyalangan signal spektri kengligi $\Delta f_{0,99}$ ni signal uzatish tezligi R_b ga bog'liqligi natijalari keltirilgan.

4.6-jadval

Turli modulyatsiyalangan signallar uchun modulyatsiyalangan signal spektri kengligi $\Delta f_{0,99}$ ni signal uzatish tezligi R_b ga bog'liqligi

Modulyatsiya turi	BPSK	QPSK, SQPSK,	MSK	GMSK
$\Delta f_{0,99}/R_b$	18,5	9,2	1,2	0,92



4.28-rasm. MSK signalni shakllantirish vaqt diagrammalari

Elektr aloqa tizimlari, mobil aloqa, radiorele, sun'iy yo'ldosh orqali aloqa, keng polosali simsiz radioaloqa, xususiy chaqirish tizimlarida yuqoridagi modulyatsiya turlariga o'xshash yana bir qator modulyatsiya usullaridan ham foydalaniladi [15].

4.5. Demodulyatsiya

Yuqori chastotali signaldan foydali ma'lumotni ajratish jarayoni **demodulyatsiyalash** (modulyatsiyalashga teskari jarayon) yoki boshqacha aytganda **detektorlash** deyiladi.

Detektorlash signallarni **kogerent** va **nokogerent** qabul qilishda amalga oshiriladi.

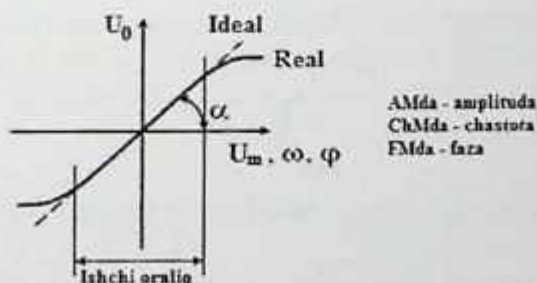
Kogerent qabul qilishda detektorlashda signalning boshlang'ich fazasi haqidagi ma'lumotlar ma'lum bo'lishi talab etiladi.

Nokogerent qabul qilishda detektorlashda signalning boshlang'ich fazasi haqidagi ma'lumotlar ma'lum bo'lishi talab etilmaydi.

Shunday qilib, detektorlash detektor qurilmalarida amalga oshiriladi. Detektorning asosiy xarakteristikasi detektorlash xarakteristikasi hisoblanadi.

Detektorlash xarakteristikasi kuchlanishning o'zgarmas tashkil etuvchisini tashuvchining axborot parametriga bog'liqligi hisoblanadi. AMda axbror parametri amplituda, ChMda chastota, FMda faza hisoblanadi.

Ideal detektorlash xarakteristikasi koordinatalar boshidan α burchak ostida absissalar o'qiga o'tadigan chiziqli xarakteristika (4.29-rasm) hisoblanadi. **Real detektorlash xarakteristikasi** og'ishga ega, og'ish modulyatsiyalanadigan signalda nochiziqli buzilishlarga olib keladi.

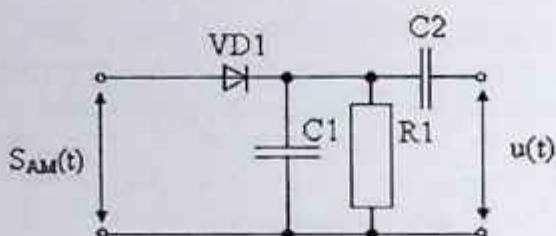


4.29-rasm. Detektorlash xarakteristikasi

4.5.1. Raqamli manipulyatsiyalangan signallarni detektorlash

Amplitudasi manipulyatsiyalangan signallarni detektorlash.

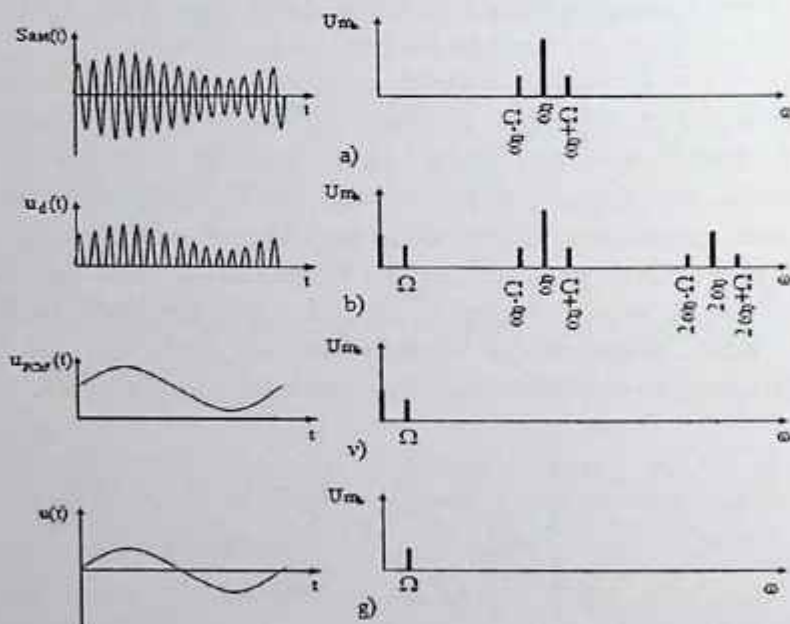
Nokogerent amplituda detektorining sxemasi 4.30-rasmda keltirilgan.



4.30-rasm. *Nokogerent amplitudaviy detektorning sxemasi*

Detektorning tarkibiga nochiziqli element – VD1 diod kiritilgan. Nochiziqli elementning zarurati detektorlash jarayoni signal spektrini o'zgartirishga bog'liqligi bilan kelib chiqadi.

Diodga $S_{AM}(t)$ AM signal beriladi, uning spektrida tashuvchi signalning tashkil etuvchilari va yon tashkil etuvchilar mavjud bo'ladi (4.31a-rasm).



4.31-rasm. *AM signallarni detektorlash jarayoni*

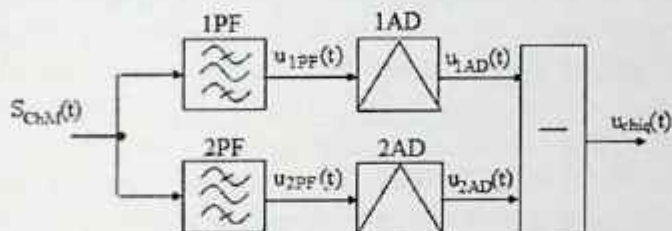
Diodning $u_d(t)$ ta'sir reaksiyasi spektrida yangi o'zgarmas tashkil etuvchi, modulyatsiyalovchi signal tashkil etuvchisi va modulyatsiyalangan signalning yuqori garmonikalari paydo bo'ladi (4.31b-rasm). R1C1 elementlar past chastotalar filtrini tashkil etadi, u ta'sir reaksiyasi spektrining yuqori chastotali tashkil etuvchilarini shuntlaydi va bu bilan modulyatsiyalovchi signal tashkil etuvchisini va $u_{PCH}(t)$ o'zgarmas tashkil etuvchini

ajratadi (4.31v-rasm). C2 kondensator spektrning o'zgarmas tashkil etuvchisini kechiktiradi va chiqish signali spektrida faqat $u(t)$ modulyatsiyalovchi signal tashkil etuvchisi qoladi (4.31g-rasm).

Bu signallarni detektorlash yuqorida ko'rib chiqilgan amplitudaviy detektor orqali amalga oshiriladi (4.30-rasm).

Chastoti manipulyatsiyalangan signallarni detektorlash.

ChMn signallarni detektorlash tuzilish sxemasi va uning ishlashini tushuntiradigan diagrammalar 4.32- va 4.33-rasmlarda keltirilgan.



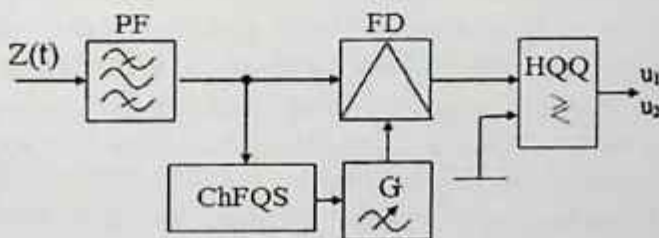
4.32-rasm. ChMn signallarni detektorlash tuzilish sxemasi

Detektorning kirishiga ChMn signal (4.33a-rasm) beriladi. Bu signal 1-PF1 va 2-PF2 polosali filtrlarga beriladi, har bir PF o'z chastotalar polosasini ajratadi (4.33b,v-rasmlar). Olingan signallar 1-AD va 2-AD (4.33g,d-rasmlar) amplitudaviy detektorlar orqali detektorlanadi. Olingan signallar ayirish qurilmasiga beriladi, binobarin, $u_{AD2}(t)$ signal negativ qutbda beriladi. Ayirish qurilmasida chiqish signalini shakllantirish (4.33e-rasm) bo'lib o'tadi:

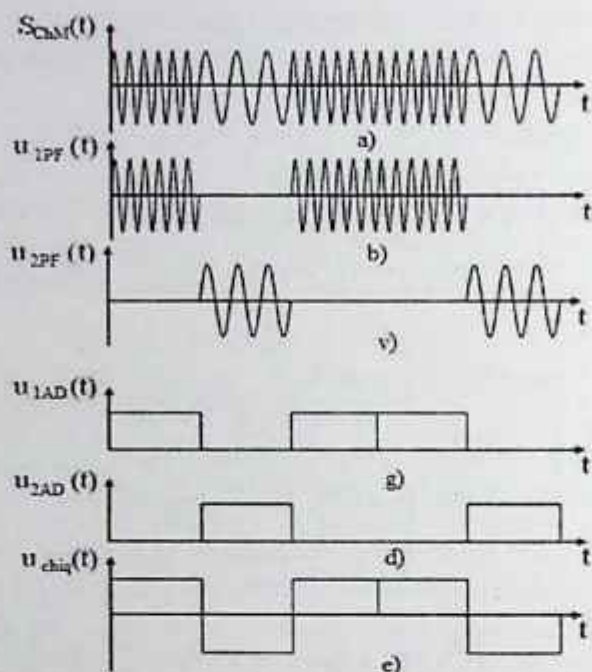
$$U_{chiq}(t) = u_{1-AD}(t) - u_{2-AD}(t)$$

Fazasi manipulyatsiyalangan signallarni detektorlash.

Bu signallarni detektorlash kogerent qabul qilishda amalga oshiriladi. FM signallar qabul qilgichining tuzilish sxemasi 4.34-rasmda keltirilgan.



4.34-rasm. FM signallar qabul qilgichining tuzilish sxemasi



4.33-rasm. Chastotaviy-manipulyatsiyalangan signallarni detektorlash jarayoni

Polosali filtrning kirishiga $Z(t)$ kirish tebranishi beriladi. PF signalga detektorgacha ishlov berishni amalga oshiradi, ya'ni qabul qilgich kirishida halaqitlar sathini cheklaydi. PF chiqishidan FMn signal FD fazaviy detektorga beriladi, uning ikkinchi kirishiga generatoridan tayanch kuchlanishi beriladi. Tayanch tebranishlarining chastotasi va fazasini sozlash chastotani fazaviy avtomatik qayta sozlash tizimi (ChFAQS) orqali amalga oshiriladi. Tayanch tebranishlarining chastotasi va fazasi $S_1(t)$ yoki $S_2(t)$ signallardan birining chastotasi va fazasi bilan mos tushishi kerak.

FD chiqishidan olingan signal u_1 yoki u_2 signallardan qaysini birini qabul qilishni aniqlaydigan hal qiluvchi qurilmaga beriladi. Signalni aniqlash FDDan beriladigan diskret elementning amplitudasini korpusdan olinadigan nolinch sath bilan taqqoslash yo'li bilan aniqlanadi. Agar FDDan beriladigan diskret elementning amplitudasi kichik bo'lsa, u holda u_2 («1») musbat qutbli element qabul qilinadi, agar FDDan beriladigan diskret elementning amplitudasi katta bo'lsa, u holda u_1 («0») manfiy qutbli element qabul qilinadi.

Bunday sxemaning va mos ravishda FMnli tizimning kamchiligi axborot signali bilan birga fazaviy sinxronlashtirish signalini uzatilishi zarurati hisoblanadi, bu quvvatni qo'shimcha harakatlariga va mos ravishda FMn ning samaradorligini kamayishiga olib keladi. Sinxronlashtirish signallarini uzatilishi zarurati tayanch generatori tebranishlarining fazasi S_1 yoki S_2 signallardan birining fazasi bilan yuqori aniqlikda mos tushishi kerakligiga bog'liq.

Fazaviy sinxronlashtirish maqsadlari uchun $Z(t)$ kirish signalidan foydalanish teskari ishlash samarasiga olib keladi. Teskari ishlash detektorlashda u_1 signalni u_2 signal bilan yoki aksincha almashtirilishidan iborat. Teskari ishlash generator tayanch tebranilarinig fazasi qarama-qarshisiga o'zgarganida vuudga keladi. Bu bir-birlaridan faza bo'yicha 180° ga farq qiladigan S_1 va S_2 teng ehtimollikli signallarda qabul qilishda qaysi signalning fazasi tayanch signali fazasi sifatida qabul qilinganligini aniqlash mumkin bo'ladigan hech qanday belgilar bo'lganida vujudga keladi.

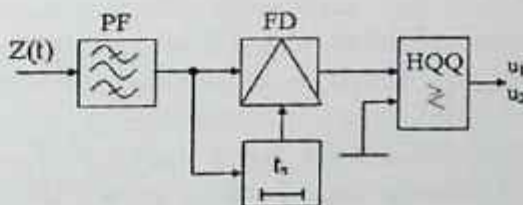
ChFAQS tizimi orqali sozlanadigan generator fazalar ikkita 0 yoki 180° barqaror holatlarili tebranishlarni generatsiyalashi mumkin. Aloqa kanalida sinxronlashtirish uchun ishlatiladigan signalning fazasi halaqitlar ta'sirida o'zgaradi. Agar u 0 yoki 180° ga mos kelmasa, u holda generator yaqindagi fazaga sozlanadi, ya'ni, agar faza 90° dan kichikka o'zgarsa, u holda generator signalning to'g'ri fazasiga sozlanadi (teskari ishlash bo'lmaydi), agar faza 90° dan kattaga o'zgarsa, u holda generator qarama-qarshi fazaga sozlanadi va teskari ishlash ro'y beradi. Yuqorida aytilganlardan xulosa qilish mumkinki, qabul qilgichda teskari ishlash manbai ChFAQSli generator hisoblanadi.

Nisbiy fazaviy modulyatsiyalangan signallarni detektorlash

NFMn signallarni detektorlash ikkita usullarda – fazalarni taqqoslash usuli (nokogerent qabul qilishni ta'minlaydi) va qutblarni taqqoslash usulida (kogerent qabul qilishni ta'minlaydi) amalga oshirilishi mumkin.

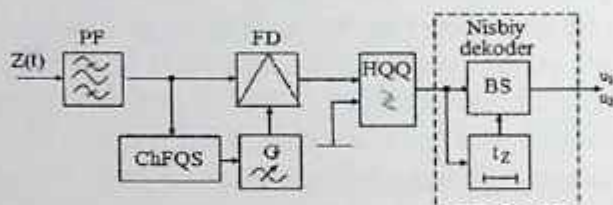
Fazalarni taqqoslash usulida teskarish ishlash manbalari generator va ChFAQS kechiktirish liniyasiga almashtiriladi, u bitta diskret elementning davomiyligiga signalni kechiktirishni amalga oshiradi (4.35-rasm).

4.35-rasm. NFMn signal qabul qilgichining tuzilish sxemasi: fazalarni taqqoslash usuli



Fazaviy detektorda qabul qilingan va oldingi signallarning fazalarini taqqoslash amalga oshiriladi. HQQ chiqish signalini shakllantirish FMn signal qabul qilgichidagi kabi amalga oshiriladi. Binobarin, bu sxemada tayanch kuchlanishi sifatida qabul qilingan signal ishlatiladi, u holda teskari ishlash paydo bo'lmaydi.

Qutblarni taqqoslash usulida qabul qilgich ikkita qismlar - FMn signallar qabul qilgichi va nisbiy detektordan tashkil topadi (4.36-rasm). FMn signallar qabul qilgichida signallarni detektorlashda teskari ishlash ro'y beradi. Qabul qilgich chiqishidan signal nisbiy detektorning TQ taqqoslovchi qurilmasiga beriladi. TQning ikkinchi kirishiga qabul qilgichning oldingi chiqish signali beriladi. Bitta diskret elementga signalni kechiktirishni kechiktirish liniyasi amalga oshiradi. TQda ikkita elementlarning qutblarini taqqoslash bo'lib o'tadi va chiqish signali shakllantiriladi.



4.36-rasm. NFMn signal qabul qilgichining tuzilish sxemasi: qutblarni taqqoslash usuli

Chiqish signalining diskret elementini shakllantirish, quyidagi qoida bo'yicha amalga oshiriladi: agar har ikkala signallarning qutblari mos tushsa, u holda musbat qutbli u_2 («1») signal shakllanadi, agar qutblar mos tushmasa, u holda manfiy qutbli u_1 («0») signal shakllanadi. Teskari ishlash ham joriy, ham oldingi signallarning qutbini o'zgartiradi, u holda u TQning ishlashiga ta'sir etmaydi [12].

4.5.2. Impulsli-modulyatsiyalangan signallarni detektorlash

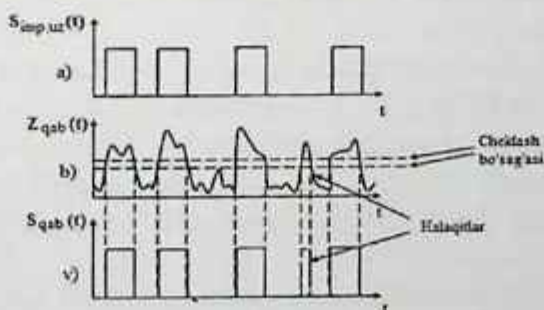
Impulsi-modulyatsiyalangan signallarning o'ziga xos xususiyati ularning spektrida modulyatsiyalovchi signalning past chastotali tashuvchisini borligi hisoblanadi. Shuning uchun bunday signallarni detektorlash uchun nohiziqli element ishlatilmaydi. Detektorlash filtr orqali amalga oshiriladi, uning yordamida modulyatsiyalovchi signalning past chastotali tashuvchisi aratib olinadi. Buning uchun filtrning chegraviy chastotalari modulyatsiyalovchi signal spektrining eng kichik F_{min} va eng katta F_{max} chastotalariga teng bo'lishi kerak. Birlamchi (past chastotali) signallarni detektorlash PChFdA amalga oshiriladi.

AIM signallarni detektorlash. Agar AIM signal impulslarining sig'imi $q \gg 1$ katta bo'lsa, u holda detektorlash maksimumli detektor orqali amalga oshiriladi.

Maksimumli detektor deb chiqish kuchlanishi impulslar amplitudasiga proporsional o'zgaradigan va impulslarning T kelishi davri intervalida deyarli o'zgarmas saqlanadigan amplitudaviy detektorga aytiladi. FIM signallar spektrida modulyatsiya chastotasi tashkil etuvchilarining sathi sezilarsiz, shuningdek u modulyatsiyalash chastotasiga bog'liq bo'ladi. Shuning uchun FIM signallarni PChFda to'g'ridan-to'g'ri detektorlash mumkin emas. Bu signallar dastlab KIM yoki ChIM signallarga o'zgartiriladi, keyin PChFda detektorlanadi. Lekin FIM signalni o'zgartirish uchun u bilan birga sinxronlashtirish takt signallarini uzatish zarur, bu esa detektorning sxemasini murakkablashtiradi [29].

Qabul qilgichda halaqitbardoshlikni oshirish uchun qabul qilingan impulslari modulyatsiyalangan signallar regeneratsiya qilinadi.

Regeneratsiya qilish impulslar shaklini qayta tiklash jarayoni hisoblanadi. 4.37-rasmda impulslari modulyatsiyalangan signalni regeneratsiya qilinishini tushuntiradigan vaqt diagrammalari keltirilgan. 4.37a-rasmda uzatiladigan $S_{imp,uz}(t)$ impulslari modulyatsiyalangan signal tasvirlangan. 4.37b-rasmda qabul qilingan $Z_{qab}(t)$ signal tasvirlangan. Bu signalning shakli aloqa kanalida fluktuatsion va impulslari halaqitli signallarning ta'siri tufayli buzilgan. Regeneratsiya qilish impulslar maksimum qiymatining yarmiga yaqin sathda maksimum va minimum bo'yicha impulslarning amplitudalari cheklash yo'li bilan amalga oshiriladi (4.37v-rasm). Regeneratsiya qilishda impulslari halaqitlarning katta amplitudasi keltirib chiqaradigan qabul qilingan signalning buzilishi bo'lishi mumkin, lekin halaqitlarning katta qismi so'ndiriladi. Binobarin, regeneratsiya qilishda impulslarning amplitudalari cheklash amalga oshiriladi, u holda AIM signallarni regeneratsiya qilish mumkin emas, chunki bu signallarning amplitudasi axborot parametri hisoblanadi.



4.37-rasm. Impulslari modulyatsiyalangan signalni regeneratsiya qilish

4.6. Xalaqitbardosh kodlash

4.6.1. Xalaqitbardosh kodlarni klassifikatsiyalash

Kodlash usullarni turlarga ajratish 4.38-rasmda aks ettirilgan bo'lib, bunday turlarga ajartish mukammal bo'lmay, unga hozirgi axborot uzatish tizimlarida keng qo'llanilayotgan kod turlari kiritilgan.

Kodlarni quyidagi ikki mustaqil guruhga bo'lish mumkin. Birinchi guruhga hamma kod kombinatsiyalari axborot signali elementlariga biriktirilgan, foydalanmaydigan kod kombinatsiyalari bo'lmagan kodlar kiradi. Bunday kodlarni ortiqchaligi bo'lmagan, **oddiy – tejamkor kodlar** deb ataladi. Ikkinchi guruh kodlarni bir qism kod kombinatsiyalari axborot signali elementlariga biriktirilgan – ruxsat etilgan kod kombinatsiyalari va qolgan qismi axborot signali elementlariga biriktirilmagan – foydalanishi ruxsat etilmagan kod kombinatsiyalaridan tashkil topgan, ortiqchalika ega bo'lgan, qabul qilinayotgan kod kombinatsiyalaridagi xatoliklarni aniqlash, ba'zi hollarda bu xatoliklarni tuzatish imkoniyatiga ega bo'lgan kodlar – **korreksiyalovchi kodlar** tashkil qiladi. Kod kombinatsiyalaridagi xatoliklarni aniqlash va ularni tuzatish kod kombinatsiyalariga ortiqcha elementar simvollar kiritish, uning razryadini oshirish hisobiga amalga oshiriladi. Bunday kodlar kombinatsiyalaridagi umumiy elementar simvollarning bir qismi axborot signali elementlariga biriktiriladi va axborot qismini uzatishda, qolganlaridan esa xatoni aniqlash va tuzatishda foydalaniladi. Shunday qilib, korreksiyalovchi kodlar ikki qismdan iborat: axborot va xatoni aniqlovchi, tuzatuvchi qismdan iborat bo'ladi.

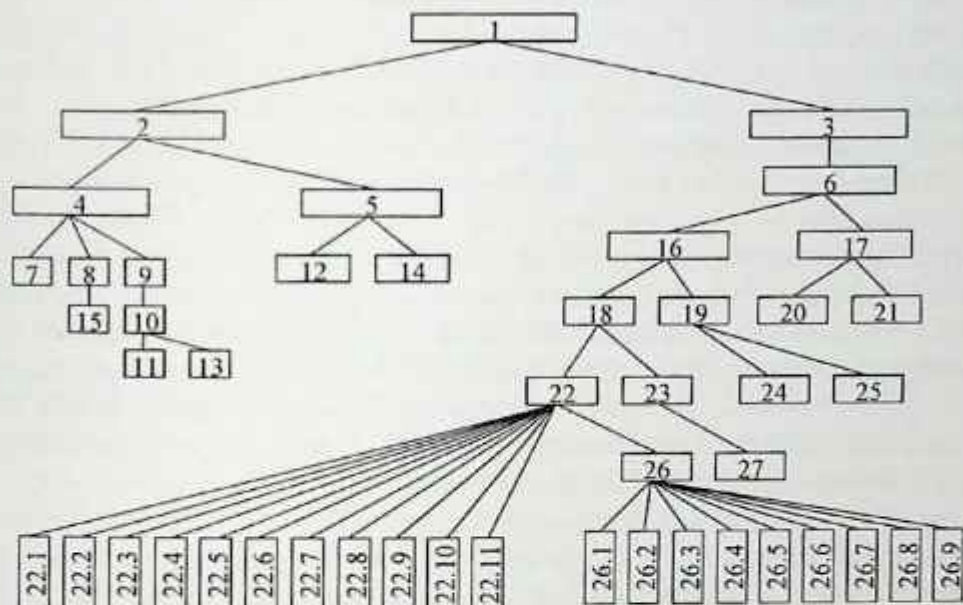
Har ikki guruh kodlari o'z navbatida: kod kombinatsiyalari razryadi soni $n = const$ bo'lgan va $n \neq const$ bo'lgan kodlarga bo'linadi. Kod kombinatsiyalari razryadlari soni turlicha bo'lgan, ortiqchaligi bor kodlarni texnik jihatdan amalda qo'llash murakkabliklarga ega bo'lganligi uchun bunday kodlarni tahlil etmaymiz.

Hamma korreksiyalovchi – ortiqchaligi bor kodlar ikki sinfga bo'linadi: *blokli va uzluksiz kodlar*.

Blokli kodlardan foydalanilganda axborot signalining k ta elementlari bitta blok deb hisoblanadi. Har bir k ta axborot signali elementlari blokiga davomiyligi n ga teng bo'lgan blok (so'z)lardan biri biriktiriladi. Bunday kod (n, k) kod deb ataladi ($n \geq k$). Kod bloklariga aloqa kanalida xalaqitlar ta'sirida ularning shakli buziladi. Bunday blokli kodlar bir-biriga bog'liq bo'lmagan holda dekodlanadi.

Ajraluvchi kodlarni hamma vaqt axborot tashuvchi qismga va nazorat qiluvchi (tekshiruvchi) qismga, ya'ni kod kombinatsiyasidagi ortiqchalik

hisobiga undagi hosil bo'lgan xatoliklarni aniqlash va tuzatishga xizmat qiladi. Ajralmaydigan kodlarni aniq bir ko'rinishda axborot simvollariga va xatoliklarni aniqlovchi, tuzatuvchi kodlarga bo'lib bo'lmaydi. Bu tur kodlarga o'zgarmas vaznli kodlar va Plotkin kodlari misol bo'la oladi.



4.38-rasm. Kodlarni klassifikatsiyalash

- | | |
|--|--|
| 1 – ikkilik kodlar; | |
| 2 – ortiqchaligi yo‘q – oddiy kodlar; | |
| 3 – ortiqchaligi bor – korrektsiyalovchi kodlar; | |
| 4 – bir tekis kodlar; | |
| 5 – notekis kodlar; | |
| 6 – bir tekis kodlar; | |
| 7 – oddiy kodlar; | 22.1 – juftligi bir marta tekshiriladigan; |
| 8 – aks etgan kodlar; | 22.2 – oddiy takrorlanuvchi; |
| 9 – ikkilik-o‘nlik kodlar; | 22.3 – korelyatsion; |
| 10 – o‘zini-o‘zi to‘ldiruvchi kodlar; | 22.4 – invers; |
| 11 – ortiqchaligi bor kodlar; | 22.5 – Xemming; |
| 12 – Shennon-Fano kodi; | 22.6 – Galei; |
| 13 – Aykom kodi; | 22.7 – Rid-Miller; |
| 14 – Xoffman kodi; | 22.8 – Makdonald; |
| 15 – Grey kodi; | 22.9 – Varshamov; |
| 16 – blokli kodlar; | 22.10 – juftligini tekshirish kam bo‘lgan |
| | 22.11 – iterativ; |

17 – uzluksiz kodlar;	
18 – ajratilgan kodlar;	26.1 – eng oddiy;
19 – ajratilmagan kodlar;	26.2 – Xemming;
20 – zanjirli kodlar;	26.3 – Bouza-Choudxuri-Xokvingem;
21 – o‘ramli kodlar;	26.4 – mojaritar;
22 – tizimli kodlar;	26.5 – Fayr;
23 – tizimsiz kodlar;	26.6 – Abramson;
24 – Plotkin kodi;	26.7 – Milas-Abramson;
25 – vazni o‘zgarmas kodlar;	26.8 – Rid-Solomon;
26 – siklik kodlar;	26.9 – turli tarkibli.
27 – Barger kodi;	

Ajraladigan kodlar o‘z navbatida *tizimli* – takrorlanuvchi va *tizimsiz* – takrorlanmaydigan kodligi bilan farqlanadi. Ajratiluvchi tizimli kodlar guruhi ko‘p sonli kodlardan iborat bo‘lib, bu kodlarning xatoni aniqlovchi va tuzatuvchi qismi kod axborot qismi simvollarining chiziqli kombinatsiyalari sifatida shakllantiriladi. Tizimli kodlarga juftligi tekshiriladigan kodlar, takrorlanuvchi kodlar, korrelyatsiyali, invers, Xemmening, Goley, Rid-Maller, Makdonald, Varshamov, iterativ kodlar kiradi.

Tizimli bo‘lmagan kodlarning xatoni aniqlovchi va tuzatuvchi qismi axborot signali simvollarining *l* ta razryadili blok qismlari yig‘indisidan iborat bo‘ladi. Bu tur kodlarga Barger kodini misol qilib ko‘rsatish mumkin.

Tizimli kodlarning yana bir turini siklik (davriy takrorlanuvchi) kodlar tashkil qiladi. Siklik kodlar tizimli kodlarning hamma xossalardan tashqari yana quyidagi bir qator xossalarga ham ega: agar qandaydir kod kombinatsiyasi siklik kodga tegishli bo‘lsa uning simvollarini o‘rnini siklik ravishda almashtirish asosida shakllantirilgan yangi kod kombinatsiyalari ham ushbu kodga tegishli bo‘ladi. Nisbatan keng foydalaniladigan siklik kodlarga Xemming oddiy kodlari, Bouza-Choudxuri-Xokvingem, mojaritar, Fayr, Abramson, Milas-Abramson, Rid-Solomon, murakkab turli tarkibli kodlar kiradi.

Uzluksiz kodlarning o‘ziga xos asosiy xususiyatlaridan biri bu birlamchi axborot signali simvollar ketma-ketligi uzluksiz ma‘lum bir qonuniyat asosida tuzilgan, ortiqcha simvollar bo‘lgan simvollar ketma-ketligiga aylantiriladi. Bu holda kodlash va dekodlash jarayonida kod kombinatsiyalari simvollarini ikkiga: axborot vaxatoni aniqlovchi, tuzatuvchi qismlarga ajratish talab etilmaydi.

Radiokanallar orqali uzatiladigan xabarlarning ishonchliligi (aslga mosligi)ni oshirishning samarali usullaridan biri bu xalaqitbardosh kodlardan foydalanish hisoblanadi. Xalaqitbardosh kodlar xalaqitlar ta’sirida uning kod

kombinatsiyalari tarkibidagi elementar signallar 1 yoki 0 ni uning teskarisiga o'zgarishi natijasida hosil bo'ladigan xatoliklarni aniqlash va uni to'g'rilash imkoniyatiga egalar. Bunday kodlar xatoni tuzatuvchi – korreksiyalovchi kodlar deb yuritiladilar. Agar kod faqat xatolikni aniqlash imkoniyatiga ega bo'lsa, bunday kod aniqlovchi kod deb ataladi. Bunday kodlardan foydalanilganda aniqlangan xatoni tuzatish uchun xatoligi aniqlangan kod kombinatsiyasi RTT orqali kod kombinatsiyasi to'g'ri qabul qilinguncha bir necha marta takrorlanadi, bu esa RTTdan foydalanish samaradorligining yomonlashishiga olib keladi. Aniqlangan xatoni tuzatuvchi kodlar tuzatuvchi kod – korreksiyalovchi kod deb ataladi. Bunda qabul qilingan kod kombinatsiyasidagi xatolik aniqlanishi bilan birga, uning qaysi simvoli xato qabullanganligi ham aniqlanadi, bu esa uni RTT orqali qayta (takroran) uzatilishini talab qilmasdan xatoni tuzatish imkoniyatini beradi. Ba'zi kodlardan foydalanilganda xatoliklarning bir qismi qabullash tomonida mustaqil tuzatilishi, ikkinchi qismi esa ularni RTT orqali qayta uzatish natijasida tuzatilishi mumkin.

Agar uzatiladigan diskret xabarning elementar tashkil etuvchilari soni N ta bo'lsa ularni 1 va 0 lardan tashkil topgan kod yordamida uzatish uchun kamida $M = N = 2^m$ ta kodlar kombinatsiyasi talab etiladi. Kodlari kombinatsiyasi soni $M = N$ bo'lgan kod oddiy, ba'zan esa tejamkor kod deb ataladi. Bu holda hamma mavjud kod kombinatsiyalari diskret xabarning elementlariga biriktiriladi. Bunday kodlardan foydalanilganda xalaqit ta'sirida kod kombinatsiyasi elementar simvoli 1 yoki 0 ning eng kamida bittasining o'zgarishi diskret xabarning boshqa elementiga biriktirilgan kod kombinatsiyasiga aylanadi, bu esa diskret xabar elementining xato qabul qilinishiga sabab bo'ladi.

Diskret xabarning hamma elementar tashkil etuvchilariga biriktirilgan kod kombinatsiyalari to'plami kod deb ataladi. Diskret xabarning bitta elementar tashkil etuvchisiga biriktirilgan elementar signal (1 va 0) lar to'plami kod kombinatsiyasi deb yuritiladi. Kod kombinatsiyalaridagi bir-biridan farqlanuvchi elementar signallar soni n kod asosini anglatadi. Har bir kod kombinatsiyasidagi elementar signallar soni m esa kod kombinatsiyasining davomiyligi $T_{kk} = n\tau_0$ ni baholaydi, τ_0 – elementar signal (simvol) davomiyligini bildiradi.

Agar kodning hamma kombinatsiyalari davomiyligi bir xil, ya'ni $T_{kk} = n\tau_0 = \text{const}$ bo'lsa, bunday kod bir tekis kod deb ataladi. Misol uchun $M = 2^5$ – Bodo kodi, $M = 2^7$ – MTK-2 kodi. Agar kod kombinatsiyalari davomiyligi $T_{kk} \neq \text{const}$, ya'ni turlicha bo'lsa bunday kod notekis kod deb yuritiladi. Misol uchun Morze kodi.

Oddiy – tejamkor kod xalaqitlar ta'sirida yuz beradigan xatoliklarni aniqlashi va uni tuzatish imkoniyatiga ega bo'lishi uchun uning kod kombinatsiyalari tarkibiga qo'shimcha (ortiqcha) elementar simvollar kiritiladi. Odatda, kod kombinatsiyalaridagi ortiqchalik qancha ko'p bo'lsa ushbu kodning xatolarni aniqlash va tuzatish – korreksiyalash imkoniyati shuncha katta bo'ladi.

Umuman olganda kodlar asosi n turlicha, ya'ni $n \geq 2$ bo'lishi mumkin. Ko'p hollarda asosi $n = 2$ bo'lgan ikkilik kodlardan foydalaniladi, chunki bu elementar (1 va 0) signallarni bir-biridan farqlash sxemalari va ikkilik asosli kodlar nazariyasi ularni amalga oshirish hozirda yetarli darajada o'rganilgan.

Hozirda korreksiyalash xususiyatiga ega bo'lgan turlicha tuzilgan va turlicha xususiyatlarga ega bo'lgan kodlar mavjud bo'lib, ularni quyidagi ikkita katta guruhga bo'lish mumkin, bular blokli va uzluksiz kodlar.

Blokli kodlarda kod kombinatsiyalaridagi uzatiladigan elementar simvollar bloklarga bo'lingan. Blokli kodlarda kodlash va dekodlash jarayoni har bir blok uchun alohida-alohida bajariladi. Uzluksiz kodlashda axborot tashuvchi elementar signal (simvol 1 va 0) lar ketma-ketligi ma'lum bir qonun asosida boshqa ortiqchalikka ega bo'lgan elementar signal (simvol)lar ketma-ketligiga uzluksiz almashtirib boriladi. Bunda kodlash va dekodlash uchun birlamchi elementar simvollar ketma-ketligini alohida bloklarga bo'lish talab etilmaydi.

Blokli va uzluksiz kodlar o'z navbatida bo'linishi mumkin va bo'linishi mumkin bo'lmagan – bo'linadigan va bo'linmaydigan kodlarga ajratilishi mumkin. Bo'linadigan kod kombinatsiyalarini ikkiga: axborot tashuvchi va nazorat qiluvchi (tekshiruvchi) – ortiqcha simvollarga bo'lish mumkin. Bo'linmaydigan kodlarni bunday ikki qismga ajratish mumkin emas.

Bo'linadigan kodlarning asosiy guruhini chiziqli kodlar tashkil qiladi. Bu tur kodlarning asosiy xususiyati shundan iboratki, kodning nazorat simvollari axborot simvollarining chiziqli kombinatsiyalari sifatida shakllantiriladi. O'z navbatida chiziqli kodlar ikki turga bo'linishi mumkin: tizimli va tizimli bo'lmagan. Hamma ikkilik tizimli kodlar – guruhli chiziqli kodlar deb ataladi. Guruhli chiziqli kodlarning kod kombinatsiyalari ularning istalgan ikki kod kombinatsiyasini ikkilik modul asosida qo'shish natijasida hosil qilinadigan kodlar kombinatsiyasi guruhi xossalari ega bo'ladi. Tizimli kod guruhiga tegishli bu xossaga ega bo'lmagan kodlar tizimsiz kodlar turiga kiradi [24].

4.6.2. Xalaqitbardosh kodlash asoslari

Xalaqitbardosh kodlashda kodlar kombinatsiyalaridagi ortiqchalik (ortiqcha elementar simvol) lardan xabar uzatishdagi xatoliklarni tuzatish (korreksiyalash)da qanday foydalanilishligi masalasi asosiy hisoblanadi. Buning uchun axborot tashuvchi qismini tuzatuvchi qismdan ajratish mumkin bo'lgan blokli kodlarni ko'rib chiqamiz. Bunda blokli kodni bir tekis kod kombinatsiyalari soni $M = 2^m$ bo'lgan (m – kod kombinatsiyalaridagi elementar signallar soni) kod deb qabul qilamiz.

Oddiy – ortiqchaligi bo'lmagan kodlar (misol uchun, Bodo kodi) da kod kombinatsiyalari soni M diskret xabar elementar tashkil etuvchilari soni N ga teng bo'ladi va hamma kod kombinatsiyalaridan axborot uzatish uchun foydalaniladi. Korreksiyalovchi kodlardan foydalanilganda kod kombinatsiyalarining umumiy soni M_0 diskret xabar elementlari soni N dan katta, ya'ni $M_0 > N$ bo'ladi, bunda M_0 kod kombinatsiyalaridan faqat N tasidan foydalaniladi. Ushbu foydalaniladigan, diskret xabarlar biriktirilgan kod kombinatsiyalari kod ruxsat etilgan kombinatsiyalari deb, $M_0 - N = T$ tasi esa kod ta'qiqlangan kombinatsiyalari deb ataladi. Qabullash qurilmasining dekoderi xotirasida umumiy kod kombinatsiyalarining qandaylari ruxsat etilgan kombinatsiyalar, qandaylari ruxsat etilmagan kombinatsiyalar ekanligi avvaldan kiritilgan bo'ladi. Shuning uchun, agar kod ruxsat etilgan kombinatsiyalari xalaqitlar ta'sirida kod ruxsat etilmagan kombinatsiyalariga aylanib qolsa, bunday xatolik dekoder tomonidan aniqlanadi, dekoder imkoniyati darajasida xatoliklar tuzatiladi. Tabiiyki xalaqitlar ta'sirida kod bir ruxsat etilgan kombinatsiyasi ushbu kod boshqa ruxsat etilgan kombinatsiyasiga aylansa, bunday xatolikni aniqlash va tuzatish imkoniyati bo'lmaydi.

Bir tekis kodning kodlari kombinatsiyalarini bir-biridan farqlash uchun kod kombinatsiyalari oralig'idagi masofa tushunchasi kiritilgan. Kod kombinatsiyalari oralig'idagi masofa ikki taqqoslanayotgan kod kombinatsiyalarining ikkilik modul amali asosida qo'shish natijasida hosil bo'ladigan "1" lar soni orqali aniqlanadi. Misol uchun diskret xabar elementi A ga 100110 va B elementiga 010101 kod kombinatsiyalari biriktirilgan bo'lsa, ular orasidagi masofa d quyidagicha aniqlanadi:

A 100110

B 010101

$$d = 4 \quad 110011$$

Har qanday kodlar uchun uning kod kombinatsiyalari orasidagi masofa $d_{ij} \leq m$ bo'ladi. Korreksiyalovchi kodlardan foydalanilganda kod kombi-

natsiyalari orasidagi masofa d sifatida kod ruxsat etilgan kombinatsiyalari orasidagi eng kichik masofa tushunuladi (4.39-rasm).



4.39-rasm. Kod kombinatsiyalari orasidagi masofa d ni aniqlashga oid

Ma'lumki korrektsiyalovchi kodning jami kod kombinatsiyalaridan N tasi diskret xabar elementlariga birlashtiriladi, qolgan T tasi ta'qiqlangan kod kombinatsiyalari hisoblanadi. Misol tariqasida $M_0 = 2^7$ bo'lgan kod kombinatsiyalaridan $N = 32$ tasi ruxsat etilgan va $T = 96$ tasi ta'qiqlangan, ya'ni ruxsat etilgan – axborot uzatish uchun foydalaniladigan kod kombinatsiyalari orasidagi masofa $d = 4$ bo'lgan holatni ko'rib chiqamiz (4.40-rasm).

Xalaqitlar ta'sirida kodning A_i ruxsat etilgan kombinatsiyasi boshqa ruxsat etilgan kombinatsiya A_j shaklida qabullanishi uchun A_i kodning eng kamida $d = 4$ tasi o'z belgisini (1 yoki 0) ni teskarisiga o'zgartirishi kerak bo'ladi. Agar kod ruxsat etilgan kombinatsiyalarida xalaqitlar ta'sirida $g \leq d - 1$ ta simvollar o'z belgilari (1 yoki 0) ni teskarisiga almashtirsa, u holda dekoder bu xatoliklarni aniqlaydi. Kod kombinatsiyalaridagi bittalik xatoliklarni aniqlash uchun ($g = d - 1 = 1$) kod ruxsat etilgan kombinatsiyalari orasidagi masofa $d = 2$ bo'lishi kerak.

4.40-rasmdan ko'rinadiki $d = 4$ bo'lsa, dekoder uchtalik va undan kam $g_0 \leq 3$ xatoliklarni aniqlashi mumkin va $g_t \leq \frac{d-1}{2}$ ga teng bo'lgan xatoliklarni tuzatishi mumkin. Dekoder qabul qilingan kod kombinatsiyasi asosida, kerak hollarda o'z imkoniyati darajasida uzatilgan kod kombinatsiyasini qayta tiklaydi – tuzatish kiritadi – korrektsiyalaydi. Qabul qilingan kod kombinatsiyasi va ruxsat etilgan kod kombinatsiyalari orasidagi masofa $g_0 = d - 1$ ga teng bo'lsa, bu xatoliklarni aniqlash mumkin.

Agar qabul qilingan kod kombinatsiyasidagi simvollar o'z belgilarini o'zgartirishi bir-biriga bog'liq bo'lmasa, u holda m ta elementar simvoldan tashkil topgan kod kombinatsiyasida g ta element o'z belgisini "1" – "0" ga yoki "0" – "1" ga o'zgartirishi ehtimolligi quyidagiga teng bo'ladi:

$$P_0^g = (1 - P_0)^{m-g}, \quad (4.53)$$

bunda, P_0 – kod kombinatsiyasida bitta simvol o'z belgisini teskarisiga almashtirishi ehtimolligi. Bunda odatda $P_0 \ll 1$ bo'lishini e'tiborga olsak, u holda bitta kod kombinatsiyasida $g = 2$ va $g = 3$ xatoliklarning uchrashi

ehtimolligi yanada kichik bo'ladi. Bu holda xato qabul qilingan ruxsat etilgan kod kombinatsiyalaridagi xatolik quyidagi qoida asosida tuzatilishi mumkin. Agar ruxsat etilmagan kod kombinatsiyasi dekoderga berilsa u o'z chiqishida ushbu kod kombinatsiyasiga eng yaqin bo'lgan ruxsat etilgan kod kombinatsiyasini aks ettiradi.

Kod ruxsat etilgan kombinatsiyalari	Kod ta'qiqlangan kombinatsiyalari	Xatosi borligi aniqlangan kod kombinatsiyalari	Xatosi tuzatilgan kod kombinatsiyalari	Xatosi tuzatilmagan kod kombinatsiyalari
A_1				
	A_2	A_2	A_1	
	A_3	A_3		A_3
	A_4	A_4	A_5	
A_5				
	A_6	A_6	A_5	
	A_7	A_7		A_7
	A_8	A_8	A_9	
A_9				
	A_{10}	A_{10}	A_9	
	A_{11}	A_{11}		A_{11}
	A_{12}	A_{12}	A_{13}	
A_{13}				
	A_{14}	A_{14}	A_{13}	

4.40-rasm. Ruxsat etilgan, ta'qiqlangan, xatoligi aniqlangan va xatosi tuzatilgan kod kombinatsiyalari

4.40-rasmga e'tibor bersak, u holda dekoder kirishida A_2, A_3, A_4 ruxsat etilmagan kod kombinatsiyalaridan biri paydo bo'lsa uning chiqishida A_1 dan eng kam oraliq masofa $d = 1$ da bo'lgan A_2 kod kombinatsiyasiga o'rniga A_1 kod kombinatsiyasi aks ettiriladi. Xuddi shuningdek dekoder kirishida A_3, A_4, A_6 kod kombinatsiyalari paydo bo'lsa dekoder chiqishida A_5 va A_7, A_8, A_{10} kod kombinatsiyalari paydo bo'lsa dekoder chiqishida A_9 kod kombinatsiyasi aks ettiriladi. Bu qoida asosida dekoder tomonidan qaror qabul qilish eng mutanosib hisoblanadi, ammo umumiy holatda dekodlash natijasi xatoliklarning taqsimlanishiga bog'liq. Radiosignallarni optimal

qabullash nazariyasiga asosan qabullash qurilmasi o'z chiqishida uzatilgan signaldan eng kam farq qiluvchi, ehtimollik nuqtai nazaridan o'xshashligi ehtimolligi eng katta bo'lgan uzatilishi mumkin bo'lgan signal aks ettiriladi. Yuqorida keltirilgan qoida asosida dekodlashda kod kombinatsiyasidagi elementar simvollarining xato qabullanganlari soni

$$g \leq \frac{d-1}{2} \quad (4.54)$$

ga teng va undan kichik bo'lmagan kam tomoniga butun qilib olinadigan songa teng bo'ladi. (4.54) ifodadan ko'rinadiki kod kombinatsiyasidagi har qanday yakka xatolik ($g = 1$) larni tuzatish uchun $d \geq 3$ bo'lishi shart.

Foydalaniladigan kodlar ular tarkibiga kiritilgan ortiqcha elementar simvollarining soniga qarab bir qism xatoliklarni aniqlash va ularni tuzatish, qolganlarini esa faqat aniqlash imkoniyatiga ega bo'lishi mumkin. Kod kombinatsiyasidagi xatolik $g \leq d_t$ ifoda orqali aniqlansa uni tuzatish mumkin va $d_t \leq g \leq d - d_t$ ifoda orqali aniqlanadigan xatoliklarni faqat aniqlash mumkin.

Agar kod kombinatsiyasidagi xatoliklar $d - d_t \leq g \leq d$ ifoda orqali aniqlansa bu xatoliklarni aniqlash mumkin, ammo bu xatoliklarni tuzatishda xato qaror qabul qilinishi mumkin, bunda A_5 o'rniga A_1 yoki A_9 dekoder chiqishida xato aks etishi mumkin.

Shunday raqamli ikkilik aloqa tizimlari mavjudki, ularda QQQ o'z chiqishida foydali axborotni tashuvchi 1 va 0 simvollarini aks ettirish bilar birga o'chirish, ya'ni "qaror qabul qilinmadi" degan belgini ham aks ettiradi. QQQ o'z kirishidagi $x(t) = s(t) + w(t)$ ni signal-xalaqit to'g'ri qaror qabul qilish imkoniyatini bermagan holatda o'z chiqishida 0 yoki 1 ni aks ettirish mumkin bo'lmagan holatda "o'chirish" simvolini aks ettiradi. Xuddi shuningdek, dekoder ham o'z imkoniyatidan kelib chiqqan holda qabul qilingan kod kombinatsiyalarida xatoliklar bo'lganda bir qism xatoliklarni tuzatish natijasida uni ruxsat etilgan kod kombinatsiyasi sifatida aks ettirishi mumkin, xatoliklarning bir qismi tuzatilgandan so'ng ham yuqori ehtimollik bilan ruxsat etilgan kod kombinatsiyasini aks ettirish imkoniyatiga ega bo'lmasa, u holda o'z chiqishida ushbu aniqlanmagan kod kombinatsiyasini o'chirish haqida yoki uni qayta takrorlash haqida teskari aloqa radiokanali orqali so'rov yuboriladi. Agar kod kombinatsiyasidagi o'chirilishi talab etiladigan simvollar soni

$$\theta_o = g_o \leq d - 1 \quad (4.55)$$

ta bo'lsa va qolganlari to'g'ri qabul qilingan bo'lsa, u holda bu kod kombinatsiyasini to'liq qayta tiklash mumkin. Haqiqatda ham hamma xato simvollarini to'g'rilash uchun 0 va 1 lardan iborat bo'lgan g_o ning hamma

kombinatsiyasi (turlar)ini birma-bir tahlil etish kerak bo'ladi. Ushbu kombinatsiyalardan faqat bittasi to'g'ri, qolganlari esa noto'g'ri bo'ladi. Bir kod kombinatsiyasida takrorlanishi mumkin bo'lgan xatolik ($g \leq g_o \leq d - 1$) lar qabullash tomonida aniqlanishi mumkin. Boshqacha qilib aytganda xato qabullangan kombinatsiyalar – o'chiriladigan simvollar – g_o , kod kombinatsiyasining to'g'ri qabul qilingan simvollar bilan ta'qiqlangan kod kombinatsiyasini tashkil etadi. Faqatgina o'chirilgan simvollardan iborat bitta kombinatsiya va to'g'ri qabul qilingan kod kombinatsiyalari bilan birga ruxsat etilgan kod kombinatsiyasini tashkil etadi, shu kod kombinatsiyasi to'g'ri tiklangan – ruxsat etilgan kod kombinatsiyasi hisoblanadi. Agar $g_o > d - 1$ bo'lsa, u holda kod kombinatsiyasini to'g'ri qayta tiklashda xatolikka tiklashda bir yagona qaror qabul qilish mumkin bo'lmaydi.

Shunday qilib, kodlar kombinatsiyasi orasidagi masofa d berilgan bo'lsa tuzatilishi mumkin bo'lgan xatoliklarning eng katta qiymati xatolikni aniqlash va kod o'chirilgan simvollarini qayta tiklash imkoniyatiga ega bo'lgan kod hisoblanadi.

Xatoliklarni tuzatish masalasini yechish ancha qiyin bo'lib, kodlash va dekodlash qurilmalarini murakkablashtirish orqali amalga oshiriladi. Shuning uchun kodlarning xatoliklarni aniqlash va tuzatish (korreksiyalash) xususiyatlaridan kod kombinatsiyasida takrorlanuvchi xatoliklar soni uncha katta bo'lmagan holatlarda foydalaniladi.

Kodning korreksiyalash xususiyati uning kod kombinatsiyalari orasidagi masofa d ni kattalashtirish orqali amalga oshiriladi. Ruxsat etiladigan kod kombinatsiyalari – kodlanishi talab etiladigan diskret signal elementlari soni N berilgan bo'lsa, u holda ruxsat etilgan kod kombinatsiyalari orasidagi masofa d ni kattalashtirish foydalanishi ta'qiqlangan kod kombinatsiyalari sonini oshirish hisobiga amalga oshiriladi:

$$M - N = 2^m - 2^T = 2^l \quad (4.56)$$

bunda, har bir kod kombinatsiyasida $l = m - T$ ta ortiqcha elementar simvollar bo'ladi, T – ortiqchaligi bo'lmagan oddiy kod kombinatsiyasidagi elementar signallar soni. Endi kod kombinatsiyasidagi ortiqchalik degan tushunchasini kritamiz va ushbu ortiqchalik miqdorini quyidagicha aniqlaymiz:

$$\kappa = \frac{m - T}{m} = 1 - \frac{\log_2 M_0}{\log_2 M}. \quad (4.57)$$

Kod kombinatsiyasidagi xatoliklar bir-biriga bog'liq bo'lmasa, kod kombinatsiyasidagi elementar signallar soni n ta bo'lsa, unda g ta xatolik yuz berishi ehtimolligi (4.53) ifoda orqali aniqlanadi. Kod kombinat-

siyasidagi xatolik g larning kombinatsiyalari soni quyidagi formula orqali hisoblanadi:

$$C_m^g = \frac{m!}{g!(m-g)!}. \quad (4.58)$$

Kod kombinatsiyasidagi yakka, ikkilik, uchlik va hokazo sonli xatoliklarning umumiy soni quyidagicha aniqlanadi:

$$P_{0g} = C_m^g P_0^g (1 - P_0)^{m-g}. \quad (4.59)$$

(4.59) formuladan foydalanib, kod kombinatsiyasida xatoliklar bo'lmashligi ehtimolligini – kod kombinatsiyasi to'g'ri qabullanish ehtimolligi P_t ni hisoblash mumkin:

$$P_t = (1 - P_0)^m. \quad (4.60)$$

Kod kombinatsiyalaridagi xatoliklarni to'g'rilash (korreksiyalash) ehtimolligi quyidagiga teng bo'ladi:

$$P_{korr} = \sum_g P_{0g} = \sum_g C_m^g P_0^g (1 - P_0)^{m-g}. \quad (4.61)$$

(4.61) formulada yig'indini aniqlash xatolik g larni turli takrorlanishlarini aniqlash va tuzatishlari uchun amalga oshiriladi. Shuning uchun aniqlanmagan va tuzatilmagan xatoliklarning umumiy ehtimolligi P_x quyidagicha aniqlanadi:

$$P_x = 1 - P_t - P_{korr} = 1 - (1 - P_0)^m - \sum_g C_m^g P_0^g (1 - P_0)^{m-g}. \quad (4.62)$$

(4.62) ifodani tahlil etish shuni ko'rsatadiki, agar P_0 ning kichik qiymatlari va m ning uncha katta bo'lmagan holatlari uchun kod kombinatsiyasidagi xatoliklar bitta yoki ikkita bo'lishi ehtimolliklari eng katta bo'lib, birinchi navbatda ushbu xatoliklarni tuzatish kerak.

Kod kombinatsiyasini xato qabullash ehtimolligi P_x , kod kombinatsiyasidagi ortiqchalik κ va kod kombinatsiyasidagi elementar simvollar soni korreksiyalovchi kodning asosiy xarakteristikasi hisoblanadi. Kodning bu ko'rsatkichlari uning diskret axborotlarni uzatishdagi xalaqitbardoshligini va unga qanday qilib erishishni baholaydi.

Kodlarni yaratishda birinchi navbatda qo'yiladigan asosiy talab bu uning yuqori xalaqitbardoshligi, kod kombinatsiyasini xato qabullash ehtimolligi P_x va ortiqchaligi κ ning kichik bo'lishini ta'minlash ko'rsatkichlari hisoblanadi. U yoki bu tur kodlardan amalda foydalanish ularni amalga oshirishda qo'llaniladigan kodlash va dekodlash qurilmalarining qanchalik murakkab bo'lishiga, bu esa o'z navbatida kod kombinatsiyalaridagi elementar signallar soni m ga bog'liq. Ko'p hollarda ortiqchaligi κ katta

bo'lgan, kodlash va dekodlash jarayoni oddiy qoidalar asosida amalga oshiriladigan kodlardan foydalaniladi.

Kod kombinatsiyalaridagi xatoliklarni aniqlash va ularni tuzatish uchun dekoder o'z kirishidagi kod kombinatsiyalarini ruxsat etilgan va ta'qiqlangan kod kombinatsiyalari bilan taqqoslaydi va o'z imkoniyatidan kelib chiqqan holda o'z chiqishida uzatilayotgan diskret axborot elementlaridan birini aks ettiradi yoki "o'chirish" haqida qaror qabul qiladi. Bunda dekoder kirishidagi har qanday kod kombinatsiyasi uning xotirasidagi ruxsat etilgan kod kombinatsiyalari bilan taqqoslanadi va tegishli yechimga kelinadi. Dekodlashning bu usuli nisbatan oson bo'lib ko'rinsa ham uni amalga oshirish uchun dekoder o'z xotirasida M ta kod kombinatsiyasini saqlashi talab etiladi. Shuning uchun amalda dekoder kirishidagi kod kombinatsiyalari ustida nisbatan kam amallar bajarish asosida aniqlanuvchi va tuzatiluvchi (korreksiyalovchi) xatoliklar haqida yetarli darajada ma'lumotlar beruvchi kodlardan foydalaniladi.

4.6.3. Tizimli kodlar

Tizimli kodlar blokli ajratiluvchi kodlar guruhiga oid bo'lib, axborot tashuvchi va nazorat simvollaridan iborat bo'lgan qismi uchun kodlash jarayoni alohida-alohida amalga oshiriladi.

Tizimli kodlarni tuzish asoslarini qisqacha ko'rib chiqamiz. Agar axborot simvollarini c , nazorat simvollarini e harflari bilan belgilasak, u holda k ta axborot simvollarini va r ta nazorat simvollarini bo'lgan kod kombinatsiyasini quyidagi ketma-ketlik ko'rinishida tasvirlash mumkin:

$$c_1, c_2, \dots, c_k; e_1, e_2, \dots, e_r, \quad (4.63)$$

bunda, c va e ikkilik kod uchun 0 va 1 ga teng qiymatlarni qabul qiladi.

Axborot uzatish tomonida kodlash jarayonida axborot simvollarining chiziqli funksiyasi sifatida nazorat simvollarini yaratiladi:

$$e_j = \alpha_{j1}c_1 \oplus \alpha_{j2}c_2 \oplus \dots \oplus \alpha_{jk}c_k = \sum_{i=1}^k \alpha_{ji}c_i. \quad (4.64)$$

Bunda $j = 1, 2, \dots, r$, α_{ji} lar 0 yoki 1 ga teng bo'lgan koeffitsientlar va $\oplus$ – ikkilik modul asosida qo'shish belgisi, $\sum$ – ikkilik modul bo'yicha yig'indi belgisi. α_{ji} larning qiymatlari har bir kod uchun o'rnatilgan tartibda tanlanadi. Boshqacha qilib aytganda e simvollarini turlicha joylashgan axborot simvollarining ikkilik modul asosida aniqlangan yig'indisini ifodalaydilar.

Qabul qilingan kod kombinatsiyalarini dekodlash turli usullar bilan amalga oshirilishi mumkin. Ushbu usullardan biri nazorat sonlari deb ataladi va quyidagicha amalga oshiriladi. Qabul qilingan kod kombinatsiyalari

simvollar $c'_1, c'_2, \dots, c'_k; e'_1, e'_2, \dots, e'_r$ dan (4.64) ifodada keltirilgan qoida asosida ikkinchi guruhga nazorat simvollarini yaratiladi:

$$e''_j = \sum_{i=1}^k \alpha_{ji} c'_i. \quad (4.65)$$

So'ngra har ikki nazorat simvollarini guruhi bir-biri bilan ikkilik modul bo'yicha qo'shish asosida taqqoslanadi:

$$\oplus \begin{array}{cccc} e'_1 & e'_2 & \dots & e'_r \\ e''_1 & e''_2 & \dots & e''_r \end{array} \quad (4.66)$$

$$X = x_1, x_2, \dots, x_r$$

Nazorat simvollarini ikkilik modul asosida qo'shish natijasida olingan X soni – nazorat soni yoki sindrom (ko'rsatkich)i deb ataladi. Ushbu nazorat soni – sindromi yordamida qabul qilingan kod kombinatsiyasidagi bir qism xatoliklarni tuzatish mumkin. Agar qabul qilingan kod kombinatsiyasida xatoliklar bo'lmasa, u holda birinchi va ikkinchi guruh nazorat sonlarining ikkilik modul bo'yicha yig'indilari $x_1 = e'_1 \oplus e''_1$ va buning natijasi sifatida nazorat soni X nolga teng bo'ladi. Qabullanayotgan kod kombinatsiyasida xatoliklar mavjud bo'lsa x ning ba'zi qiymatlari 1 ga teng bo'ladi. Bu holda nazorat soni $X \neq 0$ bo'ladi va kod kombinatsiyasidagi xatolikni aniqlash imkoniyatini beradi. Shunday qilib, nazorat soni X juftlikni r marta tekshirish orqali aniqlanadi. Kod kombinatsiyasida xatolik borligini bilishning o'zi uni tuzatish imkoniyatini bermaydi. Xatolikni tuzatish uchun uni kod kombinatsiyasining nechanchi simvolida yuz berganini aniqlash kerak. Shu maqsadda kod kombinatsiyasidagi har bir xatolar birikmasiga nazorat sonlaridan biri birlashtiriladi, ushbu nazorat sonlarining joylashgan o'miga qarab xatoliklar aniqlanadi va ular tuzatiladi.

Nazorat soni X ikkilik tizim asosida ifodalanadi, shuning uchun turli nazorat sonlarining noldan farq qiluvchilari umumiy soni $2^r - 1$ ga teng bo'ladi. Demak noldan farq qiluvchi nazorat sonlarining umumiy soni tuzatilishi kerak bo'lgan turli ketma-ketlikdagi xatoliklar sonidan kichik bo'lmasligi kerak. Misol uchun, kod yakka xatoliklarni tuzatishi uchun, uni kod kombinatsiyalarida yuz berishi mumkin bo'lgan xatoliklarning turli birikmalari soni $k + r$ ga teng bo'ladi, u holda xatoliklarni topish va tuzatish uchun

$$2^r - 1 \geq k + r \quad (4.67)$$

sharti bajarilishi kerak.

(4.67) ifoda kod kombinatsiyalaridagi axborot tashuvchi simvollar soni k ga teng bo'lganda unda yuz berishi mumkin bo'lgan xatoliklarni tuzatish

uchun talab etiladigan nazorat simvollari soni r ni aniqlash imkoniyatini beradi.

4.6.4. Birlik simvollari soni juft bo'lgan kod. Invers (teskari) kod

Kod kombinatsiyalaridagi xatoliklarni faqat aniqlash imkoniyatiga ega bo'lgan oddiy tizimli kodlarni ko'rib chiqamiz. Bunday kodlar guruhiga birlik simvollari soni juft bo'lgan kodlar kiradi. Bu tur kodning har bir kod kombinatsiyasi axborot tashuvchi simvollardan tashqari, yana bitta kod kombinatsiyalaridagi 1 lar sonining hamma vaqt juft bo'lishini ta'minlovchi 1 yoki 0 nazorat simvollaridan tashkil topgan bo'ladi. Misol tariqasida kod kombinatsiyalarining har biriga oltinchi nazorat simvoli qo'shilgan Bodo kodini keltirish mumkin: 10101,1 va 01100,0. Nazorat simvollarini hisoblash qoidasini (4.64) ga asoslanib quyidagi ko'rinishda ifodalash mumkin:

$$e = \sum_{i=1}^k c_i. \quad (4.68)$$

(4.68) ifodadan ko'rinadiki kodning har qanday kombinatsiyalari uchun simvollarining ikilik modul bo'yicha yig'indisi nolga teng bo'ladi:

$$e \oplus \sum_{i=1}^k c_i = 0. \quad (4.69)$$

Yuqorida keltirilgan xulosalar dekodlash qurilmasida xatoliklarni kod kombinatsiyalaridagi birlar sonining juftligini tekshirish asosida nisbatan oson aniqlash imkoniyatini beradi. Kod kombinatsiyalaridagi birlik simvollar sonining juftligi buzilishi birlik, uchtalik umuman olganda toq sonli xatoliklar yuz berishiga bog'liq bo'lgani uchun ularni aniqlashga imkoniyat paydo bo'ladi. Kod kombinatsiyalarida bir vaqtning o'zida ikkita, umuman olganda juft sonli simvollarining o'z belgilarini teskarisiga (1 ni 0 ga) aylanishi kabi xatolarni aniqlab bo'lmaydi.

(4.62) formula asosida aniqlanmagan xatoliklar ehtimolligi quyidagiga teng bo'ladi:

$$P_x = 1 - (1 - P_0)^m - \sum_{g=1,3,\dots} C_m^g P_0^g (1 - P_0)^{m-g}. \quad (4.70)$$

Bu tur kodning afzalligi uni amalga oshiruvchi kodlash, dekodlash qurilmalarining oddiyligi va koddagi ortiqchalik $\kappa = 1/(1+k)$ ning kichikligi hisoblanadi. Ammo koddagi ortiqchalikning kichikligi uning asosiy kamchiligi – uning xatoliklarni aniqlash va tuzatish (korreksiya) imkoniyati nisbatan kichikligini belgilaydi.

Kod kombinatsiyalaridagi birlar soni juftligini tekshirish natijasida xatolarni aniqlashga asoslangan kodlarga nisbatan ko'proq xatoliklarni aniqlash imkoniyatini beruvchi kod – invers (teskari) koddan ham foydalaniladi. Bu tur kodni qurish asosi bilan quyidagi ikki kod kombinatsiyalari orqali tanishib chiqamiz. 11000,11000 va 01101,10010. Ushbu kod kombinatsiyalarining vergulgacha qismi axborot tashuvchi qolgan ikkinchi qismi nazorat qismi hisoblanadi. Agar kod kombinatsiyasining axborot tashuvchi qismidagi 1 simvollar soni juft bo'lsa, u holda bu simvollarining ikkilik modul bo'yicha yig'indisi

$$c_{\Sigma} = \sum_{i=1}^k c_i \quad (4.71)$$

nolga teng bo'ladi va bu holda nazorat simvollar kod kombinatsiyasidagi axborot simvollarini takrorlaydi. Aks holda, ya'ni kod kombinatsiyasidagi 1 simvollar soni toq bo'lsa, u holda (4.71) yig'indi 1 ga teng bo'ladi. Bu holda nazorat simvollar axborot simvollarini teskarisiga (1 ni 0 ga va 0 ni 1 ga) almashtirish – inverslash natijasida olinadi. Bu jarayonni amalga oshirishning matematik ifodasi quyidagi ko'rinishga ega bo'ladi:

$$e_j = c_j + c_{\Sigma}. \quad (4.72)$$

Dekodlashda kod kombinatsiyalarining axborot tashuvchi simvollar va nazorat qiluvchi simvollar taqqoslanadi. Agar qabul qilingan kod kombinatsiyasidagi birlar soni juft, ya'ni

$$c'_{\Sigma} = \sum_{i=1}^k c'_i = 0 \quad (4.73)$$

bo'lsa, u holda undagi axborot tashuvchi simvollar guruhi nazorat simvollar guruhi bilan ikkilik modul bo'yicha qo'shiladi. Aks holda $c'_{\Sigma} = 1$ bo'lsa kod axborot tashuvchi simvollar guruhi inverslangan nazorat simvollar guruhi bilan ikkilik modul bo'yicha qo'shiladi. Boshqacha qilib tushuntirilganda (4.66) ifodaga asosan r marta juftlikka tekshirish amali bajariladi:

$$x_j = e'_j + c'_j = e'_j \oplus c'_j \oplus c'_{\Sigma}. \quad (4.74)$$

Juftlikka tekshirish (4.74) amalini bajarish natijasida juda bo'lmaganda bitta 1 hosil bo'lsa kod kombinatsiyasidagi xatolik aniqlanadi.

Tahlillar shuni ko'rsatadiki, agar kod kombinatsiyalaridagi axborot simvollar soni $k \geq 1$ bo'lsa, u holda bir kod kombinatsiyasidagi aniqlanmagan xatolikning eng kichik soni $g = 4$ bo'ladi. Bunda faqatgina axborot va nazorat simvollarining bir xil tartib raqamlilarining xalaqit ta'sirida buzilgan to'rtinchi tartiblilaridagi xatoliklar aniqlanmasdan qoladi. Misol uchun 101000,101000 kod kombinatsiyasi kanal orqali uzatilgan bo'lsa va

10111, 10111 kod kombinatsiyasi qabul qilingan bo'lsa, qabul qilingan kod kombinatsiyasidagi juft karrali xatolik aniqlanmasdan qoladi, chunki bu kod kombinatsiyasi uchun x_j larning hamma qiymatlari nolga teng. Kod kombinatsiyasidagi to'rtlik xatoliklarni aniqlanmasligi ehtimolligi quyidagi ifoda bilan aniqlanadi:

$$P_{x,4} = C_k^2 P_0^4 (1 - P_0)^{2k-4}. \quad (4.75)$$

Kod kombinatsiyasidagi axborot simvollarini $k \geq 5$ bo'lgan holat uchun bitta kod kombinatsiyasidagi xatoliklar soni $g > 4$ holat uchun aniqlanmagan xatoliklar ehtimolligi (4.75) ifoda orqali aniqlanadiganga nisbatan yanada kichik bo'ladi. Shuning uchun kod kombinatsiyalaridagi yakka xatolik paydo bo'lish ehtimolligi P_0 yetarli darajada kichik bo'lgan holat uchun xatoliklarni aniqlay olmaslik ehtimolligi $P_x \approx P_{x,4}$ deb qabul qilish mumkin.

Invers kod yuqori darajada xatoni aniqlash qobiliyatiga ega, ammo bu kod kombinatsiyasidagi yuqori darajadagi ortiqchalik hisobiga amalga oshiriladi. Invers kodni qurish asosidan ko'rinadiki, undagi axborot simvollarini soni nazorat simvollarini soniga teng, ya'ni $k = r$, shuning uchun ushbu koddagi ortiqchalik $x = 0,5$ ga teng.

4.6.5. Xemming kodlari

Bu tur kodlarga kod kombinatsiyalari oralig'i $d = 3$ bo'lgan hamma bittalik xatoliklarni tuzatish imkoniyatiga ega bo'lgan kodlar kiradi.

Har bir kod kombinatsiyasi 4 ta axborot simvolidan va 3 ta nazorat simvolidan iborat bo'lgan $M = 2^7$ Xemming kodini yaratish asosini ko'rib chiqamiz. Bunday kod (4.67) ifodadagi talabga javob beradi va quyidagi ortiqchalikka ega bo'ladi:

$$x = \frac{r}{k+r} = \frac{3}{7}. \quad (4.76)$$

Xemming kodida kod kombinatsiyalarining birinchi 4 tasi axborot simvollarini bo'lib, qolgan 3 tasi, ya'ni nazorat simvollarini (4.64) ifodani bajarish qoidasi asosida hosil qilinadi:

$$e_j = \alpha_{j1}c_1 \oplus \alpha_{j2}c_2 \oplus \alpha_{j3}c_3 \oplus \alpha_{j4}c_4. \quad (4.77)$$

Qabul qilingan kod kombinatsiyalarini dekodlash uchun uni uch marta juftlikka tekshirish (4.65) ifoda asosida amalga oshiriladi:

$$\left. \begin{aligned} x_1 &= e'_1 \oplus e''_1 = e'_1 \oplus \sum_{i=1}^4 \alpha_{1i} c'_i \\ x_2 &= e'_2 \oplus e''_2 = e'_2 \oplus \sum_{i=1}^4 \alpha_{2i} c'_i \\ x_3 &= e'_3 \oplus e''_3 = e'_3 \oplus \sum_{i=1}^4 \alpha_{3i} c'_i \end{aligned} \right\} \quad (4.78)$$

x_1 , x_2 va x_3 nazorat soni simvollarini faqat 1 yoki 0 ga teng bo'lishi mumkinligi uchun, faqat 8 ta nazorat sonlariga ega bo'ladi, ya'ni $X = x_1 x_2 x_3$: 000, 100, 010, 001, 011, 101, 110, 111. Bu sakkiz nazorat sonlaridan birinchisi 000 faqat qabul qilingan kod kombinatsiyasi tarkibida xatoliklar bo'lmagan holatda hosil bo'ladi, kolgan yettitasidan kod kombinatsiyalarida xatoliklar bo'lgan holatda undagi bittalik xatoliklarning kod kombinatsiyasining yetti simvolidan nechanchi simvoliga mos kelishini aniqlashda foydalaniladi. Nazorat simvollarini va xato (buzilgan) simvollar orasida qanday o'zaro bog'lanish borligini aniqlaymiz. Agar nazorat simvollarini e'_1 , e'_2 va e'_3 lardan biri buzilgan bo'lsa, u holda (4.78) ifodadan ko'rinadiki, nazorat simvollarini quyidagi uchta ko'rinishdan bittasiga, ya'ni 100, 010, va 001 ga mos keladi. Qolgan to'rtta nazorat sonlaridan esa kod kombinatsiyasi tarkibidagi axborot simvollarida yuz bergan xatolik (buzilish)larni aniqlashda foydalaniladi. Nazorat sonlarini buzilgan axborot simvollariga birlashtirish hohlagan tartibda amalga oshirilishi mumkin, masalan 4.7-jadvalda keltirilgan tartibda amalga oshirish mumkin.

4.7-jadval

Nazorat sonlarini buzilgan axborot simvollariga birlashtirish

Buzilgan simvol	c_1	c_2	c_3	c_4	e_1	e_2	e_3
Nazorat soni	011	101	110	111	100	010	001

4.7-jadvalda keltirilgan nazorat sonlarining taqsimotiga α_{ji} koeffitsientlarining mos kelishini 4.8-jadvaldan ko'rish qiyin emas.

Agar α_{ji} koeffitsientlarining qiymatlarini (4.78) ifodaga kiritsak, u holda quyidagi ifodani olamiz:

$$\left. \begin{aligned} x_1 &= e'_1 \oplus c'_2 \oplus c'_3 \oplus c'_4 \\ x_2 &= e'_2 \oplus c'_1 \oplus c'_3 \oplus c'_4 \\ x_3 &= e'_3 \oplus c'_1 \oplus c'_2 \oplus c'_4 \end{aligned} \right\} \quad (4.79)$$

4.8-jadval

Nazorat sonlarining taqsimotiga α_{ji} koeffisientlarining mos kelishi

e_1	$\alpha_{11} = 0$	$\alpha_{12} = 1$	$\alpha_{13} = 1$	$\alpha_{14} = 1$
e_2	$\alpha_{21} = 1$	$\alpha_{22} = 0$	$\alpha_{23} = 1$	$\alpha_{24} = 1$
e_3	$\alpha_{31} = 1$	$\alpha_{32} = 1$	$\alpha_{33} = 0$	$\alpha_{34} = 1$

Axborot simvollaridan birortasi buzilsa, u holda x_1, x_2, x_3 lardan qaysi birining tarkibiga ushbu buzilgan simvol kirgan bo'lsa, x ning ushbu tashkil etuvchisi 1 ga teng bo'ladi. Buning natijasida shakllanadigan nazorat sonlari $X = x_1x_2x_3$ 4.7-jadvaldagiga mos keladi. 4.7-jadvaldagi c_1, c_2, c_3 va c_4 buzilgan axborot simvollariga 4.8-jadvaldagi uchta nazorat simvollarini e_1, e_2 va e_3 qiymatlari 1-4 ustunlardagi 011, 101, 110 va 111 qiymatlar mos keladi. 4.7- va 4.8-jadval orqali aniqlangan axborot buzilgan simvollarini orasidagi va nazorat sonlari orasidagi bog'liqlikdan foydalanib α_{ji} koeffisientlari jadvalini tuzish mumkin. Shunday qilib, bittalik xatolik (buzilish)lar uchun 4.7-jadval asosida kod kombinatsiyasi axborot simvollaridan qaysi biri buzilganini topish mumkin. Ikkilik aloqa tizimida xatolikni tuzatish 1 ni 0 ga yoki 0 ni 1 ga almashtirish orqali amalga oshiriladi. Misol sifatida, kod kombinatsiyasidagi axborot simvollarini $c_1c_2c_3c_4 = 1011$ bo'lgan holatni ko'rib chiqamiz. (4.77) ifodadan va 4.8-jadvaldan foydalanib nazorat simvollarini aniqlaymiz:

$$\left. \begin{aligned} e_1 &= 0 \oplus 1 \oplus 1 = 0 \\ e_2 &= 1 \oplus 1 \oplus 1 = 1 \\ e_3 &= 1 \oplus 0 \oplus 1 = 0 \end{aligned} \right\}. \quad (4.80)$$

Kod axborot qismiga nazorat qismini ko'shish natijasida quyidagi kanal orqali uzatiladigan kod kombinatsiyasini olamiz:

$$c_1c_2c_3c_4e_1e_2e_3 = 1011,010. \quad (4.81)$$

Uzatilgan (4.81) kod kombinatsiyasiga xalaqitlar ta'sirida, u dekoder kirishiga quyidagi ko'rinishda ta'sir etadi deb faraz qilamiz, ya'ni 1001,010. Bu dekoder kirishidagi kod kombinatsiyasida c_3 simvol buzilgan, 1 simvoli xalaqit ta'sirida 0 ga o'zgargan. (4.79) formula asosida nazorat sonini hisoblaymiz va quyidagi natijani olamiz:

$$\left. \begin{aligned} x_1 &= 0 \oplus 0 \oplus 0 \oplus 1 = 1 \\ x_2 &= 1 \oplus 1 \oplus 0 \oplus 1 = 1 \\ x_3 &= 0 \oplus 1 \oplus 0 \oplus 1 = 0 \end{aligned} \right\}. \quad (4.82)$$

(4.82) ifoda orqali aniqlangan nazorat soni $X = x_1x_2x_3 = 110$ ni aniqlash va 4.7-jadval yordamida kod kombinatsiyasidagi buzilgan simvolni tuzatish mumkin.

Biz yuqorida kod kombinatsiyasini shakllantirish va uni dekodlashning oddiy usulini axborot simvollariga birinchi o'rin berilib, kod kombinat-

siyasidagi buzilish (xatolik) va nazorat sonlari orasidagi bog'liqlikni 4.7-jadval asosida aniqlashni ko'rib chiqdik. Shu bilan birga, Xemming tomonidan bittalik xatoliklarni aniqlash usuli ham mavjud bo'lib, bu usuldan foydalanib shakllangan kodda ikkilik tizim asosida yaratilgan nazorat soni asosida kod kombinatsiyasidagi buzilgan simvolni to'g'ridan-to'g'ri aniqlash mumkin. Bu usuldan foydalanilganda axborot simvollar orasiga nazorat simvollar joylashgan bo'ladi, bu esa qabul qilingan kod kombinatsiyalarni dekodlashni ancha murakkablashtiradi. Xemmingning bu kodlash usulida nazorat simvollar axborot simvollar orasiga quyidagi tartibda joylashgan bo'ladi: $e_1 e_2 c_3 e_4 c_5 c_6 c_7$ va nazorat sonlari quyidagicha aniqlanadi:

$$\left. \begin{aligned} x_1 &= e'_1 \oplus c'_3 \oplus c'_5 \oplus c'_7 \\ x_2 &= e'_2 \oplus c'_3 \oplus c'_6 \oplus c'_7 \\ x_3 &= e'_4 \oplus c'_5 \oplus c'_6 \oplus c'_7 \end{aligned} \right\}. \quad (4.83)$$

Agar kod kombinatsiyasining c'_5 axborot simvoli buzilgan bo'lsa, u holda nazorat soni $X = x_1 x_2 x_3 = 101$ ga teng bo'lib, bu ikkilik tizimda 5 raqamga mos keladi.

Shuni xulosa qilib aytish kerakki, agar kod kombinatsiyalarida ikkitalik, uchtalik, xullas ko'p karrali buzilishlar yuz bersa, nazorat soni noldan farq qiladi. Ammo dekoder bunday buzilishlarni to'g'rilash imkoniyatiga ega emas, chunki u faqat bittalik – kod kombinatsiyasidagi yakka xatolarni tuzatish imkoniyatiga ega.

4.6.6. Siklik kodlar

Tizimli kodlar orasida siklik kodlar muhim o'rin egallaydi. Bu kodning siklik (takrorlanuvchi)ligi shundan iboratki, kod kombinatsiyasidagi hamma A_i simvollar siklik tartibda o'rnini almashtirish ushbu kod tarkibiga kiruvchi boshqa A_j kod kombinatsiyasini hosil qiladi. Bunday o'rin almash-tirishda kod kombinatsiyasining simvollar chapdan o'ngga bitta simvol davomiyligiga suriladi va eng o'ngdagi kod simvoli kod kombinatsiyasining eng chap qismiga joylashadi. Misol uchun $A_i = 101100$ va $A_j = 010110$. Kod kombinatsiyalari simvollar o'rnini almashtirish natijasida quyidagi ko'rinishlarni oladi: $A_i = 010110$ va $A_j = 001011$.

Siklik kodning ikkilik sonlar bilan ifodalanadigan koeffisientlarini ular ustida turli o'zgartirish amallarini bajarishni osonlashtirish uchun koeffisientlari 0 va 1 lar bo'lgan polinom ko'rinishida ifodalanadi. Bunga siklik kod kombinatsiyasini quyidagi ko'rinishda yozishni misol qilib ko'rsatish mumkin:

$$A(z) = 10011 = 1 \cdot z^4 + 0 \cdot z^3 + 0 \cdot z^2 + 1 \cdot z^1 + 1 \cdot z^0 = z^4 + z + 1. \quad (4.84)$$

Siklik kodning kombinatsiyalari davriy (siklik) takrorlanish xossasidan tashqari yana bir muhim xossaga ega.

Agar siklik kod kombinatsiyalarini polinomlar ko'rinishida ifodalasak, ularning har biri $r = m - k$ darajali keltirib chiqaruvchi $G(z)$ polinomga qoldiqsiz bo'linadi. Bunda k – ortiqchaligi bo'lmagan birlamchi oddiy kod simvollar soni, m – siklik kod kombinatsiyasidagi elementar simvollar soni.

Siklik kodning kombinatsiyalarini yaratish uchun birlamchi kod $A^*(z)$ kombinatsiyalarini keltirib chiqaruvchi polinom $G(z)$ ga ko'paytirish kerak:

$$A(z) = A^*(z) \cdot G(z). \quad (4.85)$$

(4.85) amalni bajarishda ko'paytirish umuman z^m moduli bo'yicha bajariladi, bizning (4.85) amalni bajarishda polinom o'xshash tashkil etuvchilarini ikkilik modul asosida qo'shishdan foydalaniladi.

Bu usulda yaratilgan siklik kod kombinatsiyalari $A(z)$ da axborot simvoli alohida bir guruh sifatida ajralib turmaydi, ammo ularni kerak bo'lgan holatlarda $A(z)$ ni $G(z)$ ga bo'lish orqali aniqlash mumkin.

Siklik kod kombinatsiyalarini ikki guruh: axborot simvollar va nazorat simvollar guruhi shaklida shakllantirish usuli ham mavjud. Bu usuldan foydalanilganda birlamchi – oddiy kod $A(z)$ ning o'ng tomoniga r ta nollar yoziladi. Bu amal $A^*(z)$ polinomini r razryad (pog'ona)ga ko'tarish, ya'ni uni z^r ga ko'paytirish natijasiga teng hisoblanadi. So'ngra $A^*(z) \cdot z^r$ ko'paytmasi keltirib chiqaruvchi polinom $G(z)$ ga bo'linadi. Umumiy holda bo'lish natijasi $Q(z)$ butun qismidan va $R(z)$ qoldiqdan iborat bo'ladi. Shuning uchun

$$A^*(z) \cdot z^r = Q(z) \cdot G(z) \oplus R(z) \quad (4.86)$$

bo'ladi.

Hisoblash natijasida olingan qoldiq $R(z)$ dan siklik kod kombinatsiyasi $A(z)$ ni shakllantirishdagi qo'shish amalini bajarishda foydalaniladi, ya'ni

$$A(z) = A^*(z) \cdot z^r \oplus R(z). \quad (4.87)$$

Ikkilik modul bo'yicha qo'shish va ayirish amallarining natijalari bir-biriga tengligi uchun (4.87) ifoda asosida shakllantirilgan $A(z) = Q(z) \cdot G(z)$ kod kombinatsiyasi keltirib chiqaruvchi polinom $G(z)$ ga bo'linish talabiga javob beradi. Qoldiq polinom $R(z)$ ning darajasi $r - 1$ dan katta bo'lmaydi, shuning uchun u $A^*(z) \cdot z^r$ kombinatsiyasidagi 0 (nol)lar vazifasini bajaradi.

Misol sifatida $m = 7$, $k = 4$, $r = 4$ va $G(z) = z^3 + z + 1 = 1011$ bo'lgan siklik kodni ko'rib chiqamiz. $A^*(z) = z^3 + 1 = 1001$ birlamchi – oddiy kodni korreksiyalovchi kodga aylantiruvchi nazorat simvollarini aniqlash kerak.

$$\begin{array}{r}
 \oplus \begin{array}{r} 1001000 \\ 1011 \\ \hline 1000 \\ 1011 \\ \hline \end{array} \quad \begin{array}{r} | 1011 \\ 101 \end{array} \\
 R(z) = 110 = z^2 + z
 \end{array} \quad (4.88)$$

U holda $A^*(z) \cdot z^3 = z^6 + z^4 = 1001000$. Qoldiq $R(z)$ ni aniqlash uchun $A^*(z) \cdot z^3$ ni $G(z)$ ga bo'lamiz va natijada siklik kodning quyidagi kombinatsiyasini olamiz:

$$A(z) = A^*(z) \cdot z^3 + R(z) = z^6 + z^3 + z^2 + z = 1001110. \quad (4.89)$$

(4.89) siklik kod $A(z)$ kombinatsiyasining birinchi to'rt simvoli axborot simvollarini va so'nggi uch simvoli nazorat simvollarini hisoblanadi.

Siklik kodning nazorat simvollarini (4.64) umumiy formula asosida ham hisoblash mumkin, ammo bunda shakllanadigan siklik kod $A(z)$ ni uni keltirib chiqaruvchi polinom $G(z)$ ga bo'linishini ta'minlovchi α_{ji} koeffitsientini aniqlash qiyinchilik keltirib chiqaradi.

Qabul qilingan siklik kodlarni dekodlash ham keltirib chiqaruvchi $G(z)$ polinomdan foydalanishga asoslangan. Agar qabul qilingan kod kombinatsiyasida simvollarining xalaqit ta'sirida teskarisiga o'zgarish holati yuz bermagan bo'lsa, u holda $A(z)$ ni $G(z)$ ga bo'lish natijasi qoldiqsiz bo'ladi. Siklik kod kombinatsiyasida simvollar buzilgan bo'lsa qoldiq $R(z)$ paydo bo'ladi, bu qoldiq o'z navbatida kod kombinatsiyasidagi xatolikni aniqlash va ularni tuzatish imkonini beradi.

Siklik kodlarning kodlash va dekodlash qurilmalari ko'p hollarda nisbatan sodda bo'lib, bu ularning asosiy afzalligi hisoblanadi. Siklik kodlarning yana bir afzalligi real radiokanallarda impulssimon, kvazigarmonik xalaqitlar yoki signalning (tez yoki sekin) so'nishi natijasida kod kombinatsiyasida paydo bo'ladigan ketma-ket bir necha simvollar buzilishlarini ham aniqlash va tuzatish (korreksiyalash) xossasiga ega.

4.6.7. O'zgarma vaznli kodlar

Kodlash nazariyasida kod kombinatsiyasidagi "1" lar sonini uning vazni deb hisoblash qabul qilingan. Agar kodning hamma kod kombinatsiyalaridagi 1 lar soni bir xil bo'lsa, bunday kod o'zgarma vaznli kod deb ataladi. O'zgarma vaznli kodlar blokli bo'linmaydigan kodlar turiga kiradi, chunki o'zgarma vaznli kodlarning axborot tashuvchi simvollarini va nazorat simvollarini alohida guruhlariga ajratish mumkin emas. O'zgarma vaznli kodlardan amalda eng ko'p foydalaniladigani bu 7 elementli (simvolli) 3/4 kod bo'lib, uning har bir kod kombinatsiyasi 3 ta 1 dan va 4 ta 0 dan iborat

bo'ladi. Shuningdek $2/5$ o'zgaras kod ham mavjud bo'lib, u 2 ta 1 dan va 5 ta 0 dan iborat bo'ladi. $3/4$ o'zgaras vaznli kodga misol qilib quyidagi 7 simvolli kod kombinatsiyalarini keltirish mumkin: 1011000, 0101010, 0001110.

O'zgaras vaznli kod kombinatsiyalarini dekodlash uning vaznini aniqlashdan boshlanadi. Agar kod kombinatsiyasi vazni o'zgargan bo'lsa, kod kombinatsiyasi xalaqitlar ta'sirida buzilgan hisoblanadi. Bu kod hamma toq buzilishlarni va bir qism juft buzilishlarni aniqlash xususiyatiga ega, shu bilan birga kod kombinatsiyasidagi buzilgan 1 lar soni buzilgan 0 lar soniga teng bo'lgan holatda u xatoliklarni (buzilishlarni) aniqlay olmaydi. Kod kombinatsiyasidagi bu tur buzilishlar surilish xatoliklari deb ataladi. O'zgaras vaznli $3/4$ kod uchun aniqlanmagan xatolik ehtimolligi quyidagi formula orqali hisoblanadi:

$$P_x = 12P_0^2(1 - P_0)^5. \quad (4.90)$$

(4.90) ifodada kod kombinatsiyasidagi yakka buzilishlar ehtimolligi $P_0 \ll 1$ deb qabul qilingan.

Ushbu 7 elementli o'zgaras vaznli kodda jami $M = 2^7 = 128$ kod kombinatsiyalaridan faqat $N = C_7^3 = 35$ tasi ruxsat etilgan kod kombinatsiyasi hisoblanadi, shuning uchun bu kodning ortiqchaligi

$$\kappa = 1 - \frac{\log_2 35}{\log_2 128} = 0,28. \quad (4.91)$$

O'zgaras vaznli 7 elementli $3/4$ koddan tanlovchan so'nuvchanlikli radiokanallar orqali chastotasi manipulyatsiyalangan (ChMp) signallardan foydalanib axborot uzatishda qo'llaniladi. Bunday kanallarda o'zgaras kod bir yoki bir necha 1 va 0 simvollarining teskarisiga o'zgarishi natijasida paydo bo'ladigan siljish buzilishlarining yuz berishi ehtimolligi juda kichik bo'ladi.

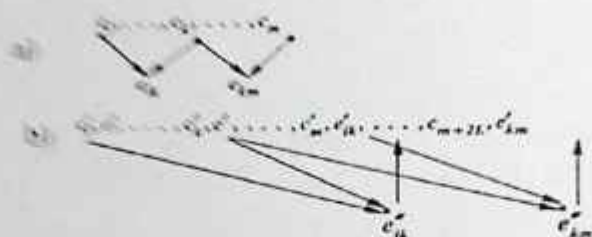
4.6.8. Uzluksiz kodlar

Uzluksiz kodlardan amalda eng ko'p qo'llaniladigani, bu xatolarni tuzatish imkoniyatiga ega bo'lgan Fink-Xagelbarger kodi hisoblanadi. Bu kodda nazorat simvollar axborot signali simvollarining ikki va undan ortig'i ustidan chiziqli amallarni bajarish orqali yaratiladi. Ushbu kodni yaratishni oddiy zanjirli kod asosida ko'rib chiqamiz. Zanjirli kodlarda nazorat simvollar bir-biridan ma'lum bir oraliqda joylashgan axborot signali simvollarini qo'shish natijasida shakllantiriladi:

$$e_{ik} = c_i \oplus c_k; \quad e_{i+1,k+1} = c_{i+1} \oplus c_{k+1}; \quad \dots \quad (4.92)$$

Axborot signali simvollar orasidagi masofa $L = k - i$, bu kodning asosiy xossalari belgilaydi va qo'shish qadami deb ataladi. Bu usuldan

qabul qilingan signal xabarot simvollarini shakllantirishda nazorat simvollarini soni $2L$ ga teng bo'lishi zarur. Shuning uchun bunday nazorat simvollarini soniga teng bo'lishi zarur. Nazorat simvollarini ketma-ketligini hosil qilish usuli 4.41a-rasmda keltirilgan. Hosil qilingan nazorat simvollarini xabarot simvollarini orasiga ikki qo'shish qadamiga kechiktirib qo'yiladi.



4.41-rasm. Fink-Nagelburger zanjirli kodida nazorat simvollarini hosil qilish va ularni joylashtirish

Fink-Nagelburger zanjirli kodi kod kombinatsiyalarini dekodlashda qabul qilingan signal xabarot simvollaridan (4.92) ifodada keltirilgan qoida bo'yicha yordamchi nazorat simvollarini ketma-ketligi e'' shakllantiriladi va bu nazorat simvollarini qabul qilingan kod kombinatsiyasi tarkibidagi nazorat simvollarini ketma-ketligi bilan taqqoslanadi (4.41b-rasm).

Agar xabarot simvolida buzilish hosil bo'lgan bo'lsa, misol uchun c'_k da, u holda bir vaqtning o'zida e''_{ik} va e''_{km} nazorat simvollarining buzilishiga olib keladi. Bu ularni e'_{ik} va e'_{km} nazorat simvollarini bilan taqqoslash natijasida namoyon bo'ladi. e'_{ik} va e'_{km} larning har biri uchun umumiy bo'lgan indeks k asosida xato qabul qilingan xabarot simvoli c'_k dagi xatolikni aniqlash va uni tuzatish mumkin. Qabul qilingan nazorat simvollaridagi, misol uchun e'_{ik} simvolidagi buzilish nazorat simvollarining faqat bir joyida ularning bir-biriga mos kelmasligiga sabab bo'ladi. Bunday buzilishlarni tuzatish talab etilmaydi.

Uzluksiz kodlarning asosiy afzalligi bu uning nafaqat yakka buzilishlarni, shu bilan birga kod kombinatsiyasidagi bir necha ketma-ket buzilishlar guruhi (paketi)ni ham tuzata olish imkoniyatiga ega ekanligi hisoblanadi. Agar nazorat simvollarining kechikishi $2L$ ga teng qilib tanlangan bo'lsa, tuzatilishi mumkin bo'lgan xatoliklar soni ham guruh (paket) buzilishlar oralig'i $6L + 1$ dan kichik bo'lmasa $2L$ ga teng bo'ladi. Shunday qilib, kodning guruh (paket) buzilishlarni tuzatish imkoniyati uning qo'shish qadami oralig'i L ni kattalashtirishga bog'liq bo'lib, bu kodlash va dekodlash qurilmalarining murakkablashishiga olib keladi.

4.6.9. Kodlash nazariyasini asosi ikkidan farqlanuvchi kodlarni tahlil etish uchun umumlashtirish

Biz yuqorida ko'rib chiqqan kodlar ikkilik kodlar deb ataladi, chunki bu tur kodlarning asosini – ikki bir-biridan farqlanuvchi elementar signal – simvollar 1 va 0 lar tashkil etadi. Bunday kodlar juda ko'p tarqalgan va ulardan foydalanib kodlash va dekodlash jarayonini amalga oshirish asosi $m > 2$ bo'lgan kodlarga nisbatan oddiy va arzon hisoblanadi. Chiziqli kodlar nazariyasi umumiy holda asosi $m = p^L$ bo'lgan ko'p asosli kodlar uchun yaratiladi. Bunda p – oddiy son, L – natural son bo'lib, haqiqiy va kompleks sonlar ustida hamma arifmetik amallarni bajarish imkoniyatini beradi. Bunday asosi $m > 2$ bo'lgan kodlar uchun ham ikkilik kodlar uchun xos bo'lgan xususiyatlarni talab etishi va isbotlanishi mumkin. Asosi m bo'lgan kodlarning eng katta guruhi bu Rid-Solomon (RS) kodi hisoblanadi. Rid-Solomon kodlari tizimli (m, k) siklik qilib shakllantirilishi mumkin. Bunda $m = q - 1$, $m - k = 2l$, l – tuzatiladigan xatolar soni. Rid-Solomon kodi kompakt disklarga axborotlarni raqamli shaklda yozishning bir qismi – asosini tashkil etadi. Isbotlash mumkinki hech qanday tizimli asosi $m \geq 2$ bo'lgan kod kombinatsiyalari orasidagi Xemming masofa $d > m - k + 1$ bo'lishi mumkin emas. Haqiqatda ham kod kombinatsiyasidagi k dan bitta avvalgi simvolni nolga teng deb hisoblasak, u vazni nolga teng bo'lmagan va $m - k + 1$ dan katta bo'lmagan vaznli kod kombinatsiyasini keltirib chiqaradi, bu esa o'z navbatida kodning chiziqlilik xususiyatiga asosan kod kombinatsiyalari orasidagi masofa d ning $(m - k + 1)$ ga teng bo'lgan yuqori chegaraviy qiymatini belgilaydi. Rid-Solomon kodi kod kombinatsiyalari oraliq masofasi eng kichik qiymatining eng yuqori chegaraviy kattaligini ta'minlaydi, shuning uchun bu kod hamma $m > 2$ bo'lgan (m, k) kodlar orasida kod kombinatsiyasidagi takrorlanuvchi buzi-lishlarni aniqlash va ularni tuzatish nuqtai nazaridan eng optimal ekanligiga kafolat beradi.

Kod davomiyligi $m = q - 1$ uni yaratishga qo'yiladigan asosiy va cheklovchi ko'rsatkichlardan hisoblanadi, shuning uchun kod kombinatsiyasining davomiyligi $m \leq q - 1$ bo'lgan Rid-Solomon qisqartirilgan kodini yaratish mumkin. Rid-Solomon qisqartirilgan kodini $m = q - 1$ bo'lgan Rid-Solomon to'liq kodi kombinatsiyalaridagi axborot simvollarining bir qismini nolga teng deb hisoblab, ularni kod bloklaridan chiqarib tanlash orqali shakllantirish mumkin. Qisqartirilgan Rid-Solomon kodidan foydalanish kod kombinatsiyalari orasidagi masofani kichik-lashtirmaydi, shuning uchun (m, k) kod $m \leq q - 1$ bo'lgan holatda ham, avvalgidek kod kombinatsiyalari orasidagi masofa $d = m - k + 1$ ga teng bo'lib saqlanib qolishini ta'minlaydi. Bu tur Rid-Solomon qisqartirilgan kodlaridan ikkilik

kodlar bilan birgalikda kaskadli kodlarni shakllantirishda foydalanish mumkin.

4.6.10. Adaptiv korreksiyalovchi kodlar

Ko'pchilik korreksiyalovchi (tuzatuvchi) kodlarning asosiy kamchiliklaridan biri, bu ularning axborot uzatish kanali ko'rsatkichlariga moslasha olmasligi hisoblanadi. Bu kodlardagi ortiqchalik o'zgaras bo'lib, uning qiymati kanal orqali signal uzatishning eng yomon holatida ham talab qilinadigan xalaqitbardoshlikni ta'minlash nuqtai nazaridan kiritiladi. Agar koddagi ortiqchalikni radiokanalning ayni vaqtdagi holatiga moslashgan holda (xatoliklar guruhi xossalarini o'rganishlar asosida) tanlansa kanaldan foydalanish samaradorligini xalaqitbardoshlikni talab darajasida saqlab qolgan holda sezilarli darajada yaxshilash mumkin.

Adaptiv dekodlash usulidan foydalanilganda kod kombinatsiyalaridagi xatoliklarga bog'liq ravishda dekoderning strukturasi, dekodlash algoritmi va parametrlari, dekoder sxemasi funksiyalari o'zgaradi va shu bilan birga adaptiv kodlash usulidan foydalanib kodlarning strukturasi, parametrlari, kodlash algoritmi va koder sxemalarini o'zgartirilishi mumkin. Adaptiv dekoderning vazifasi RTTlarda teskari bog'lanish radiokanalini tashkil etish imkoniyati bor-yo'qligi, kanaldagi turli xalaqitlar va ularning sathi hamda faolligi, kanal orqali signal o'tishidagi buzilishlari, kod kombinatsiyalaridagi xatoliklarning yakka va guruhlar tashkil etishi va boshqa ko'rsatkichlarga qarab o'zgarib turadi. Adaptiv kodlash usulini qo'llash uchun RTTda albatta teskari bog'lanish kanali bo'lishi shart. Bu radiokanal orqali axborot uzatish tomonga kanalning ish sifati, signalni qabullash sharoiti va boshqa kerakli ma'lumotlar yetkazib beriladi.

Teskari bog'lanish kanali RTTlarda adaptiv kodlardan foydalanib xatolarni aniqlash yo'li bilan nisbatan murakkab bo'lmagan radiouzatish va radioqabullash qurilmalari orqali har qanday talab darajasida bo'lgan xalaqitbardoshlik bilan axborotni yetkazib berish mumkin. Ammo, bunda bir qism axborot yo'qotiladi, chunki xatoliklar mavjud bo'lgan kod kombinatsiyalari axborot oluvchiga yetkazib berilmaydi. Xatolarni tuzatish yo'li bilan axborotni to'liq yetkazib berish mumkin. Buning uchun kod kombinatsiyalari davomiyligini minglab simvollarga ega bo'lishini ta'minlash kerak bo'ladi, bu esa kodlash qurilmasining murakkablashishiga sabab bo'ladi. Teskari bog'lanish qismi bo'lmagan RTTdan foydalanishdagi asosiy kamchiliklardan biri, bu axborot simvollari qabullash tomonida qanday xalaqitbardoshlik (sifat) bilan qabullangani haqidagi axborot bo'lmaydi. Shuning uchun bunday RTTlarning ishonchli ishlashiga yuqori darajadagi

talablarga javob berish talabi qo'yiladi. Teskari bog'lanish kanali bo'lmagan RTTlardan teskari bog'lanish kanalini tashkil qilish imkoniyati bo'lmagan hollarda yoki axborotni uzatishda kechikishga yo'l qo'yib bo'lmaydigan hollarda foydalaniladi. Bunday tizimga ba'zi sun'iy yo'ldosh orqali aloqa tizimlarini misol qilib ko'rsatish mumkin.

Ba'zi axborotni yuqori ishonchlilik bilan axborot oluvchiga yetkazish talab qilinadigan RTTlarda kod kombinatsiyalaridagi bir qism xatolarni qabullash tomonida tuzatish, xatosini tuzatish imkoniyati bo'lmagan kod kombinatsiyalarini axborot uzatish tomonga yuborish va ularni to'g'ri qabullashni amalga oshirish uchun takrorlash talab etiladi. Qabullangan axborotni adaptiv shaklda boshqarish kod ortiqchaligini kanalning axborot uzatish chegaraviy qiymatiga yaqinlashtirish imkoniyatini beradi. Kod kombinatsiyasidagi ortiqchalik xatoliklar bo'lmaganda o'zining eng optimal qiymatiga teng bo'ladi va kod kombinatsiyalarida xalaqitlar ta'sirida xatoliklar oshirishini kamaytirishga bo'lgan talabga qarab ortiqchalik mos ravishda kattalashadi.

Adaptiv kodlash va dekodlash tizimini yaratishning asosiy vazifalari quyidagilardan iborat: RTT axborot uzatish qurilmalarining va kanalning ahvolini nazorat qilish, kanalni nazorat qilish natijalaridan kodlar usulini o'zgartirish, koder sxemasi elementlari parametrlarini o'zgartirish, qaror qabullash qurilmasining meyorini o'zgartirish, radiokanal holatiga mos ravishda signalni optimal qabullash usulini qo'llash, xatoliklar tarkibiga qarab kodlash va dekodlashning xatoliklarni aniqlashni va tuzatishni talab darajasida bo'lishini ta'minlovchi kodlash va dekodlash algoritmlarini qo'llash, optimal-adaptiv kodlash va dekodlash usulidan foydalanish asosida kod ortiqchaligining optimal qiymatini ta'minlovchi apparatura va kanalning holatini nazorat qiluvchi qurilmalarning ko'rsatkichlarini ushbu nazorat o'tkazish vaqti davomida kanal orqali uzatilayotgan signal simvollariga bog'liq bo'lmasligi kerak.

Adaptiv korrektsiyalovchi kodlar nazariyasi tezkorlik bilan rivojlanmoqda, chunki bunday kodlar kanallar orqali axborotlar uzatishdagi haqiqiy holatlarni iloji boricha to'liq inobatga olishga asoslangan.

4.7. Ko'p kanalli aloqa tizimlari

4.7.1. Umumiy kanal resursini taqsimlash usullari

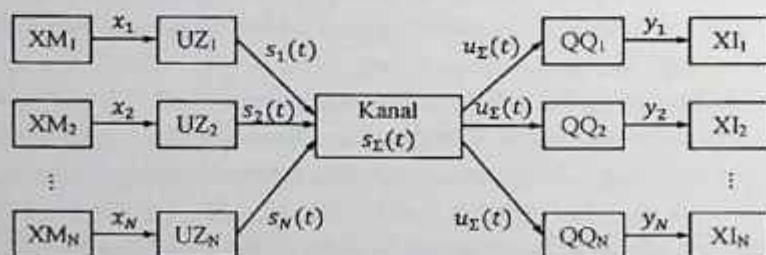
Amaliyotda telefon tarmoqlari shakllanib bo'lgan, aloqa kanallari va liniyalari ma'lum bo'lgan, ishchi radioto'lqinlar resursi davlatlar orasida taqsimlanib bo'lingan ayni vaqtda, ya'ni cheklangan imkoniyatda ko'plab

foydalanuvchilarning katta hajmli axborotlarini uzatishga ehtiyoj, zaruriyat sezilmoqda [19].

Yuqoridagilar asosida bir qancha foydalanuvchilarning yagona resurs (chastota-vaqt va energetik-fazo) dan nisbatan samarali foydalana olishni tashkil qilish masalasi muhim hisoblanadi.

Har qanday signal ma'lum chastotalar polosasini egallaydi, qandaydir vaqt oralig'ida mavjud bo'ladi, cheklangan energiyaga ega bo'ladi va fazoning ma'lum sohasida tarqaladi. Shunga muvofiq, kanal resurslari to'rtta turga: **chastota, vaqt, energetik va fazo** resurslariga bo'linadi.

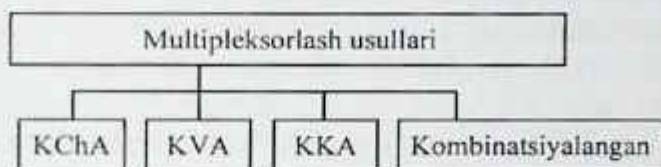
Umumiy kanal resurslaridan samarali foydalanish muammosi, ayniqsa iste'molchilar talablarining vaqt bo'yicha bir tekis bo'lmagan va oldindan aytib bo'lmaydigan sharoitda turli maqsadlarga mo'ljallangan tizimlarda ma'lumotlarni operativ (tezkor) ayriboshlashning va obyektlar bilan aloqani ta'minlashning zaruriyati hisobiga muhim ahamiyat kasb etdi. Umumiy kanal resurslarining taqsimoti muammosini yechish uchun **multipleksorlash** (multiplexing) va **ko'plab foydalanish** (ko'plab kira olish, multiple access) usullaridan foydalaniladi. "Multipleksorlash" va "ko'plab foydalanish" tushunchalarining bir-biriga o'xshash tomoni – resursni foydalanuvchilararo taqsimlashga mo'ljallanganligidir. Ayni vaqtda ular orasida muhim farq ham mavjud. Multipleksorlashda aloqa kanalining resursi guruh signali $s_{\Sigma}(t)$ ni shakllantiruvchi ohirgi umumiy qurilma tomonidan taqsimlanadi. Ko'plab foydalanishda foydalanuvchilarning signallarini qo'shish (to'plash) natijasidagi $s_{\Sigma}(t)$ guruh signali bevosita kanalda amalga oshiriladi (4.42-rasm, rasmda XM – xabar manbai, UZ – uzatkich, QQ – qabul qilgich, XI – xabar iste'molchi). Ko'plab foydalanish sun'iy yo'ldosh orqali aloqa kanallari, radiokanallar, mobil aloqa kanallari uchun xarakterli hisoblanadi.



4.42-rasm. Ko'plab foydalanishli uzatish tizimi

Multipleksorlash umumiy apparatura ta'minotiga asoslangan bo'lsa, ko'plab foydalanish har bir terminal (apparatura)da saqlanuvchi dasturiy ta'minot orqali amalga oshiriluvchi ma'lum jarayonlar (protokollar)dan

foydalanadi. 4.43-rasmda multipleksorlash usullari keltirilgan, rasmda KChA – kanallarni chastota bo'yicha ajratish, KVA – kanallarni vaqt bo'yicha ajratish, KKA – kanallarni kod bo'yicha ajratish.



4.43-rasm. Multipleksorlash usullari

Kanallarni zichlashtirish jarayonini amalga oshirish uchun ko'pincha xabar manbaiga *kanal signali* deb ataluvchi maxsus signal ajratiladi (biriktiriladi). Xabar bilan modulyatsiyalangan kanal signallari birlashtiriladi va natijada guruh signali $s_g(t)$ hosil bo'ladi. Agar birlashtirish jarayoni chiziqli bo'lsa, u holda $s_{\Sigma}(t) = s_g(t)$ guruh signali chiziqli bo'ladi, ya'ni modulyatsiyalangan kanal signallarini chiziqli qo'shish orqali hosil qilinadi.

Kombinatsion zichlashtirish deb ataluvchi tizimlarda guruh signali bevosita ma'lum mantiqiy (nochiziqli) ishlov berish orqali shakllantiriladi, natijada shakllantirilgan signalning har bir elementi barcha XMdagi axborotni (simvollar kombinatsiyasini) aks ettiradi. Bunday tizimning an'anaviy namunasi ikki karrali chastotali telegraflash hisoblanadi. Bunda ikkita kanalning to'rtta simvollar kombinatsiyasini uzatish uchun to'rtta chastotadan foydalaniladi: $f_1 \rightarrow 00$; $f_2 \rightarrow 01$; $f_3 \rightarrow 10$; $f_4 \rightarrow 11$.

Chiziqli guruh signali $s_{\Sigma}(t)$ ni ajratish qurilmasi har biri faqatgina o'zining kanal signalini ajratuvchi va ideal holatda boshqa kanal signallariga umuman ta'sirlanmaydigan chiziqli tanlovchan zanjirlar to'plamidan iborat bo'ladi. Bunday ideal ajratishni amalga oshirish uchun modulyatsiyalangan kanal signallari chiziqli mustaqil signallar ansamblidan tashkil topgan bo'lishi zarur va yetarli hisoblanadi.

Kanal signalini farqlash belgisi asosida chiziqli zichlashtirish *kanallarni vaqt bo'yicha ajratish (KVA)*, *kanallarni chastota bo'yicha ajratish (KChA)* va *kanallarni kod bo'yicha ajratish (KKA)* turlariga bo'linadi. KKA usulini kanal signallarini *shakl bo'yicha ajratish* deb ham yuritiladi. "Ajratish" atamasi bilan birga "zichlash" atamasidan ham foydalanish mumkin. KChAda umumiy kanalning chastotalar polosasi Δf har biri XM kanalini tashkil qiluvchi bir qancha nisbatan tor polosa Δf_i larga bo'linadi (ajratiladi). KVAda butun polosa Δf turli xabar manbalariga ma'lum vaqt oralig'i bilan navbatma-navbat axborotni uzatish uchun taqdim etiladi.

KKAda umumiy kanal XMLari orasida chastota bo'yicha ham, vaqt bo'yicha ham bo'linmaydi. Turli XM kanallarining signallari vaqt va chastota bo'yicha kesishib, shaklining farqlanishi hisobiga ortogonal bo'lishadi, va bu ularning bir-biridan ajratilishini ta'minlaydi.

Keltirilgan usullarning kombinatsiyasidan iborat bo'lgan usullar ham mavjud. Mobil aloqada ko'plab foydalanish usuli sifatida KChA va KVA kombinatsiyasi, yoki KVA va KChA kombinatsiyalaridan keng foydalaniladi. KChA va KVA kombinatsiyasida har bir chastota kanali belgilangan vaqt oralig'ida bir nechta foydalanuvchilarga taqdim etiladi. KVA va KKA kombinatsiyasida Δf chastotalar polosasida vaqt bo'yicha ajratilgan kanallar KKA prinsipida bir nechta foydalanuvchilarga taqdim etiladi.

Ko'p kanalli axborot uzatishni tashkil etishda zichlashtirish uchun qo'llaniluvchi kanal signallari oldindan belgilangan shaklda xabar manbalari orasida taqsimlangan bo'lishi mumkin. Bunday zichlashtirish usuli birlashtirilgan kanalli zichlashtirish deb ataladi, va unga muvofiq, ya'ni ushbu usul asosidagi ko'p kanalli axborot uzatish tizimi *biriktirilgan kanalli tizim* deb yuritiladi. Shuningdek, kanal signallari oldindan xabar manbalari o'rtasida taqsimlanmaydigan, har bir manbaga uning ehtiyoji (zaruriyati) bo'yicha taqsimlanuvchi ko'p kanalli axborot uzatishni tashkil qilish usuli ham mavjud. Bunday zichlashtirish *biriktirilmagan kanalli zichlashtirish* deb ataladi. Ravshanki, biriktirilmagan kanalli tizimlarda kanallarning to'g'ri ajratilishi uchun qabul qilish tomoniga qaysidir yo'l bilan adresli axborot uzatish talab etiladi.

Ko'p kanalli tizimlar uchun kiritilgan asosiy tushuncha va ta'riflar ko'plab foydalanish tizimlari uchun ham tatbiq etilishi mumkin. Hozirgi vaqtda ko'plab foydalanishning turli usullari o'rganilgan va tavsiya etilgan. Ular kollektiv kanal resursining taqsimoti bo'yicha (muqim o'rnatilgan va dinamik), qaror qabullash jarayonining tabiati bo'yicha (markazlashgan yoki tarqoq), shuningdek kira olish (dostup) rejimining o'zgaruvchan sharoitga moslashish darajasiga ko'ra farqlanadilar.

Ko'plab foydalanish sun'iy yo'ldoshli kanallar (bunday holda "ko'p stansiyali foydalanish" atamasi qo'llaniladi), radiokanallar (paketli radioaloqa), mobil aloqa kanallari, shuningdek ko'p nuqtali telefon liniyalari, mahalliy tarmoqlar uchun xarakterlidir.

Barcha mavjud ko'plab foydalanish usullarini guruhlariga ajratish va ularni turlarga bo'lishda umumiy kanal resursining taqsimotini boshqarish usulini asos sifatida qabul qilish mumkin (4.44-rasm).

Tasodifiy kira olish protokoli. Tasodifiy ko'plab kira olishda aloqa kanalining umumiy resursi kira olish tasodifiy yuz beruvchi bitta kanal

sifatida taqdim etiladi, buning natijasida uzatiluvchi axborot paket (to'p-lam)larining to'qnashuvi hosil bo'lishi mumkin. Nizo (ziddiyat) larni bartaraf qilish maqsadida talabgor foydalanuvchilarga belgilangan harakatlar ketma-ketligini amalga oshirishi tavsiya etiladi. Har bir foydalanuvchi zaruriyat tug'ilganda boshqa foydalanuvchilarning rozilgisiz ham kanalga ma'lumotlar uzatilishini amalga oshirishi mumkin.



4.44-rasm. Ko'plab foydalanish usullari

Teskari aloqaning mavjud bo'lishi o'zaro aloqadagi (birgalikda ishlovchi) foydalanuvchilarga uzatiluvchi axborotning yetib kelganligini nazorat qilish imkoniyatini beradi.

Tasodifiy kira olish strategiyasini amalga oshirishning ikki varianti mavjud: *tashuvchisi nazorat qilinadigan* va *tashuvchisi nazorat qilinmaydigan*. Tashuvchisi nazorat qilinmaydigan tasodifiy kira olish shundayki, bunda ma'lumot uzatish zarur bo'lganda foydalanuvchi terminali darhol paketlarni uzatishni boshlaydi. Paketlar o'zaro sinxronizatsiyasiz uzatilishi hisobiga ustma-ust tushishi mumkin, bu esa o'zaro xalaqitlarning kelib chiqishiga sabab bo'ladi. Teskari aloqa signali bilan tasdiqlangan bunday xatoliklar vujudga kelsa, terminallar xato (buzilgan) uzatilgan paketlarni qayta uzatadi. Xatoliklarning takrorlanishiga yo'l qo'ymaslik uchun qayta uzatish boshlangunga qadar bo'lgan oraliq har bir kanalda tasodifiy ravishda tanlanadi.

Tashuvchisi nazorat qilinuvchi tasodifiy kira olishda boshqa foydalanuvchilar bilan axborot uzatish mavjudligini nazorat qilish imkoniyati bor. Ma'lumot uzatilishi mavjud bo'lmagan holda band bo'lmagan vaqtli oraliq o'zining axborotini uzatish uchun ishlatiladi. Ma'lumotlar to'qnashuvi bo'lgan holda foydalanuvchilar paketlarining uzatilishi Δt vaqt intervaliga ushlab qolinadi (kechiktiriladi). Hozirgi paytda protokolning ikkita turi mavjud: *qat'iy* va *noqat'iy*. Ular orasidagi farq shundaki, birinchi holatda

harakatdagi obyektlarning foydalanuvchilari ma'lumotlar to'qnashuvini aniqlashi bilan uzatishni tezda boshlaydi, ikkinchi holatda esa ma'lum vaqt oralig'idan keyin uzatishni boshlaydi.

Kanal resursining qayd qilingan biriktirilish protokollari foydalanuvchilar o'rtasida kanal resursining statik taqsimotini ta'minlaydi. Ushbu tur protokollarining nisbatan tipik vakillari *kanallarni chastota bo'yicha ajratish bilan ko'plab foydalanish* (FDMA), *kanallarni vaqt bo'yicha ajratish bilan ko'plab foydalanish* (TDMA), va *kanallarni kod bo'yicha ajratish bilan ko'plab foydalanish* (CDMA) lar hisoblanadi.

Kanal resursining qayd qilingan biriktirilishi tarmoq foydalanuvchilarining dinamik o'zgaruvchan talablarini ta'minlay olmasligi mumkin, ya'ni qat'iy boshqarishga ega bo'ladi.

Kanal resursini talab bo'yicha tayinlash kamchiliklardan xalos bo'lishga imkon yaratadi, ammo tarmoq foydalanuvchilarining talablari to'g'risida aniq va batafsil axborotga ega bo'lishni talab qiladi.

Qaror qabullash jarayonining tabiatiga ko'ra resursni talab bo'yicha tayinlash usuli *markazlashgan va tarqoq* usullarga bo'linadi. Resursni talab bo'yicha tayinlashning markazlashgan usuli xabar manbai terminallari tomonidan uzatishga so'rovning mavjudligi bilan xarakterlanadi. Resursni taqdim qilish to'g'risidagi qarorni qabul qilish markaziy stansiya tomonidan amalga oshiriladi.

Har bir harakatdagi obyektga qat'iy biriktirilgan zahira kanallarining mavjudligiga va markaziy boshqaruv stansiyasining mavjudligiga muvofiq protokollar bir-biridan farqlanadi. Protokollar baza stansiyasi o'tkazish qobiliyatidan foydalanish koeffitsiyentining yuqori qiymati bilan xarakterlanadi, biroq bu qiymat qanchalik yuqori bo'lsa boshqarish tizimi ish faoliyatining buzilishiga olib kelishi mumkin.

Tarmoq foydalanuvchilari markaziy stansiyasining ishlashini aniqlovchi zahiralash usuli bo'yicha resursni markazlashgan boshqaruv bilan talabga ko'ra tayinlovchi ikkita usul mavjud.

Resursni talab bo'yicha tayinlashning tarqoq usuli shu bilan farqlanadiki, bunda barcha foydalanuvchilar markaziy stansiya yordamiga tayanmasdan turib bir xil (bitta) jarayonni shakllantiradi va bir-biri bilan almashinuvchi qo'shimcha xizmat axborotidan foydalanadi. Taqsimlangan boshqaruvli barcha algoritmlar foydalanuvchilar o'rtasida boshqaruv axborotlarini almashishni talab qiladi. Protokollar zahira kanallarining harakatdagi obyektga qat'iy biriktirilishi bilan xarakterlanadi. Bunda har bir obyektga so'rov kanallarining biriktirilish jadvali mavjud bo'ladi, natijada

istalgan harakatdagi obyekt istalgan vaqt momentida barcha tarmoq holati to'g'risida axborotga ega bo'ladi.

Kombinatsion usul resurs taqsimoti avvalgi usullarining kombinatsiyalaridan iborat bo'lib, foydalaniladigan kanal resurslarining optimalga yaqin bo'lgan xarakteristikalarini olish maqsadida turli foydalanuvchilar uchun adaptiv (moslashuvchan) hisoblangan usulni tanlashdan iborat bo'lgan strategiyani amalga oshiradi. Optimallik mezoni sifatida kanalning o'tkazish qobiliyatidan foydalanish koeffitsiyenti qabul qilinadi.

Shunday qilib, resurs taqsimotining ko'rib chiqilgan usullari har biri afzallik va kamchiliklarga ega. Amaliyotda barcha usullar to'g'risida ma'lumotga ega bo'lish va ishchi sharoitning ma'lum o'zgarishida bitta usuldan ikkinchi usulga adaptiv o'tishni amalga oshirishni bilish maqsadga muvofiq.

4.7.2. Signallarni birlashtirish va ajratish masalasining qo'yilishi

Aloqa kanalining o'tkazish qobiliyati C manbaning xabar ishlab chiqarish imkoniyati H' dan katta bo'lsagina kichik ehtimollikli xatolik bilan xabarlarni uzatishni amalga oshirish mumkin, ya'ni

$$C \geq H', \quad (4.93)$$

bunda, H' – manbaning xabar ishlab chiqarish imkoniyati bo'lib, u quyidagicha aniqlanadi

$$H' = V_m \cdot H(x),$$

bunda, V_m – simvollarni uzatish tezligi; $H(x)$ – manba entropiyasi, ya'ni bitta simvolga to'g'ri keluvchi o'rtacha axborot miqdori.

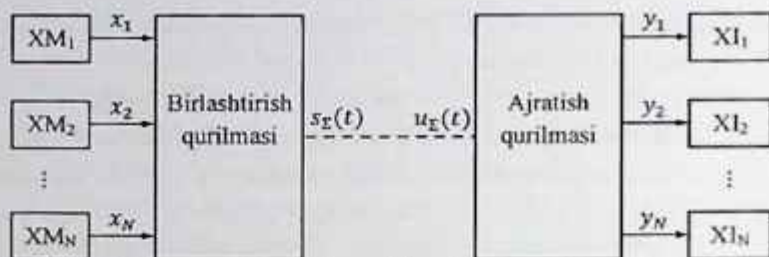
Manbaning xabar ishlab chiqarish imkoniyati ma'lumki, mavjud aloqa kanallarining o'tkazish imkoniyatidan ancha kichik hisoblanadi. Bu kanal bo'yicha bir qancha manbalarining xabarlarini uzatish yo'li bilan kanaldan foydalanish samaradorligini oshirishga imkon yaratadi. Kanaldan bunday foydalanish *zichlash* deb ataladi.

Ravshanki, kanalni multipleksorlash (birlashtirish va ajratish) da quyidagi shart bajarilishi lozim:

$$H'_N = \sum_{i=1}^N H'_i \leq C, \quad (4.94)$$

bunda, N – mustaqil manbalarining soni.

Multipleksorlash qo'llanilgan aloqa tizimi ko'pincha ko'p kanalli aloqa tizimi deb ataladi (4.45-rasm.)



4.45-rasm. Ko'p kanalli xabar uzatish tizimi

N ta manba $x_1, x_2, \dots, x_n$ xabarlarni ishlab chiqarsin. Signallarni birlashtirish masalasi $\{x_i\}$ to'plamni $s_\Sigma(t)$ guruh signaliga aylantirishdan iborat. Guruh signali zichlashtiruvchi kanal orqali o'tib, ajratish qurilmasiga $n(t)$ additiv xalaqit bilan aralashma ko'rinishida yetib keladi:

$$u_\Sigma(t) = s_\Sigma(t) + n(t). \quad (4.95)$$

Ajratish qurilmasining vazifasi $u_\Sigma(t)$ guruh signalini ajratish va uni $y_1, y_2, \dots, y_n$ xabarlar to'plamiga aylantirishdan iborat. Buning uchun tizim funksiyasi $\{s_i\}$ ni shunday tanlash zarurki, bunda qabul qilingan $u_\Sigma(t)$ guruh signali bo'yicha y_i dan x_i ni qayta tiklash ta'minlanishi kerak.

Individual (alohida) signallarning bir-biriga bo'ladigan ta'sirlaridan saqlanish uchun ular odatda o'zaro ortogonal qilib tanlanadi, ya'ni har qanday s_i va s_j ($i \neq j$) signallar juftligi uchun quyidagi shart bajarilishi lozim

$$\int_{-T/2}^{T/2} s_i(\omega, t) \cdot s_j(\omega, t) dt = 0.$$

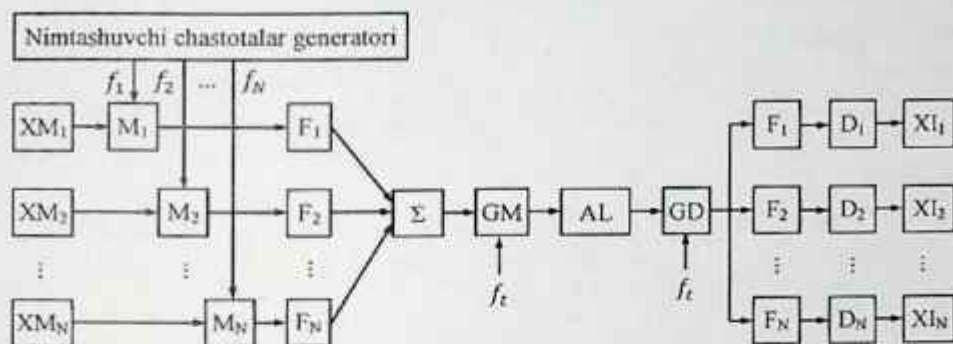
4.7.3. Kanallarni chastota bo'yicha ajratish

Zamonaviy telekommunikatsiya tizimlari va tarmoqlarini qurish shuni ko'rsatadiki, ushbu tizimlarning eng ko'p mablag' sarflanishini talab qiladigan qismi aloqa liniyalaridir. Bular, kabelli, optik tolali, sotali mobil aloqa, sun'iy yo'ldosh orqali aloqa, radioreley liniyalari, troposfera aloqa liniyalari va boshqalar. Shuning uchun aloqa liniyalaridan foydalanish samaradorligini oshirishda ularning har biri orqali bir emas, bir nechta (yuzlab, minglab) xabarlarni bir vaqtning o'zida uzatishni ta'minlash kerak.

Kanallarni chastota bo'yicha birlashtirish va ajratish prinsipi

Kanallarni chastota bo'yicha ajratishda turli xabar manbalarining ma'lumotlarini uzatish uchun ma'lum chastotalar nimdiapazonidan foydala-

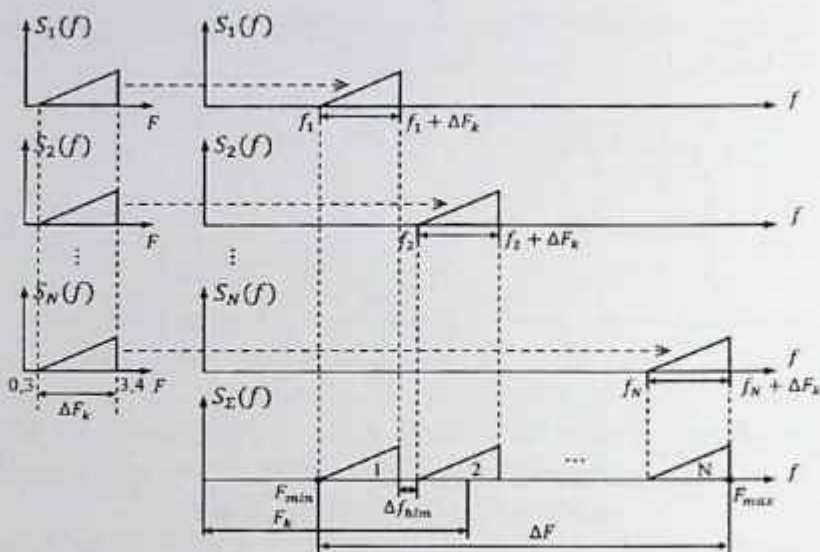
niladi. KChAga asoslangan ko'p kanalli aloqa tizimlarining soddalashgan funksional sxemasi 4.46-rasmda keltirilgan.



4.46-rasm. KChAga asoslangan ko'p kanalli aloqa tizimlarining soddalashgan funksional sxemasi

Guruh signali spektri $S_{\Sigma}(t)$ ni hosil qilish asosiy bosqichlariga tegishli jarayonlar 4.47-rasmda keltirilgan.

Xabar manbalari chiqishidagi $S_1(f)$, $S_2(f)$, ..., $S_N(f)$ spektrga ega signallar mos holda har biri o'zining nimtashuvchi chastotasi bilan $M_1, M_2, \dots, M_N$ modulyatorlar yordamida modulyatsiyalanadi. KChAda asosan bir polosali amplituda modulyatsiyasidan foydalaniladi. $F_1, F_2, \dots, F_N$ polosali filtrlari chiqishida hosil bo'lgan kanal signallari qo'shiladi va ularning to'plami $S_{\Sigma}(t)$ guruh modulyatori (GM) ga beriladi. Ushbu modulyatorda $S_{\Sigma}(f)$ spektr tashuvchi chastota tebranishi yordamida ushbu kanallarning guruh signallarini uzatish uchun ajratilgan chastotalar sohasiga o'tkaziladi, ya'ni guruh signali aloqa liniyasi (kabelli, radio, radioreleyli, sun'iy yo'ldoshli aloqa liniyasi) bo'yicha uzatiladigan, *liniya signali* deb ataluvchi signalga aylantiriladi. Bunda modulyatsiyaning istalgan turidan foydalanish mumkin. Qabullash tomonida teskari o'zgartirishlarning barcha majmui amalga oshiriladi. Guruh demodulyatori (GD) da liniya signali guruh signaliga aylantiriladi, va undan filtrlar yordamida kanal signallari ajratib olinadi. Detektor $D_1, D_2, \dots, D_N$ lar yordamida esa kanal signallari birlamchi xabar signallariga aylantiriladi.



4.47-rasm. KChAda guruh spektrini shakllantirish

Guruh signali, uning tarkibi va xarakteristikalar

Ko'p kanalli aloqa tizimlari analog va raqamli bo'lishi mumkin. Ko'p kanalli analog aloqa tizimlarini unifikatsiyalash maqsadida asos qilib standart telefon kanali – tonal chastota (TCh) kanali qabul qilingan bo'lib, u 300÷3400 Hz kenglikdagi spektrga ega bo'lgan xabarlarni uzatishni ta'minlaydi. Ko'p kanalli raqamli aloqa kanallarida 64 kbit/sek tezlikda xabar uzatishga mo'ljallangan kanallar qabul qilingan. Ko'p kanalli analog aloqa 12 ga karrali kanallarni birlashtirish asosida shakllantiriladi. Raqamli ko'p kanalli aloqa tizimlari qabul qilingan ierarxiya (bosqich) tartibiga qarab shakllantiriladi. Yevropa mamlakatlari ierarxiyasiga mos qilib birlamchi ko'p kanalli raqamli uzatish tizimi IKM-30 qabul qilingan bo'lib, u orqali signal guruhini uzatish tezligi 2048 kbit/s. Bizda yevropa ierarxiyasidan foydalaniladi.

O'tish xalaqitlarini kamaytirish maqsadida chastotalar polosasi orasiga $\Delta f_{him} = 0,9$ kHz ga teng *himoya oralig'i* kiritiladi. Natijada bitta kanal 4 kHz ga teng bo'lgan chastotalar polosasini egallaydi.

Real guruh signali chastota sohasida (4.47-rasm) quyidagi parametrlar bilan xarakterlanadi:

- guruh signali chastotalar polosasining kengligi ΔF ;
- pastki F_{min} va yuqori F_{max} chastotalar chegarasi;
- kanallar soni N ;
- kanallarning effektiv uzatiluvchi chastotalar polosasi ΔF_k ;

- chastotalar o'qidagi kanallar chastotalarining o'rtacha qiymati F_k ;
- nimtashuvchi chastotalar qiymati f_k ;
- kanallararo himoya chastotalar polosasi Δf_{him} .

Ko'p kanalli tizimlarning tuzilishi iyerarxik tamoyil bo'yicha amalga oshiriladi. 4.9-jadvalda kanallarni chastota bo'yicha birlashtirish iyerarxiyasining asosiy xarakteristikalarini keltirilgan.

4.9-jadval

Kanallarni chastota bo'yicha birlashtirish iyerarxiyasining asosiy xarakteristikalarini

<i>Kanallar guruhi</i>	<i>Chastotalar polosasi, kHz</i>	<i>Kanallar va guruhlar soni</i>
Tonal chastota (TCh) kanali	0,3...3,4	—
Birlamchi guruh (BG)	60...108	12 ta TCh
Ikkilamchi guruh (IG)	312...552	5 ta BG = 60 ta TCh
Uchlamchi guruh (UG)	812...2044	5 ta IG = 300 ta TCh
To'rtlamchi guruh (TG)	8516...12388	3 ta UG = 900 ta TCh

Ko'p kanalli tizim (guruh) signali kanallarning umumiy soniga, ayni vaqtda ishlayotgan kanallar soniga, abonent liniyasidagi so'nishga, abonentning shaxsiy xususiyatlariga bog'liq bo'lgan murakkab tarkibga ega bo'ladi.

Ko'p kanalli axborot uzatish tizimlarini loyihalash va yaratish jarayonida guruh xabarlarini, xususan chiziqli trakt kirishidagi signallarni o'zgartirishning turli bosqichlarida ularning parametrlarini miqdoriy baholash zaruriyati tug'iladi. Ushbu parametrlar mos holda chastota, axborot va energetik xarakteristikalar bilan aniqlanadi. Birinchi ikkita guruh xarakteristikalarini va ular bilan bog'liq parametrlarni KChAga asoslangan tizimlarda "proporsional o'sish" prinsipi asosida aniqlash mumkin. Masalan, 12 ta va 60 ta TCh kanallarini birlashtirish natijasidagi xabarlarini solishtirib, shuni qayd qilish mumkinki, ikkilamchi guruh xabarlarini birlamchi guruh xabarlariga qaraganda 5 marotaba keng polosani egallaydi va shunga muvofiq uning maksimal axborot yuklamasi birlamchi guruh xabarlariga nisbatan 5 marta yuqori. Bu qo'shni kanallar xabarlarining spektri bir-birini to'smaydi, xabar manbalari esa o'zining parametri bo'yicha bir jinsli hisoblanadi.

"Proporsional o'sish" prinsipini guruh signalining oniy quvvati, uning pik-faktori, dinamik diapazoni va boshq. kabi energetik xarakteristikalariga

nisbatan qo'llash mumkin emas. Bu holat KChAga asoslangan ko'p kanalli tizimlarning quyidagi xususiyatlari bilan bog'liq:

- guruh xabarining oniy qiymati birlashtiriluvchi barcha kanallar xabarlari oniy qiymatlarining "o'zaro ta'siri" (qo'shilishi) natijasi hisoblanadi;
- guruh xabarining umumiy quvvatini hisoblash 95% dan kam bo'lmagan kanallar faqatgina telefon aloqasi uchun ishlatiladi degan faraz asosida amalga oshiriladi. Bu shuni bildiradiki, hisoblashlarda keng chegarada o'zgaruvchi kanal signallarining tasodifiy xarakterini e'tiborga olish zarur;
- guruh xabarining oniy quvvati birlashtiriluvchi kanallarning umumiy soni N bilan emas, balki "aktiv" kanallar soni bilan aniqlanadi. Agar abonentlardan bittasi j'm tursa (masalan, boshqa abonentni tinglayotgan bo'lsa) yoki, so'zlar yoki jumlar orasida sukunat vaqti (pauza) bo'lsa, u holda bu kanal ayni vaqt momentida aktiv kanallar soniga kiritilmaydi. Kanal u orqali xabar uzatilayotgan vaqt oralig'idagina aktiv hisoblanadi.

Ko'rib chiqilgan xususiyatlardan kelib chiqadiki, guruh xabarining energetik ko'rsatkichlarini baholashda mos statistik qonuniyatlar asosida aniqlangan o'rtacha xarakteristikalariga tayanish kerak.

4.7.4. Kanallarni vaqt bo'yicha ajratish

Hozirgi paytda radioreleyli aloqa liniyalarida axborot uzatishda KChA usuli bilan bir qatorda kanallarni vaqt bo'yicha ajratish (KVA) usuli ham qo'llanilmoqda. KChA-ChMli radioreleyli liniyalar nisbatan yuqori texnik-iqtisodiy ko'rsatkichlarga ega, ammo shu bilan birga muhim kamchilikka ham ega: liniyaning oraliq stansiyalarida joylashgan abonentlar guruhi uchun bir qism kanallarni uzatishni tashkil qilish murakkabligi. Har bir tarmoq (shaxobcha)lanish oraliq stansiyada kanallarning zichlashtirilishi bilan bog'liq.

KVAl radioreley liniyalari keng qo'llanilmoqda. Ularning asosiy afzalliklari kanallar guruhini ajratishdagi soddaligidir, bu ayniqsa harakatdagi radioreley stansiyalarini tashkil qilishda muhim hisoblanadi.

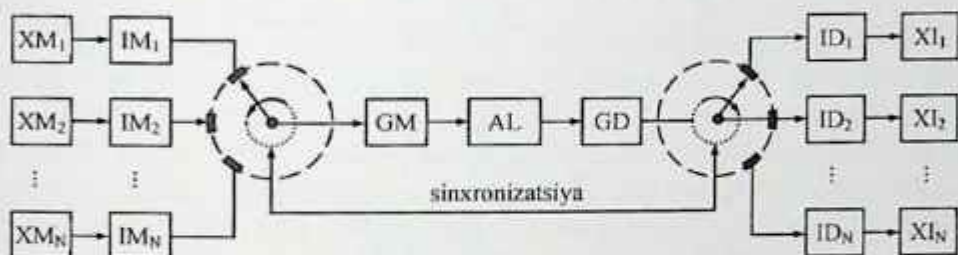
Vaqt bo'yicha ajratish uzluksiz signallar o'rniga impuls (oniy qiymatlar) ketma-ketligini uzatish imkoniyatiga asoslangan. Chunki, impulsli uzatishda impulsning takrorlanish davri odatda, ularning davomiyligidan ancha katta (impuls katta chuqurlikka ega bo'ladi), bitta signalning impuls orasida oraliq mavjud bo'ladi va oraliqqa boshqa bir signalning oniy qiymatlarini (impulsini) joylashtirish mumkin bo'ladi. Hozirgi vaqtda

12, 15, 30, 120, 480 ta nutq signallarini vaqt bo'yicha ajratishli ko'p kanalli tizimlar ishlab chiqilgan va foydalanilmoqda.

KVAl radioreleyli liniyalar impulsar modulyatsiyasining analog: *impuls amplitudasi modulyatsiyasi (IAM)*, *impuls kengligi modulyatsiyasi (IKgM)*, *impuls fazasi modulyatsiyasi (IFM)* turlari bilan birga raqamli: *impuls-kodli modulyatsiya (IKM)* va *delta modulyatsiya (DM)* kabi turlaridan ham foydalanishga mo'ljallangan.

Kanallarni vaqt bo'yicha ajratish prinsipi

Kanallarni vaqt bo'yicha ajratishga asoslangan ko'p kanalli tizimlar analog va diskret axborotlarni uzatish uchun keng qo'llaniladi. Kanallarni vaqt bo'yicha ajratish prinsipini 4.48-rasmda keltirilgan uzatish va qabullash tomonida sinxron aylanuvchi taqsimlagich orqali tushuntirish qulay hisoblanadi.



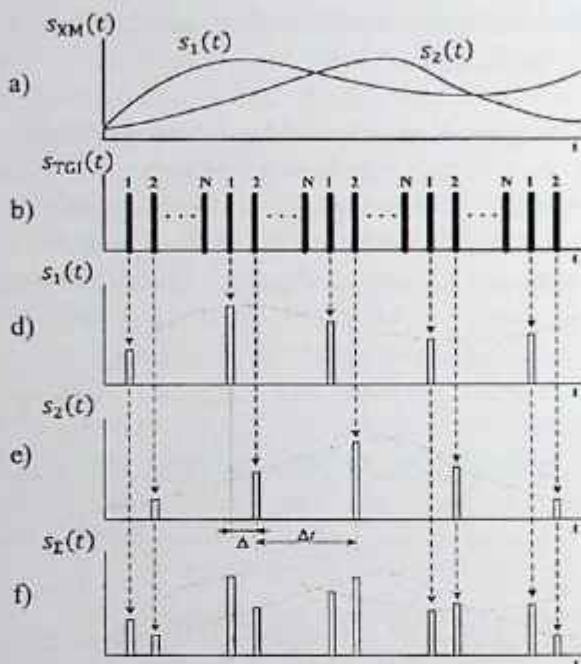
4.48-rasm. KVA ko'p kanalli axborot uzatish tizimining soddalashgan blok sxemasi

Guruh signali $s_{\Sigma}(t)$ ni shakllantirishning asosiy bosqichlariga tegishli jarayonlar 4.49-rasmda keltirilgan.

N ta analog signal manbalaridan axborot mos xususiy impulsli modulyator (IAM, IKgM, IFM) larning kirishiga beriladi. Birinchi impulsli modulyator (IM_1) chiqishidagi $s_1(t)$ (4.49d-rasm) va ikkinchi impulsli modulyator (IM_2) chiqishidagi $s_2(t)$ (4.49e-rasm) signallarning oniy qiymatlari bir xil $\Delta t = 1/2F_m$ oraliqda, ammo bir-biri bilan ustma-ust tushmasligi uchun vaqt bo'yicha Δ ga siljirilgan qilib olinadi.

Uzatuvchi taqsimlagich barcha manbalarining impulslarini yig'ib $s_{\Sigma}(t)$ signalni shakllantiradi va ushbu guruh signalining spektri guruh modulyatori (GM) yordamida aloqa liniyasi uchun ajratilgan chastotalar sohasiga o'tkaziladi. Aloqa liniyasi bo'yicha uzatiluvchi guruh signali $s_{\Sigma}(t)$ birinchi va ikkinchi manbalarining axborotlarini bir vaqtda tashishni amalga oshiradi. Qabullash tomonida guruh demodulyatori (GD) chiqishidagi guruh signali

$s_{\Sigma}(t)$ ning impulslari qabullovchi taqsimlagichning aylanuvchi kontaktlariga beriladi va $s_1(t), s_2(t), \dots, s_N(t)$ kanallar ketma-ketligi shakllantiriladi. Ushbu kanallar ketma-ketligidan impulslı detektorlar (ID) yordamida mos xabar iste'molchisiga yetkaziluvchi uzluksız signallar shakllantiriladi.



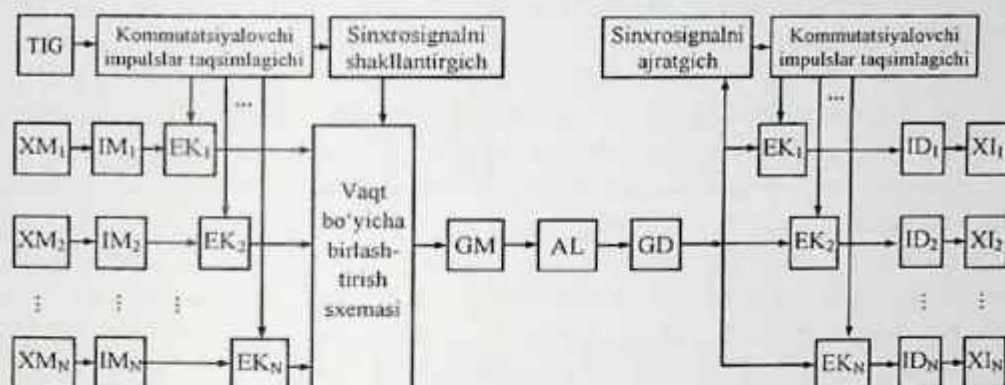
4.49-rasm. KVAda guruh signalini shakllantirishning asosiy bosqichlari

Qayd qilish lozimki, 4.48-rasmdagi sxema vaqt bo'yicha zichlashtirish jarayonini tushuntirishga xizmat qiladi va zamonaviy texnik kommutatsiyaning usullarini aks ettirmaydi. Real sharoitda vaqt bo'yicha zichlashtirish apparaturasi mexanik taqsimlagichsiz amalga oshiriladi, ya'ni ular xuddi shunday funksiyani bajaruvchi elektron taqsimlagichlarga almashtiriladi.

Barcha impulslı modulyatorlarning chiqishlari "o'zining" elektron kalitlariga ulangan bo'lib, ularning ishlashini kommutatsiyalovchi impulslar taqsimlagichi boshqaradi. O'z navbatida ushbu taqsimlagich takt impulslari generatori (TIG) tomonidan ishga tushiriladi.

Signallarni vaqt bo'yicha ajratish 4.50-rasmda keltirilgan soddalashtirgan strukturaviy sxema asosidagi qurılma yordamida amalga oshiriladi. Qabul qilingan guruh radiosignali guruh demodulyatorida guruh impulslar ketma-

ketligiga aylantiriladi va bir vaqtda sinxrosignal ajratkichi kirishiga va kanal elektron kommutatorlari (EK) kirishiga beriladi.



4.50-rasm. KVga asoslangan ko'p kanalli aloqa tizimi

Vaqt bo'yicha ajratish jarayoni ikki bosqichda amalga oshiriladi. Birinchi bosqichda tizimning sinxronlash jarayoniga kirishi ro'y beradi, ya'ni sinxronizatsiya signallarini qidirish, aniqlash va ajratish amalga oshiriladi, undan so'ng kommutatsiyalovchi kanal impulslari taqsimlagichi ishga tushiriladi. Taqsimlagich o'zining chiqishida zaruriy davomiylikka ega bo'lgan impulslarni shunday navbat (ketma-ketlik) bilan shakllantiradiki, bunda har bir kanal oralig'ida faqat bitta mos kanal elektron kommutatori ochiladi, ya'ni ishga tushadi.

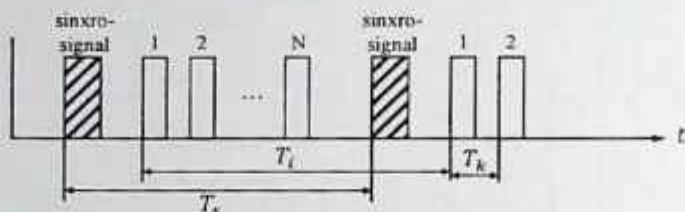
Ikkinchi bosqichda har bir kanal impulsi impulsli detektorlar yordamida demodulyatsiyalanadi va qabul qilinuvchi kanallar signallari analog axborot iste'molchilariga yetkaziladi.

KVga asoslangan tizim guruh signalining xarakteristikalar

Kommutatsiyalovchi impuls taqsimlagichning chiqishida ma'lum ketma-ketlik bilan hosil bo'ladi (4.51-rasm): har bir kanalga T_k vaqt oralig'i ajratiladi, va bu oraliqda faqatgina ushbu kanalning axboroti uzatiladi. Navbatdagi kanal oldingi kanal ajratilgandan so'ng ulanadi, bu kommutatsiyalovchi impuls bilan boshqariluvchi elektron kalit yordamida amalga oshiriladi.

Har bir impulsli modulyator elektron kalit orqali vaqt bo'yicha birlashtirish sxemasiga ulanadi, bu guruh siklida ushbu kanal bo'yicha axborot uzatish uchun ajratilgan, $T_k = T_i/N$ davomiylikka ega bo'lgan vaqt oralig'i davridagina amalga oshiriladi. Bitta va faqat ushbu kanal uchun bu oraliqning takrorlanish davri T_i vaqt bo'yicha *diskretlash davri yoki takt*

intervali deb ataladi. Ravshanki, kanallarning kommutatsiyasi aloqa liniyasining uzatish va qabullash tomonida sinxron va sinfazali bo'lishi lozim.



4.51-rasm. Guruh signali parametri

Hozirgi vaqtda vaqt bo'yicha birlashtirish sxemalarida kanallarni kommutatsiyalashning ikkita usuli qo'llaniladi. Birinchi usulda har bir kanal davriy ravishda ulanadi va bitta kanaldan ikkinchisiga o'tish qat'iy belgilangan navbat bilan amalga oshiriladi. Bunday so'rov usuli asosidagi tizim ***sinxron tizim*** deb ataladi. Ikkinchi usulda so'rov nodavriy va avvaldan belgilanmagan navbat bilan ixtiyoriy amalga oshiriladi. Bunday holatda tizim ***asinxron tizim*** hisoblanadi.

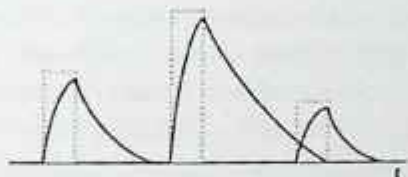
Ko'rilayotgan sinxron tizimda axborot (kanal) impulslarini bexato tanib olish va ajratib olish uchun qabullash tomonida ko'p kanalli guruh signaliga ***sinxronizatsiya impulslari*** deb ataluvchi maxsus impulslar kiritiladi.

Sinxrosignal maxsus qurilma orqali shakllantiriladi va guruh videosignaliga qat'iy belgilangan vaqt holati bilan kiritiladi (4.51-rasm), shu tufayli qabullash tomonida har bir axborot impulsi faqat o'zining ishlov berish trakti kirishiga kelib tushadi.

Odatda sinxrosignal axborot videoimpulslaridan uni ishonchli aniqlash va ajratish uchun zarur bo'lgan qandaydir parametri (amplitudasi, davomiyligi, fazasi va boshq.) bilan farq qiladi.

Vaqt bo'yicha birlashtirish sxemasining chiqishidagi barcha manbalarining signallaridan bittadan olingan impulslarning to'plami ya'ni, videoimpulslar guruhi (axborot va sinxronizasiyalovchi) ***sikl*** deb, ushbu siklga mos vaqt oralig'i ***sikl davomiyligi*** T_s deb ataladi (4.51-rasm). 4.51-rasmdagi shtrixlangan impuls sikl (guruh) sinxronizasiyasining signali deyiladi. Modomiki, turli kanallarning videoimpulslari bir-biridan keyin qat'iy navbat bilan joylashar ekan, ularning vaqt bo'yicha egallagan holatida kanalning raqami haqida axborot mujassam bo'ladi. So'ng guruh signalini aloqa liniyasi bo'yicha uzatilishga yaroqli chiziqli radiosignalga aylantirish uchun guruh modulyatorining kirishiga beriladi.

Vaqt bo'yicha birlashtirishda alohida (individual) signal har bir elementining vaqt bo'yicha tarqalishi (kengayishi) cheklangan, ya'ni ayni vaqtdagi signalni uzatish oralig'idan tashqarida uning qiymati nolga teng bo'lishi shart deb qabul qilinadi. Ammo, biz bilamizki cheklangan davomiylikli signallar cheksiz keng spektrga ega bo'ladi. Real aloqa kanallari impulslar ketma-ketligi spektrining cheklanishiga sabab bo'ladi, natijada impulslarning vaqt bo'yicha yoyilishi (kengayishi) ga olib keladi va ularning boshqa kanallar uchun mo'ljallangan qo'shni vaqt oralig'iga o'tib ketishiga sharoit yaratadi (4.52-rasm). Natijada *o'tish xalaqitlari* deb nomlanuvchi xalaqitlar vujudga keladi. O'tish xalaqitlarini kamaytirish uchun yoki guruh traktining o'tkazish polosasini kengaytirish, yoki N ni kamaytirish (bu kanalning o'tkazish qobiliyatidan to'liq foydalanmaslikka olib keladi) talab etiladi. Shuningdek individual signallar orasida *vaqtili himoya oralig'i* ham qo'llaniladi. Bu o'tish xalaqitlarining ta'sirini ruxsat etilgan sathgacha kamaytirish imkoniyatini beradi, ammo mos holda zichlashtirishning spektral bahosini oshiradi.



4.52-rasm. *Impulslarning o'zaro to'silishi*

Qayd qilish lozimki, o'tish xalaqitlarining yuzaga kelish sababi bitta manba signalining boshqa bir manba signali bilan qo'shilishi natijasida paydo bo'luvchi ko'p nurli tarqalish bo'lishi ham mumkin. Bu holat bilan ayniqsa qisqa to'lqinli radiokanallarda hisoblashish, kurashish muhim hisoblanadi. Bunday o'tish xalaqitlaridan himoyalaniish uchun nurlar orasidagi maksimal kechikish vaqtdan kichik bo'lmagan davomiylikli himoya oralig'ini qo'llash ham maqsadga muvofiq hisoblanadi.

Nazariy jihatdan KChA va KVA tizimlarida chastotalar polosasidan foydalanish samaradorligi bir xil bo'lgani bilan, amalda KVA tizimi KChA ga qaraganda nisbatan kamroq samaradorlikka ega. Har bir usul afzallik va kamchiliklarga ega. Vaqt bo'yicha ajratishga asoslangan KKAT apparaturasi chastota bo'yicha ajratishga asoslangan KKATga nisbatan oson amalga oshiriladi. Chastota bo'yicha ajratishga asoslangan KKATda har bir kanal uzatish tomonida o'z modulyatoriga va qabullash tomonida chastota bo'yicha ajratuvchi filtrga ega bo'lishni talab qiladi. Vaqt bo'yicha ajratishga

asoslangan KKATda modulyatsiyalangan signal dinamik diapazoni nisbatan kichik.

Shuni alohida ta'kidlash lozimki, KKATda xabarlarini talab etiladigan xalaqitbardoshlik bilan uzatish uchun talab etiladigan signalning umumiy quvvati P_{su} bir kanalli aloqa tizimidagiga nisbatan N marta katta bo'ladi, chunki KKATdagi umumiy xalaqit quvvati $P_{xu} = NP_1 = NN_0F_k$, bunda N_0 – xalaqit energiyasining spektral zichligi, F_k – bitta kanal polosasining kengligi. Haqiqatda esa yuqoridagi shart bajarilganda ham KKAT xalaqitbardoshligi bir kanalli aloqa tizimi xalaqitbardoshligidan kam bo'ladi, chunki chastota bo'yicha ajratishga asoslangan KKATda signal umumiy quvvati P_{su} ni oshirish natijasida o'tish xalaqitlarini kamaytirib bo'lmaydi, chunki o'tish xalaqitlarining quvvati ham oshadi, ba'zi hollarda noxiziqli buzilishlar natijasida hosil bo'ladigan xalaqitlar sathi signal quvvati oshishiga nisbatan tezroq ro'y beradi.

4.7.5. Signallarni shakl bo'yicha ajratish

Signallarni ajratish uchun nafaqat chastota va vaqtdan, balki signalning shaklidan ham foydalanish mumkin. Kanallarni shakl bo'yicha ajratish (KShA) chastota va vaqt bo'yicha ajratishlarga nisbatan hozircha keng qo'llanilishga erishmagan. Uning chinakam qo'llanilishi va istiqboli sun'iy yo'ldosh va mobil tizimlardagi ko'plab foydalanishning yuqori darajasi bilan bog'liq. Mobil aloqada kod bo'yicha ajratish IMT-2000 mobil aloqa tizimining rivojlanish konsepsiyasi loyihasida ko'plab foydalanishni ta'minlashning asosiy turlaridan biri sifatida qaraladi.

Kanallarni shakl bo'yicha ajratish texnologiyasi turli-tuman radiovositalar (mobil terminal, alohida radiostansiyalar, sun'iy yo'ldosh orqali aloqaning yerdagi stansiyalari va h.k.) ning ΔF umumiy chastotalar polosasida bir vaqtda ishlash imkoniyatini ta'minlaydi.

Radiovositalarning signallari $s_i(t)$ foydalanuvchilarning qabullash qurilmalariga beriladigan yig'indi (guruh) signali $s_\Sigma(t) = \sum_{i=1}^N s_i(t)$ ni tashkil qiladi, $\{s_i(t)\}$ signallarning o'zaro ortogonaligi korrelyatsion qabullagichning $s_\Sigma(t)$ signalidan kerakli $s_i(t)$ signalni ajratib olish imkonini ta'minlaydi.

4.7.6. Asinxron-manzilli aloqa tizimlari

Ko'pgina hollarda sinxronizatsiyani ta'minlash murakkab hisoblanadi. Bunday vaziyat bilan, masalan harakatdagi obyektlar (avtomashina, samolyot) o'rtasida tezkor aloqani tashkil etishda yoki retranslyatorlar sifatida Yer sun'iy yo'ldoshidan foydalanib tezkor aloqani tashkil etishda to'qnash

kelish mumkin. Bunday holatlarda barcha abonentlarning signallari umumiy chastotalar polosasida uzatiluvchi, kanallari esa vaqt bo'yicha o'zaro sinxronizatsiyalanmagan asinxron ko'p kanalli aloqa tizimidan foydalanish mumkin. Erkin kirishli tizimlarda har bir kanal (abonent) ga belgilangan signal shakli biriktiriladi, va bu ushbu abonentni farqlovchi belgisi, ya'ni "manzili" hisoblanadi. Asinxron-manzilli aloqa tizimlari nomi ham shundan kelib chiqqan.

Abonentning manzili tasodifiysimon (shovqinsimon) signallar shaklida yoki bir xil yoki turlicha chastota bilan to'ldirilgan bir qancha radioimpulslar ketma-ketligi shaklida kodlanishi mumkin. Agar radioimpulslar turlicha chastota bilan to'ldirilgan bo'lsa, u holda manzil chastota-vaqt matritsa (ChVM) shaklida kodlangan deb qaraladi. Manzillar radioimpulslar o'rtasida vaqt oralig'i asosida, shuningdek ularning to'ldirilish chastotalari asosida bir-biridan farqlanadi.

Asinxron-manzilli aloqa tizimlarining ishlash prinsipini 4.53-rasmda keltirilgan umumlashgan strukturaviy sxema asosida ko'rib chiqamiz.

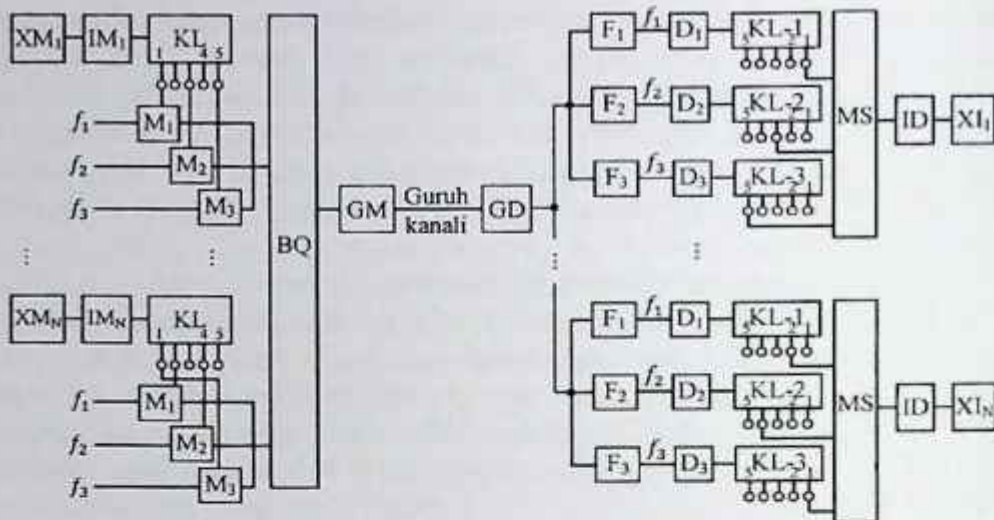
$XM_1, \dots, XM_N$ manbalardan olingan xabarlar impulsli modulyatsiyalanadi. Ba'zi tizimlarda impulslar fazasi modulyatsiyasidan foydalanilsa, boshqalarida delta modulyatsiyaning ayrim turlaridan foydalaniladi. So'ng birlamchi impulsli modulyatsiya natijasida olingan har bir impuls pauzalar bilan ajratilgan n ta impulsdan iborat manzil ketma-ketligiga aylantiriladi.

Manzil ketma-ketligini shakllantirish 4.53-rasmda ko'rsatilgan l ta tarmoqli kechiktirish liniyasi (KL) yordamida amalga oshiriladi. Manzilni shakllantirish uchun l ta tarmoqdan faqat n tasi ishlatiladi, bunda boshqa manzilni shakllantirish uchun n ta tarmoqning boshqa birikmasi (kombinatsiyasi) dan foydalaniladi.

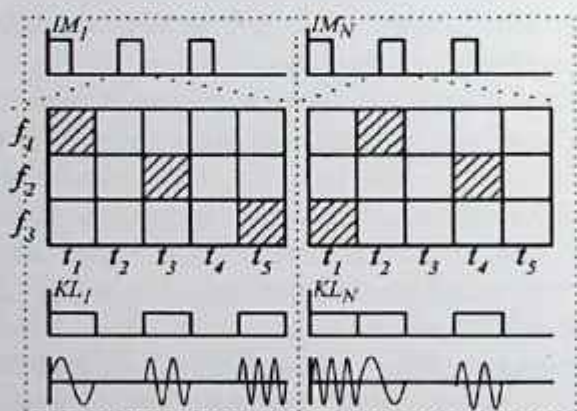
Ushbu n impulslar o'zining to'ldirilish chastotasi bilan farqlanadi (zichlashtirish tizimida bunday chastotalar jami m ta) va vaqt bo'yicha l ta turli holatlarni egallashi mumkin. Misol sifatida $n = m = 3$ va $l = 5$ bo'lgan tizim uchun bunday manzil ketma-ketligini shakllantirish varianti 4.54-rasmda keltirilgan.

Shunday qilib, xabarni birlamchi impulsli modulyatsiyalash natijasida hosil bo'lgan impuls kechiktirish liniyasida n ta impulska ajratiladi. Ushbu n impulslarning har biri vaqt bo'yicha l ta holatdan birini egallashi mumkin va o'zining chastotasida uzatiladi.

Birinchi impulska nisbatan impulslar holatini vaqt bo'yicha o'zgartirib, shuningdek impulslarning to'ldirilish chastotasini o'zgartirib, ko'plab sonli manzil kod kombinatsiyalarini (zichlashning katta darajasini) hosil qilish mumkin.

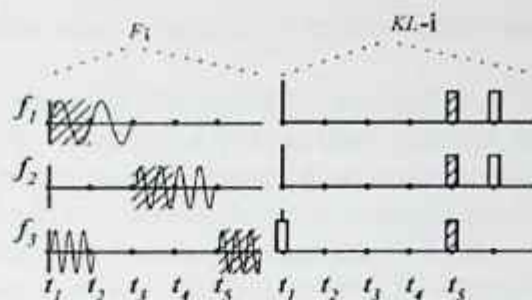


4.53-rasm. Asinxron-manzilli aloqa tizimining umumlashgan strukturaviy sxemasi



4.54-rasm. Asinxron-manzilli aloqa tizimlari uchun manzil ketma-ketligi

Har bir alohida qabul qilgich kechiktirish liniyasi va mos tushish sxemasi (MS) dan iborat bo'lgan noxiziqli qurilmadan iborat bo'ladi va faqat belgilangan (aniq) radioimpulslar ketma-ketligiga ta'sirlanadi (4.55-rasm).



4.55-rasm. Xabarlarni ajratish jarayoni

Qabul qilgich har biri tegishli chastotaga sozlangan n ta $F_1, F_2, \dots, F_N$ polosa filtrlariga ega. Har bir filtrning chiqishidagi impuls detektorlanadi va ushbu qabul qilgichga biriktirilgan manzilga muvofiq loyihalashtirilgan kechiktirish liniyasiga beriladi, bunda qabul qilgich chiqishidagi barcha n impulslar vaqt bo'yicha bir-biriga mos tushadi (keladi).

Mos tushish noxiziqli sxemasida impuls faqatgina kechiktirilgan kirish impulslari, barcha tarmoqda bir-biriga mos kelsagina hosil bo'ladi. Agar kechiktirish liniyasi chiqishidan mos tushish sxemasi kirishiga impulslardan loqal bittasi qolganlari bilan bir vaqtda yetib kelmasa ham MS chiqishida signal hosil bo'lmaydi. Shu sababli, qabul qilgich unga biriktirilgan manzilli kod kombinatsiyasiga ta'sirlanadi.

Ko'rib chiqilgan xabarlarni ajratish jarayoni, ya'ni faqat qabul qilgichga biriktirilgan manzilli kod kombinatsiyasini ajratish 4.55-rasm asosida tushuntiriladi. Qabullagich kirishiga xususiy holda ikkita xabar (shtrixlangan va shtrixlanmagan radioimpulslar) dan iborat guruh signali keladi. Qabul qiluvchi qurilma faqat unga biriktirilgan shtrixlangan impulslarni aks ettiruvchi manzilli chastota-vaqt kombinatsiyasiga ta'sirlanadi, ya'ni xabarni ajratib oladi. MS chiqishidagi impulslar impulslar demodulyatorida xabarga o'zgartiriladi va xabar iste'molchiga yetkaziladi.

Aniq abonent bilan aloqa o'rnatish uchun uzatkichda manzil kod kombinatsiyasiga muvofiq individual kechiktirish liniyasining mos n holatini tanlash yetarli hisoblanadi. Ushbu tizimlarda hech qanday chastotani qayta sozlash talab etilmaydi, bu esa apparaturani arzonlashtiradi va uning ishonchliligini ta'minlaydi.

4.8. Raqamli radioaloqa tizimlarida sinxronizatsiya

Raqamli radioaloqa tizimi ko'p hollarda radioaloqa tarmoqlari orqali axborot uzatishni amalga oshiradi. Oddiy holda raqamli radioaloqa tizimi

yagona axborot manбайдan birgina iste'molchiga axborotlarni yetkazib beradi.

Umumiy holatda raqamli radioaloqa tizimlarida axborot almashtirish radiotizim axborot uzatish imkoniyatidan sinxron foydalanish asosida amalga oshiriladi. **Sinxronizm** so'zi grekcha so'z bo'lib, sin – birgalikda + chromos – vaqt tushunchalarini bildiradi va ikki yoki bir necha hodisa va jarayonlarning vaqt bo'yicha bir-biriga mos ravishda ro'y berishini anglatadi.

Radioaloqa tizimlarida radiokanalning chastotalar polosasi, quvvati va boshqalardan abonentlar sinxron ravishda foydalanidilar. Misol uchun radiotizimning uzatish qismidagi bir necha abonentlardan – axborot manbalaridan olingan signallarni zichlashni amalga oshiruvchi – multipleksorlar, qabullash tomonida ushbu zichlashgan signaldan har bir abonentga tegishli axborotlarni ajratib beruvchi, radiokanal uzatish qismidagi koder va modulyator, qabullash qismidagi turli xalaqitlar va buzilishlar ta'sir etgan signal $x(t) = s(t) + w(t)$ ni demodulyatsiyalash va dekodlash jarayonlari sinxron ravishda amalga oshiriladi. Radiotexnik tizimning sinxronizatsiyalash tizim osti qismining ish sifati – radiotizim orqali axborot uzatish sifati belgilaydi.

Axborot uzatishning turli bosqichlarida: kodlash, modulyatsiyalangan signalni uzatish, qabullash tomonida demodulyatsiyalash va dekodlash qurilmalarida sinxronlashni ta'minlash, axborot ayirboshlashni tashkil etish va uni axborot oluvchiga yetkazish masalalarini yechish turli algoritmlar asosida amalga oshiriladi [23].

4.8.1. Radiotizimlarda signallarni sinxronlash. Sinxronlash tizim osti qismining vazifalari, turlari va ish holatlari

Raqamli RTTlarning axborot uzatish va qabullash qurilmalarida uning alohida funksional qismlari: multipleksorlar, kodeklar, kommutatorlar, modemlar va boshqalarni sinxron holatda ishlashini ta'minlash uchun maxsus boshqaruvchi yordamchi signallardan – sinxronlash signallaridan foydalaniladi. Ushbu boshqaruvchi – sinxronlovchi signallarning ko'rsatkichlari (davri, fazasi va chastotasi) axborot tashuvchi signallarning tegishli ko'rsatkichlari bilan funksional bog'liq bo'lishi kerak.

Misol uchun radiotizim orqali uzatilayotgan guruh signallarining chastotasi, fazasi, kadrlari, so'zlari va simvollari boshlanish vaqtiga mos keluvchi impulslar ketma-ketligi ko'rinishida bo'lishi mumkin. Boshqaruv – sinxronlash signallari axborot simvollari (so'zlar, kadrlar va h.k.) paydo bo'lgan onlarda: kommutatsiyalash sxemalarini, jarayonlarini, signallarga ishlov beruvchi qurilmalarni ulaydi, natijada bir necha signallarni guruhlariga

biriktirish, guruh signallarini ajratish, kodlash va dekodlash amallari bajariladi va boshqalar.

Ko'p holarda qabullash qurilmasi kirishida qabul qilinayotgan axborot signallarining paydo bo'lish vaqti avvaldan ma'lum bo'lmaydi, ular tasodifiy hisoblanadi. Axborot signallarining boshqa ko'rsatkichlari: tashuvchisi chastotasi va takt chastotasi Dopler effekti va signallarni shakllantirishda foydalaniladigan tayanch generatorlarining chastotalari doimiylik darajasi yetarli, ma'lum bir oraliqda tasodifiy ko'rinishda o'zgarib turishi sababli axborot tashuvchi signallarning ko'rsatkichlari to'liq aniq emas. Bu hollarda axborot signallari va boshqaruv signallari orasidagi talab etiladigan funksional bog'liqlik, odatda qabul qilinayotgan signallarga maxsus ishlov berish natijasida o'rnatiladi. Bu mutanosiblikni o'rnatish – sinxron ravishda ishlashni ta'minlash RTTning maxsus tizim osti sinxronlash qurilmasi orqali amalga oshiriladi.

Har qanday raqamli axborot uzatish RTTlarida bir necha sinxronlash bosqichlari mavjud. Bunday bosqichlarni shartli ravishda uchga ajratish mumkin:

1. Birinchi bosqichdagi sinxronlash, RTTning alohida abonentlari orasida axborot ayirboshlashni tashkil etish bo'lib, bunda har bir abonentga radiotizim resursi (kanali, chastotasi, quvvati va boshqalar) ma'lum bir vaqt oralig'iga biriktiriladi;

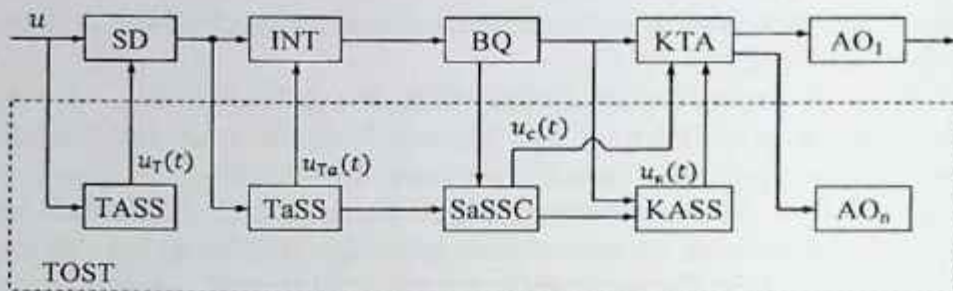
2. Radiotizimning signallarni uzatish va qabullash qismlari (bosqichlari) orasidagi o'zaro sinxronlikni ta'minlash;

3. Radiotizimning to'liq sinxron ishlashini ta'minlovchi tizim osti bosqichi.

Ushbu bobda asosan radiotizimning ikkinchi bosqichiga, radioqabullash qurilmalarining demodulyatorlari, dekodeklari, demultipleksorlari, selektor (tanlovchi)lari va boshqa qismlarini qabul qilinayotgan signal asosida sinxron ish holatini ta'minlash masalalari ko'rib chiqiladi.

RTT bajaradigan vaifa va uning xarakteristikalariga bog'liq ravishda u orqali uzatiladigan signal tarkibi va signalga ta'sir etuvchi xalaqitlarni e'tiborga olgan holda uning tizim osti sinxronizatsiyalash qismi tanlanadi.

Vaqt bo'yicha zichlashgan va ajratiladigan axborot uzatish raqamli RTTning amalda ko'p foydalaniladigan sinxronlash qismining umumiy tuzilishini ko'rib chiqamiz. RTT qabullash qismining axborot kanali va sinxronlash qismlarining funksional sxemasi 4.56-rasmda keltirilgan.



4.56-rasm. RTT qabullash qismining axborot kanali va sinxronlash qismlarining funksional sxemasi

Tashuvchi asosida sinxronlash sxemasi (TASS) chiqishida qabul qilinayotgan signal tashuvchisi chastotasi (oraliq chastotasi) va fazasiga mos keluvchi $u_T(t)$ signalni shakllantiradi. Ushbu sxema chiqishidagi $u_T(t)$ signal demodulyatorning sinxron detektori (SD) uchun tayanch signali sifatida foydalaniladi.

Takt asosida sinxronlash sxemasi (TaSS) chiqishida chastotasi va fazasi qabul qilinayotgan kod kombinatsiyalari elementar impulslarining tugallanish vaqti (orqa fronti)ga mos keluvchi impulslar ketma-ketligi $u_{Ta}(t)$ signalni shakllantiradi.

Soʻz asosida sinxronlash sxemasi (SaSS) chiqishida chastotasi va vaqt boʻyicha davomiyligi soʻzlar tugallanish vaqtiga mos keluvchi impulslar ketma-ketligi $u_s(t)$ signalni shakllantiradi.

Kodlar asosida sinxronlash sxemasi (KASS) chastotasi va fazasi kodlar boshlanish vaqtiga mos keluvchi impulslar ketma-ketligini shakllantiradi. Soʻz va kadr asosida sinxronlash impulslari qabul qilinayotgan kirish signallari $u_k(t)$ ni vaqt boʻyicha tanlov-ajratish qurilmasini boshqarib, axborotlarni tegishli axborot oluvchilarga (AO_n) taqsimlashdan iborat.

Takt asosida sinxronlashdan kanallari vaqt boʻyicha ajratish (KVA)dan foydalanishga asoslangan, masalan sunʼiy yoʻldoshli aloqa (SYA) va sotali aloqa tizimlari (SAT)da radiouzatish qurilmalari maʼlum bir vaqt oraligʻida maʼlum bir kanal signalini shakllantirib uzatadi. Bu SYA va SATlarda sinxronlash holatini taʼminlash uchun retranslyator va harakatdagi abonent orasidagi masofani aniqlash va uning asosida nurlantirilayotgan (tarqatilayotgan) signalga hamma abonentlar uchun yagona boʻlgan vaqt shkalasiga nisbatan kechiktirish kiritiladi. Shunday qilib, tizim hamma abonent terminalarini yagona aniq vaqt tizimiga bogʻlash – soʻz asosida sinxronlash talab qilinadi.

Sinxronizatsiyalashda ikki ish holati mavjud:

- 1) sinxron ish holatiga kirish;
- 2) kuzatuv ish holati.

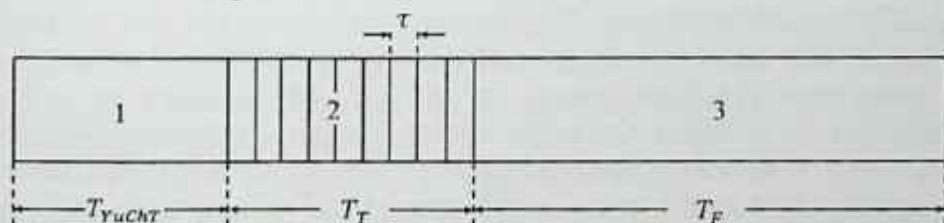
Sinxron ish holatiga kirish signalni qidirish va uni topishdan hamda uning noma'lum ko'rsatkichlarini katta xatolik bilan o'lchashdan iborat. Masalan, signalni paydo bo'lish vaqti, chastotasi va fazasini aniqlash. Bu ish holati signalning noma'lum ko'rsatkichlarini kuzatish va uning aniq qiyamatiga asta-sekin tenglashish – "egallab olish" amalga oshiriladi. Bunda kam aniqlik bilan o'lchashdagi xatolik sxemaning "egallab olish polosasi" qiymatidan katta bo'lmazligi kerak.

Kuzatish ish holatida qabul qilinayotgan signalni noma'lum ko'rsatkichlarini yuqori aniqlik bilan (kam xatolik) bilan o'lchash va uni qabullash jarayonida signal ko'rsatkichlarining o'zgarishlari kuzatib boriladi. Bunda signal ko'rsatkichlarini o'lchash deganda signalga ishlov berish natijasida sinxronlash sxemasi chiqishida sinxronlash qismi kirishidagi signal ko'rsatkichlarining talab darajasidan katta bo'lmagan miqdorda farqlanuvchi tayanch signali shakllantiriladi.

Sinxron ish holatiga kirish va signal parametrlarining o'zgarishini kuzatishda qabul qilinayotgan signalga ishlov berish algortmi bir-biridan katta farq qilishi va sinxronlash qismi tarkibiga kiruvchi turli sxemalar yordamida amalga oshiriladi. Ba'zan sinxron ish holatiga o'tishni – uni amalga ishirish jarayoniga mos ravishda "qidirish (izlanish)" ish holati deb ham ataladi.

Signalni qidirishning uchta asosiy turlari mavjud: "parallel" qidirish (izlash); "ketma-ket" qidirish; "parallel" va "ketma-ket" kombinatsiyali qidirish. Sinxron ish holatiga kirish ikki usulda amalga oshiriladi: 1) axborot uzatish sxemasi boshlanishidan avval radiokanal orqali maxus sinxrosignal asosida; 2) axborot signali asosida.

Birinchi usuldan yuqori aniqlik bilan axborot uzatish tizimlarida, axborotni nisbatan qisqa seanslar bilan uzatish, misol uchun sun'iy yo'ldosh orqali aloqa tizimlarida foydalaniladi. Fazasi modulyatsiyalangan signallar yordamida axborot uzatish raqamli radiotizimidagi sinxronlash signali tarkibi 4.57-rasmda keltirilgan.



4.57-rasm. Sinxronizatsiyalash signali tarkibi

Yuqori chastotali davomiyligi T_T bo'lgan tashuvchi, tashuvchi signal asosida sinxron ish holatiga kiritish sxemasidan foydalaniladi.

Tashuvchi asosida sinxronlash sxemasi yordamida ajratib olingan tayanch signali davomiyligi τ ga teng bo'lgan axborot tashuvchi impulslar bilan modulyatsiyalangan tashuvchi signal bo'laklaridan iborat bo'lgan davomiyligi T_T bo'lgan signalni TaSSda demodulyatsiyalashni amalga oshirishda tayanch signali vazifasini bajaradi. SD chiqishidagi davriy (meandr) ko'rinishdagi signal takt sinxronizatsiyalash sxemasi (TSS) ni sinxron ish rejimiga kiritishda foydalaniladi. Buning natijasida axborot adiokanali ish holatiga o'tkazuvchi davomiyligi T_F bo'lgan fazani kiritish signali ajratib olinadi. Fazani kiritish signali sifatida davomiyligi va elementar simvollar soni bo'yicha axborot tashuvchi kodlar kombinatsiyasiga mos keluvchi, ammo axborot tashish uchun foydalanilmaydigan kodlar kombinatsiyasidan foydalanish mumkin.

Sinxron ish holatiga kirishning ikkinchi usuli axborot uzatish tomonida axborot signali tarkibiga kiritilayotgan davriy takrorlanuvchi sinxronlash signalini ajratib olishga asoslangan. Bu usuldan foydalanilganda tabiiyki qabullash tomonida sinxronlash signalini ajratib olish va uni shakllantirish, sinxron ish holatiga kirish vaqti davrida bir qism uzatilgan axborot yo'qotiladi (qabul qilinmaydi). Bunday usuldan katta hajmdagi ortiqchaligi ko'p bo'lgan axborotlarni uzatish tizimlarida foydalaniladi. Bunda sinxron ish holatiga o'tishga sarflangan vaqt radiotizim ish sifataiga deyarli ta'sir etmaydi. Masalan, ushbu usuldan foydalaniladigan teleko'rsatuv tizimlarida teletomoshabin sinxron ish holatiga kirishni sezmaydi.

Kuzatuv ish holatida har ikki usuldan foydalaniladi. So'z va kadr bo'yicha sinxronlashda maxsus axborot tashuvchi so'z va kadr impulslari ohirlariga qo'shiluvchi maxsus sinxronlash signallaridan foydalaniladi.

Ko'pgina RTTlarda tegishli sxemalar yordamida axborot signaliga ishlov berish natijasida tashuvchi va takt bo'yicha kuzatuv rejimida sinxron ish holatini ta'minlashdan foydalaniladi.

Ba'zi radiotexnik tizimlarda foydali signalni topish va uni kuzatib borishda RTTning alohida kanali orqali doimiy ravishda uzatib turiladigan – "pilot signal" deb nomlanuvchi signallardan foydalaniladi. Asosiy (uzatuvchi) stansiyada chastotasi yuqori doimiylikka ega generatorlar orqali shakllantirilgan pilot signal tizimdagi boshqa hamma qurilmalarning modellarini sinxron ishlash holatini ta'minlaydi. Bunday usuldan foydalanish foydali signalni chastotasini izlash vaqtini qisqartiradi va qabullash qurilma-

sining chastotalar polosasini toraytirishni va yana bir qator afzalliklarga erishishni ta'minlaydi.

4.8.2. Sinxronizatsiyalash sxemalarining optimal ishlash algoritmlari

RTTlarda sinxronlash qismining asosiy vazifasi bu uzatilayotgan foydali signalning chastotasi ω_s , fazasi φ_s va signalning boshlanish vaqti τ_s ni aniqlashdan, ya'ni signal $s(t, \omega_s, \varphi_s, \tau_s)$ ning noma'lum ko'rsatkichlarini unga ishlov berish natijasida aniqlanadi.

Odatda har qanday radiokanalda xalaqitlar mavjudligi uchun signal va xalaqitning additiv yig'indisi bo'lgan

$$x(t) = s(t, \omega_s, \varphi_s, \tau_s) + w(t) \quad (4.96)$$

signalga qabullash qurilmasida ishlov berib, uning chiqishida ω_s^* , φ_s^* va τ_s^* tayanch signallari shakllantiriladi. Bu shakllantirilgan tayanch signallari uzatish tomonidagilaridan farqlanish darajasi radiokanalda xalaqitlar sathi va buzilishlar kattaligiga bog'liq bo'ladi, ularning har biri asl – birlamchi qiymatiga nisbatan $\Delta\omega_s = \omega_s^* - \omega_s$, $\Delta\varphi_s = \varphi_s^* - \varphi_s$ va $\Delta\tau_s = \tau_s^* - \tau_s$ larga farqlanadi. Signallarni qabullash va ularga ishlov berishning juda ko'p usullari bo'lib ulardan birigina $\Delta\omega_s$, $\Delta\varphi_s$ va $\Delta\tau_s$ lar qiymatlarining eng kichik – minimal qiymatga ega bo'lishini ta'minlaydi. Ushbu algoritm eng maqbul – optimal algoritm deb ataladi. Optimal algoritm sinxronlash tizimida qabullanayotgan signalga ishlov berishni sintez qilishni, ya'ni uni amalga oshirish bilan bog'liq bo'lgan matematik formulalar ketma-ket amalga oshirish orqali erishiladi. Bunda uni amalga oshirishda foydalaniladigan elementlarning haqiqiy qiymatlari e'tiborga olinmaydi. Ba'zi hollarda matematik formuladagi amallarni bajaruvchi elementlar bazasi ham mavjud bo'lmasligi mumkin. Bunday hollarda ideallashtirilgan algoritmlar – unga talab darajasida yaqin bo'lgan qiymatlarni ta'minlovchi – kvazioptimal algoritmlardan foydalaniladi.

Optimal yoki kvazioptimal algoritmlar asosida aniqlangan ω_s^* , φ_s^* va τ_s^* larning qiymatlari ulardan foydalanishda yuz beradigan yo'qotishlar minimal bo'lishini ta'minlaydi. ω_s^* , φ_s^* va τ_s^* lar chastota, faza va signal boshlanish vaqtining qabul qilish natijasida erishilgan qiymatlari – baholari vazifasini bajaradilar. Agar ushbu kattaliklarni umumlashtirib λ_s^* bilan belgilasak, u holda uning qiymatini aposterior ehtimollik maksimal qiymati asosida $P(\lambda/x)$, ya'ni uning hamma qiymatlari orasidan aposterior ehtimolliги eng katta bo'lgan qiymati λ_s^* tanlanadi.

$$\lambda_s^* = \max_{\lambda} P(\lambda/x) = \max_{\lambda} \ln P(\lambda/x). \quad (4.97)$$

Sinxronish holatiga kirishda foydalaniladigan kuzatuvsiz yainxronlash sxemasini sintezlashda vaqtning tasodifiy funksiyasi bo'lgan $\tau_s(t)$ va $\varphi_s(t)$

kattaliklarni o'lchashda ularning qiymatlarini diskretlash usulidan foydalanish mumkin. Ammo $0 \dots T_u$ vaqt oralig'ida mavjud bo'lgan $x(t)$ ga ishlov berish vaqti $\tau_s(t)$ va $\varphi_s(t)$ lar korrelyatsiya oralig'idan kichik bo'lsa, u holda $\tau_s(t)$ va $\varphi_s(t)$ lar qiymatlarini ushbu oraliqda tasodifiy va o'zgarmas deb qabul qilish mumkin. Misol uchun signal paydo bo'lish vaqti $0 \leq \tau_s \leq T_u$ ni N ta davomiyligi τ_u qismlarga bo'linadi, bunda τ_u – sinxronlash signali korrelyatsiya oralig'iga teng qilib olinadi.

Sinxronlash signali sifatida shovqinsimon signal (ShSS) lardan foydalanilganda τ_u ShSS elementar signali davomiyligi τ_0 ga teng bo'ladi, ya'ni $\tau_u = \tau_0$. Sinxronlash signali sifatida davomiyligi τ ga teng bo'lgan to'rtburchaksimon impulslardan foydalanilganda $\tau_u = \tau$ bo'ladi.

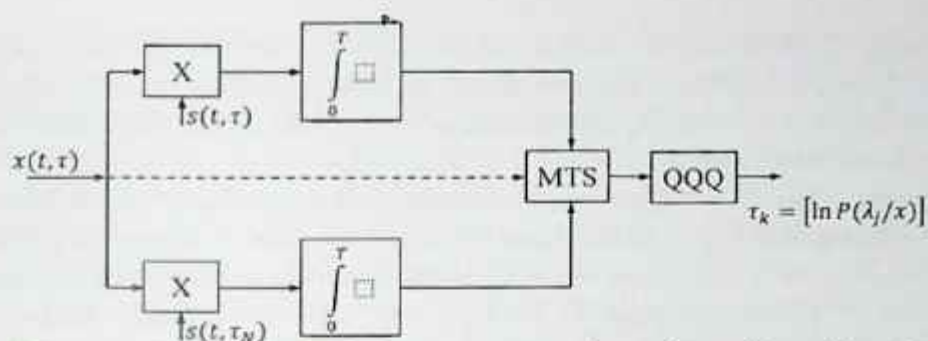
Diskretlashni radiotizim orqali bir-biriga nisbatan τ_u vaqtga siljirilgan N ta ortogonal signal uzatilmoqda deb hisoblash mumkin, ya'ni $\tau_d = g\tau_u$ ($g = 1, 2, \dots, N$). $0 \dots T_u$ vaqt oralig'ida kirish signali kuzatilganda N ta ortogonal signaldan bittasi paydo bo'ladi va signal paydo bo'lish vaqtini o'lchash (aniqlash) N ta ortogonal signaldan davomiyligi T ga teng bo'lgan bittasini farqlash masalasini yechishga olib keladi. bunday algoritmni amalga oshirishda N kanalli bir xil quvvat va aprior ehtimollikka ega signallar uchun har biri $\ln P(\lambda/x)$ aposterior ehtimollikni baholovchi va tegishli yechim

$$\ln P(\lambda_d = i/x) = k \int_0^T x(t, \tau_i) s(t, \tau_j) dt \quad (4.98)$$

ga keluvchi qurilma funksional sxemasi 4.58-rasmda keltirilgan. (4.98) ifodada $i, j = 1, 2, \dots, N$; k – proporsionallik koeffitsiyenti ko'rsatkichi τ_j bo'lgan $s(t, \tau_j)$ signal qabul qilinganligi haqidagi yechimni, kanallar chiqishining qaysi birida aposterior ehtimollik maksimal qiymatga ega ekanligini taqqoslovchi sxema (MTS) quyidagi algoritm asosida amalga oshiradi:

$$\int_0^T x(t, \tau_i) s(t, \tau_j) dt > \int_0^T x(t, \tau_j) s(t, \tau_\gamma) dt, \quad (4.99)$$

bunda, i va j lar γ ning qiymatlaridan biriga teng bo'ladi.



4.58-rasm. Parallel izlash algoritmini amalga oshiruvchi qurilmaning funksional sxemasi

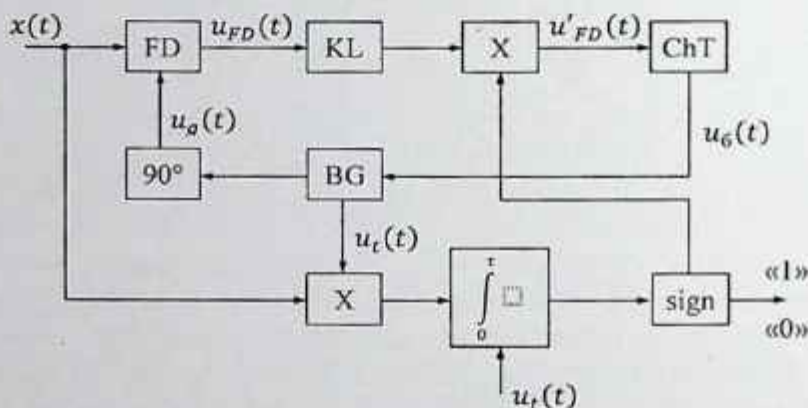
4.58-rasmdagi qaror qabullovchi qurilma (QQQ) kirish signali noma'lum ko'rsatkichini o'lchovchi qurilma tarkibiga kirmaydi. U sinxronlash signali bor yoki yo'qligini, ya'ni MTS chiqishidagi signal tarkibida sinxronlash signali bor yoki uning chiqishidagi signal faqat shovqindan iborat ekanligini aniqlaydi. Ko'rsatkichlari o'lchanayotgan uzluksiz signalni uning N ta diskret qiymatlari orqali almashtirish natijasida olingan bahosi λ^* uning optimal qiymati hisoblanmaydi. λ^* ning baholash orqali aniqlangan qiymatiga kirish signali tarkibidagi xalaqitlar va diskretlash natijasida hosil bo'ladigan xatoliklar qo'shilib uning qiymatiga fluktuasion xalaqitlarni qo'shilishiga sabab bo'ladi. Bunda uzluksiz signal diskretlash natijasida aniqlangan qiymatning uning haqiqiy qiymatiga teng bo'lishi ehtimolligi nolga teng. Ammo diskretlash natijasida olinadigan N ta oniy qiymatlar soni oshgan sari uning o'lchash natijasida olingan bahosi λ^* o'zining optimal qiymatiga yaqinlashadi. 4.58-rasmda keltirilgan parallel izlash qurilmasida sinxronlash signalini aniqlash bilan birga uning paydo bo'lish vaqti ham aniqlanadi.

Uzluksiz signalni diskretlash natijasida olinadigan qiymatlari soni N katta bo'lsa ko'p kanalli signalni parallel izlash usulini qo'llash murakkablashadi, shuning uchun N katta bo'lgan holatlarda ketma-ket izlash usulidan foydalaniladi. Bunda λ_d ning asposterior ehtimolliklarni hisoblash bitta o'lchash kanali yordamida vaqt bo'yicha ketma-ket amalga oshiriladi va 4.58-rasmdagi qurilmaning bitta kanalidan foydalaniladi. Qurilmada davomiyligi T ga teng bo'lgan N ta sikldan foydalaniladi. Bir sikldan ikkinchi siklga o'tganda $s(t, \tau_j)$ tayanch signali $s(t, \tau_{j+1})$ signali bilan almashtiriladi. Bu $s(t, \tau_{j+1})$ signali avvalgisidan τ_u ga surilgan bo'ladi. Siklik hisoblashlar natijasida aniqlangan aposterior ehtimolliklar QQQ bo'sag'aviy qiymati bilan taqqoslanadi. QQQ kirishidagi signal uning

bo'sag'aviy qiymatidan katta bo'lsa izlash ish holati to'xtatiladi va τ_j ning tegishli qiymati o'rnatiladi. Yuqorida keltirilgan algoritm asosida sinxronlash signalini izlash 4.58-rasmdagiga nisbatan sodda bo'lib, sinxron ish holatiga o'tish uchun ko'p vaqt talab qilmaydi.

Davomiyligi T bo'lgan sinxronizatsiyalash signalining topilganligi xatoligi ehtimolligi $P_{tx} \ll 1$ va signal bor bo'lgan holatda uni topolmaslik ehtimolligi $P_{st} \ll 1$ lar kichik bo'lgan holat uchun real RTTlarda parallel izlash uchun sarflangan vaqt $T_p \approx T$ ga va ketma-ket izlash vaqti esa $T_{kk} \approx 0,5NT$ ga teng.

Amalda uncha katta bo'lmagan farqlanishlar bilan kuzatish orqali sinxronlash algoritmini 4.59-rasmda keltirilgan fazaviy avtomatik tenglash-tirish (FAT) usulida ham bajarish mumkin.



4.59-rasm. FAT usuli asosida kuzatish sxemasi

Bu usuldan foydalanilganda boshqaruvchi generator (BG) chiqish signalini kirish signali $x(t)$ bilan solishtirish – diskriminator faza detektor (FD) dan foydalaniladi. Misol uchun tashuvchi asosida sinxronlashda chastotasi ω_s va amplitudasi A_s bo'lgan garmonik tebranish shaklidagi tashuvchini $u_s(t) = A_s \cos(\omega_s t + \varphi_i)$ bo'lgan FM signal FAT qurilmasi kirishiga beriladi. Bunda FM signalning fazasi φ_i uzatilayotgan axborot signaliga bog'liq ravishda $\varphi_1 = 0^\circ$ yoki $\varphi_2 = 180^\circ$ ga teng bo'lgan qiymatlardan biriga teng bo'ladi. Bunda boqaruvchi generator chiqishidagi signal $u_g(t) = A_g \sin(\omega_g t + \varphi_g)$ garmonik tebranish bo'lib, amplitudasi A_g ga, chastotasi ω_g ga va fazasi φ_g ga teng qilib tanlanadi. Xalaqitlar bo'lmagan va sinxronlash qurilmasi ideal ishlagan holda BG chiqishidagi signal $u_t(t) = A_b \cos \omega_s t$ ko'rinishida bo'lishi kerak. Takt asosida sinxronizatsiyalashda tayanch signali kirish axborot signali impulslari ko'rsat-

kichlariga mos keluvchi impulsar ketma-ketligidan iborat bo'ladi. FD chiqishidagi shakllantirilgan signal $u_{FD}(t)$ qiymati va qutblanganligi (+ yoki - ligi) chastotalar farqi $\Delta\omega = \omega_s - \omega_g$ va fazalar farqi $\Delta\varphi = \Delta\omega t + \varphi_l + \varphi_g$ ga bog'liq ravishda aniqlanadi. Chiziqli tizim (ChT) chiqishida shakllangan boshqaruvchi kuchlanish $u_b(t)$ ta'sirida BG chastotasi FD chiqish signali qiymati nolga tenglashguncha yoki qandaydir o'zgarmas kattalikka tenglashguncha davom etadi. Tashuvchi asosida sinxronlashda $u_{FD}(t)$ signal qutblanishi (+ yoki -) kirishdagi FM axborot signali fazasi φ_l ga mos ravishda o'zgaradi. Ko'paytiruvchi qurilma (X) kirishiga berilgan $u_{FD}(t)$ signalning fazasi uning chiqishida hosil bo'lmaydi. Ko'paytiruvchi qurilmaning ikkinchi kirishiga kechiktirish vaqti axborot signali davomiyligi τ ga teng bo'lib, u axborot kanalidagi integratordan signal o'tishini kechikishni e'tiborga oladi. $\text{sign}(x)$ qurilmasi chiqishidagi axborot signali ko'paytiruvchi qurilmaning ikkinchi kirishiga ta'sir qiladi. $\text{sign}(x)$ qurilmasi amalda bo'sag'aviy kuchlanishi nolga teng bo'lgan QQQ vazifasini bajaradi.

Faza manipulyatsiyasini yo'qotishning bunday usuli kirish signali $u_l(t)$ impulsarini axborot kanali integratorini stroblash asosida takt bo'yicha sinxronlashni amalga oshirishda qo'llaniladi. Agar foydali kirish axborot signali modulyatsiyalangmagan garmonik tebranishlar shaklida bo'lsa, u holda bu qurilmadagi ko'paytirgich (X) va kechiktirish liniyasi (KL) kerak bo'lmaydi. Yuqorida ko'rib chiqilgan FAT asosida sinxronlash usuli yuqori aniqlik bilan ishlash holatida chiziqli tizim deb tahlil etilishi mumkin. Bu ish holati uchun $u_{FD}(t) \cong K_d \Delta\varphi$ bo'ladi, bunda K_d - faza detektor - diskriminator uzatish koeffisienti.

4.59-rasmda keltirilgan FATning o'ziga xos xususiyatlaridan biri uning ikkita barqaror ish holatiga egaligi hisoblanadi. Buni quyidagicha tushuntirish mumkin. Agar FD kirishida shovqin signali bo'lmasa ko'paytirish qurilmasi (X) va past chastotalar filtri (PChF) dan tashkil topgan FD chiqishidagi kuchlanish quyidagi ifoda orqali aniqlanadi:

$$u_{FD}(t) = 0,5A_g A_s \sin(\Delta\varphi + \varphi_l), \quad (4.100)$$

bunda, $\Delta\varphi(t) = \varphi_b - \varphi_s(t)$ va $\varphi_s(t) = (\omega_g - \omega_s)t$.

FAT qurilmasi BG - boshqariladigan generatori chiqishidagi kuchlanish fazasining shovqin ta'sirida tasodifiy ravishda $\varphi_d = 180^\circ$ ga sakrab o'zgarishini e'tiborga olib, umumiy holda FD chiqishidagi signalni quyidagicha ifodalash mumkin:

$$u_{FD}(t) = 0,5A_g A_s \sin(\Delta\varphi - \varphi_l + \varphi_d). \quad (4.100a)$$

FAT qurilmasi yuqori aniqlik bilan ishlagan holat uchun QQQ chiqishidagi $\text{sign}(x)$ signal qutblari (+ yoki -) $u_F = \cos(\varphi_d - \varphi_i)$ qutblari (+ yoki -) ga mos keladi.

Foydali xabar bilan modulyatsiyalangan FM signalning modulyatsiyasini yo'qotuvchi ko'paytirgich (X) chiqishidagi $u'_{FD}(t) = 0,5A_d A_c \sin \Delta\varphi$ kuchlanishi boshqariladigan generator (BG) fazasi siljishi φ_d ga bog'liq emas, shuning uchun FAT qurilmasi talab etadigan $\varphi_d = 0^\circ$ va unga teskari bo'lgan $\varphi_d = 180^\circ$ da ham barqaror ishlaydi.

Agar $\varphi_d = 0^\circ$ bo'lsa QQQ chiqishida "1" ga teng bo'lgan $u_F = \cos(-\varphi_i)$ foydali signal va $\varphi_d = 180^\circ$ bo'lsa "1" signal shakllanadi. Agar $\varphi_d = 180^\circ$ bo'lsa QQQ chiqishida $u_F = \cos(180^\circ - \varphi_i) = -\cos \varphi_i$ foydali axborot signalidan 180° ga farqlanuvchi signal shakllanadi. Foydali signal fazasining 180° ga o'zgarishi (teskarisiga almashishi) natijasida bir bo'lak simvollar xato qabullanadi, bu holatni "teskari ishlash hodisasi" deb ataladi. FATning odatdagi qurilmasida uning o'ziga xos holatda ishlashi natijasida paydo bo'ladigan $\varphi_d = 180^\circ$, xususiyl holda kirish signali tarkibidagi shovqin xalaqiti quvvatining kattalashishi natijasida yuz beradi, bu holat barqaror saqlanib qolmaydi, uni FAT qurilmasining o'zi yo'qqa chiqaradi. FAT qurilmasida fazasi modulyatsiyalangan kirish signali tashuvchisi fazasini yo'q qilish $\varphi_d = 0^\circ$ va $\varphi_d = 180^\circ$ uchun barqaror saqlanib qoladi.

FATga xos bo'lgan bu xususiyat axborot signali tashuvchisi asosida sinxronizatsiyani amalga oshirish uchun FM signal modulyatsiyasini yo'q qilish asosida uning tashuvchisini tiklashning turli algoritmlaridan ham talab qilinadi.

4.8.3. Tashuvchini sinxronizatsiyalash

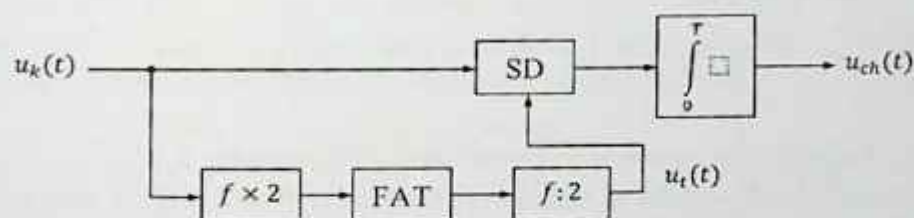
Tashuvchini sinxronlash qurilmasi chastotasi va fazasi qabul qilinayotgan - axborot tashuvchi yoki oraliq chastota signali chastotasi va fazasiga mos keluvchi garmonik tebranishlarni shakllantiradi. Tashuvchini kuzatishga asoslangan sinxronizatsiyalash tizimida axborot signaliga ishlov berish natijasida tayanch signali ajratib olinadi. Optimal kuchzaturv algoritmi qabul qilinadigan signal spektridan f_0 chastotali garmonik tebranishni ajratib olish imkoniyatini beruvchi FAT qurilmasi asosida amalga oshiriladi.

Ikkiilik axborotlarni uzatishda eng yuqori xalaqitbardoshlikni ta'minlovchi modulyatsiya bu tashuvchi fazasini $\pm 180^\circ$ ga o'zgartirishga asoslangan faza manipulyatsiyasi hisoblanadi. Bunday modulyatsiya turida radiouzatish qurilmasining hamma quvvati signalning axborot tashuvchi spektr tashkil etuvchilariga taqsimlanadi. FM signal spektri tarkibida f_0

chastotali tashuvchi bo'lmaydi, shuning uchun FAT qurilmani tashuvchini egallab olish va kuzatish ish holatini amalga oshirish imkoniyatiga ega bo'lmaydi.

Bu qarama-qarshi signallarning o'ziga xos xususiyatlarini yengib, sinxronizatsiyalashni amalga oshiruvchi turli usullar mavjud. Misol uchun manipulyatsiya fazasi $\theta < 180^\circ$ qilib olinadi, natijada FM signali spektrida f_0 chastotali tashkil etuvchi paydo bo'ladi, bu tashkil etuvchi FAT qurilmasi yordamida ajratib olinadi. Bu usuldan foydalanilganda FM signalning axborot tashuvchi spektr tashkil etuvchilari quvvati nisbatan kamayadi, natijada qabullash qurilmasi integratori chiqishidagi signal-xalaqit nisbati kichiklashadi, bu esa o'z navbatida qabullash xatoligi P_x ning kattalashishiga sabab bo'ladi.

Sinxronizatsiyalashni amalga oshirish uchun ko'rsatkichlari axborot tashuvchi signal ko'rsatkichlari bilan ma'lum bir bog'lanishda bo'lgan garmonik tebranish shaklidagi maxsus "pilot-signal" dan foydalanish mumkin. Bu usuldan foydalanilganda sinxronizatsiyalashni pilot-signalni ajratuvchi keng tarqalgan FAT yordamida amalga oshirish mumkin. Pilot-signalni uzatish RTTning chastotalar polosasini kengaytirishni talab qiladi, bu esa ushbu usulning kamchiligi hisoblanadi. Amalda fazasi qarama-qarshi FM signalning tashuvchisini tiklash usulidan keng foydalaniladi va bu usulning bir necha turi mavjud. Bular: ularni kashf etgan olimlar Kostas, Pistol Kors, Petrovich, Siforov, Ageyev nomlari bilan ataladi. Bu usuldan nisbatan soddasi axborot signaliga nochiziqli ishlov berishga asoslangan A.A. Pistol Kors usuli hisoblanadi (4.60-rasm).



4.60-rasm. Chastotani ikkiga ko'paytirishga asoslangan tashuvchini sinxronlash qurilmasi strukturaviy sxemasi

Qabullanayotgan axborot signaliga nochiziqli ishlov berish chastotasini 2 ga ko'paytirish natijasida undagi tashuvchining fazasi manipulyatsiyasi yo'qotiladi. Bunda qabul qilinayotgan fazasi $\varphi_i = 0^\circ$ yoki $\varphi_i = 180^\circ$ bo'lgan manipulyatsiyalangan signal $u_s(t) = A_s \cos(\omega_s t + \varphi_i)$ ning $u_{ch} = k u_k^2$ – kvadratik amplituda xarakteristikali (k – proporsionallik

koeffitsiyenti) chastotani ikkiga ko'paytirish qurilmasiga ta'siri natijasida uning chiqishida quyidagi signal shakllanadi:

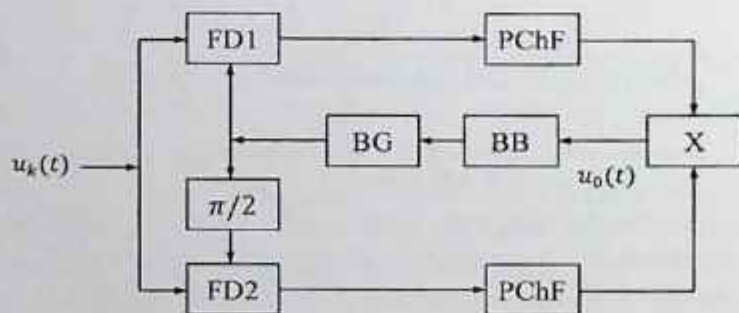
$$u_{ch}(t) = kA_s^2 \cos^2(\omega_s t + \varphi_i) = 0,5kA_s^2[1 - \cos(2\omega_s t + 2\varphi_i)], \quad (4.101)$$

bunda, $2\varphi_i = 0^\circ$ yoki 360° .

FAT qurilmasi kirishiga chastotasi ikkiga ko'paytirilgan garmonik tebranishli signal beralida, bu signaldan FAT tarkibidagi boshqariluvchi generator chastotasini rostdash uchun foydalaniladi. FAT chiqishidagi signal chastotasini ikkiga bo'lish natijasida SDga beralidigan chastotasi ω_s ga teng bo'lgan, fazasi qabul qilinayotgan signal tashuvchisi fazasiga mos keluvchi tayanch signali $u_t(t)$ ni shakllantiradi.

Bu usulning kamchiligi tashuvchini tanlashda nochoziqli qurilmadan foydalanish natijasida uning kirishida signal-xalaqit nisbati kichik bo'lgan holatlarda kuchsiz signalni xalaqit tomonidan yanada kichiklashtirilishi hisoblanadi. Yana bir kamchiligi qurilmadagi kirish signali chastotasini ikkiga bo'lish qurilmasida chastotani ikkiga bo'lishda nazorat qilib bo'lmaydigan boshlang'ich sharoit hisoblanadi, buning natijasida tayanch garmonik tebranishi $u_t(t)$ boshlang'ich fazasi tasodifiy ravishda ikki qiymatdan birini 0 yoki π qabul qilishi mumkin. Tayanch kuchlanishi $u_t(t)$ ning fazasi π (180°) ga o'zgarishi natijasida SD chiqishidagi axborot signali impulslari o'z qiymatlarini qarama-qarshisiga (plyus minusga yoki aksincha minus plyusga) o'zgartiradi. Buning natijasida bir bo'lak xato qabul qilingan impulslar paydo bo'ladi. Bunday xato qabullash "teskari ishlash natijasi" deb ataladi.

Sinxronizatsiyalashda Kostas usulidan keng foydalaniladi (4.61-rasm).



4.61-rasm. Kostas usulida tashuvchining chastotasini sinxronizatsiyalash qurilmasining funksional sxemasi

Tarkibida shovqin bo'lgan kirish isgnali ikkita FDIlar kirishiga beriladi. Har ikki FDIarga garmonik tebranish shaklidagi tayanch kuchlanishlari tayanch generator (TG) laridan beriladi. Ulardan biri ikkinchisidan fazasi

bo'yicha $\pi/2$ ga farqlanadi. FDLarining chiqishlarida kirishidagi axborot signali φ_s va TG signali fazasi φ_t lar orasidagi farq $\Delta\varphi = \varphi_s - \varphi_t$ ga proporsional bo'lgan musbat va manfiy impulslar ketma-ketligi hosil bo'ladi. FDLardan birinchisidagi kuchlanish amplitudasi $\sin \Delta\varphi$ ga va ikkinchisi chiqishidagi kuchlanish amplitudasi $\cos \Delta\varphi$ ga proporsional bo'ladi.

PChF chiqishidagi signallar ko'paytirish qurilmasi (X) ga beriladi. Uning chiqishida turli qutblangan (musbat va manfiy) impulslar bir-birini yo'qqa chiqaradi, impulslar ketma-ketligi bo'lmaydi. Ko'paytiruvchi qurilma signallar tarkibidagi axborot tashuvchi tashkil etuvchilarni yo'q qiladi, bir-biri bilan yeyishtiradi. Ko'paytirish qurilmasi chiqishidagi kuchlanish

$$u_0(t) = K_0(\sin \Delta\varphi \cos \Delta\varphi) = 0,5K_0(\sin 2\Delta\varphi) \quad (4.102)$$

ga teng bo'lib, uning ta'sirida boshqaruv bloki (BB) boshqariladigan generator (BG) chastotasini u_0 kuchlanish nolga teng bo'lgunga qadar o'zgaradi. Ko'paytirish qurilmasining diskriminatorlik xarakteristikasi $u_0(t) = 0,5K_0(\sin 2\Delta\varphi)$ ni tahlil etish natijasida $\Delta\varphi$ ning $\Delta\varphi = n\pi$ ($n = 1,2,3, \dots$) qiymatlariga bog'liq ravishda tayanch kuchlanishi u_0 o'rnatilgan holatida qilinayotgan axborot signali tashuvchisi fazasiga mos yoki unga qarama-qarshi bo'lishi mumkin. u_0 va axborot signali tashuvchisi fazasi bir-biriga qarama-qarshi bo'lgan ish holatida "teskari ishlash" holati yuz beradi.

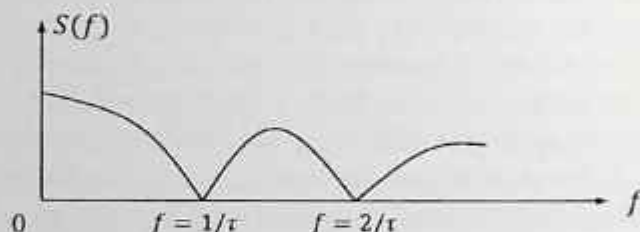
Kostas usuli ko'p hollarda FAT usuliga o'xshash bo'lgani uchun unga ham FAT usulidagi kamchiliklar xos hisoblanadi. Kirishidagi signal-xalaqit nisbati katta bo'lganda Kostas sxemasi kirish signaliga kvadratik o'zgartirish kiritishga mos keladi. teskari ishlash hodisasi tashuvchini qayta tiklash hamma usullariga xosdir. Bu teskari ishlash hodisasini yo'q qilishning bir necha usullari mavjud bo'lib, ulardan eng ko'p tarqalgani oddiy fazasi manipulyatsiyalangan (FM) signal o'rniga fazasi nisbiy manipulyatsiyalangan (NFM) signallardan foydalanish usuli hisoblanadi.

4.8.4. Signallarni takt bo'yicha sinxronizatsiyalash

Takt bo'yicha sinxronizatsiyalash qurilmasi qabul qilinayotgan raqamli signal kombinatsiyalari impulslar ketma-ketligidagi har bir impuls oxiri (orqa fronti) τ_{of} ga mos keluvchi impulslar ketma-ketligini shakllantiradi. Ko'pgina RTTlarda sinxronizatsiyalash axborot signali asosida shakllantiriladi, ba'zi hollarda esa RTT sinxron ish holatiga kirishi uchun axborot uzatish tomonidan maxsus signal yuqoriladi. Axborot signali asosida sinxronizatsiyalash o'ziga xos xususiyatlarga ega bo'lib, ular signallarga ishlov berish algoritmi va takt bo'yicha sinxronizatsiyalash (TS) qurilmasi strukturaviy sxemasi tuzilishini belgilaydi.

Takt asosida sinxronizatsiyalash qurilmasi kuzatuv ish rejimida doimiy ravishda qabul qiliyotgan kodlar kombinatsiyalari impulslarining chastota va fazalarini o'lchab borishi kerak. Agar ikkilik impulslar ketma-ketligi uzluksiz ravishda qabul qilinsa va impulslarning davomiyligi τ ga teng bo'lsa, u holda takt bo'yicha sinxronlash qurilmasi kirish signali takrorlanishi bir necha garmonikasi, chastotasi $f = 1/\tau$ bo'lgan $u_k(t) = A_s \cos(2\pi f t + \varphi_k)$ garmonik tebranishni ajratib olishi va unga ishlov berishi kerak.

Bu usulning o'ziga xosligi shundan iboratki, katta davomiylikka ega bo'lgan elementlari takrorlanish ehtimolligi bir-biriga teng bo'lgan ikkilik impulslar ketma-ketligi spektri tarkibida chastotasi $f = 1/\tau$ bo'lgan tashkil etuvchisi bo'lmaydi, uni sinxronlash qurilmasida qayta tiklash talab qilinadi. Tashuvchi asosida sinxronlash qurilmasi uchun talab etiladigan tashuvchi ham kirish signali spektri tarkibida mavjud emas.



4.62-rasm. Qabul qilinayotgan axborot signali spektri

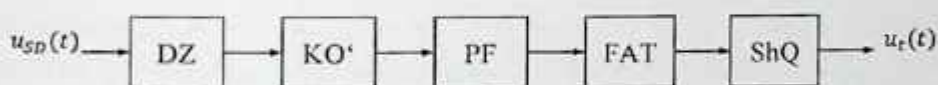
Takt bo'yicha sinxronlashning o'ziga xos xususiyatlardan yana biri bu uning kirishiga ma'lum vaqt davomida faqat manfiy yoki faqat musbat impulslar ketma-ketligi ta'sir etishi mumkin. Ushbu takt bo'yicha sinxronizatsiyalash qurilmasi kirishiga nisbatan katta vaqt davomida bir xil doimiy tashkil etuvchining ta'sir etishi uning sinxron ishlash holatidan chiqishiga yetarli sabab hisoblanadi. Takt bo'yicha sinxronizatsiyalash qurilmalarini ularning signalni kuzatish ish holatlarini quyidagi bir-biridan umuman farqlanuvchi turga ajratish mumkin:

1) kirish signali signal-xalaqit nisbati va axborot uzatish tezligi yuqori bo'lgan RTTlarda foydalaniladigan nochiziqli ishlov berishga asoslangan takt asosida sinxronizatsiyalash qurilmasi;

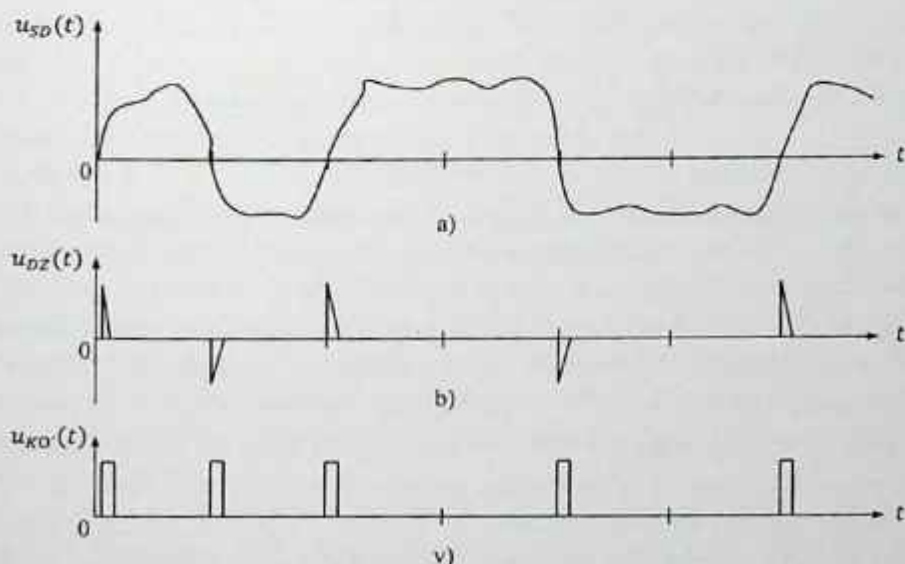
2) kirish signali SXN kichik bo'lgan hollarda RTTlarda foydalaniladigan "fazasi mos – o'rtacha fazali" takt asosida sinxronizatsiyalash qurilmasi.

Takt bo'yicha sinxronizatsiyalashning bu usuli birinchi usulga qaraganda qutblari o'zgarmas impulslar ketma-ketligini qabul qilinganda teskari ishlash effektiga nisbatan barqaror hisoblanadi.

Birinchi turda takt bo'yicha sinxronizatsiyalashni amalga oshiruvchi qurilma strukturaviy sxemasi 4.63-rasmda keltirilgan. Sinxron detektor chiqishidagi xalaqit va PChFdan o'tish natijasida shakli buzilgan signal (4.64a-rasm), differensiyallash zanjiri (DZ) (4.64b-rasm) va kvadratik o'zgartirish (KO') amalini bajaruvchi qurilmadan o'tgandan so'ng (4.64v-rasm) tarkibida takt chastotasi $f = 1/\tau$ bo'lgan impulslar ketma-ketligi hosil bo'ladi. Bu impulslar ketma-ketligi spektri tarkibida chastotasi $f = 1/\tau_0$ garmonik tashkil etuvchi mavud bo'ladi. Bu chastotasi $f = 1/\tau$ bo'lgan spektr tashkil etuvchisi polosali filtr (PF) yordamida ajratib olinadi, so'ngra qo'shimcha FAT yordamida kuzatib tor polosali filtrlash amalga oshiriladi. FAT chiqishidagi garmonik tebranish shaklidagi signaldan shakllantirish qurilmasi (ShQ) yordamida takt sinxronizatsiyasi impulsarlari $u_t(t)$ shakllantiriladi.



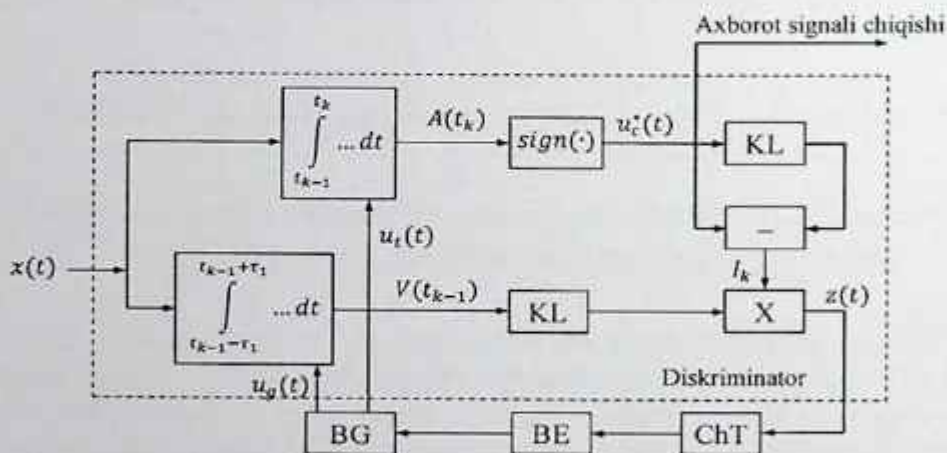
4.63-rasm. Nochiziqli ishlov berish asosida takt sinxronizatsiyalash impulslarini shakllantirish qurilmasi funksional sxemasi



4.64-rasm. Takt sinxronizatsiyasi ish jarayoniga tegishli vaqt diagrammalari

4.63-rasmdagi DZ va KO⁺ jarayonlari amalga oshirilishi natijasida $f = 1/\tau$ bo'lgan garmonik signal tiklanadi. 4.63-rasmdagi KV qurilmasi kirishiga qutblari bir xil impulslar ketma-ketligi berilganda uning chiqishida impulslar paydo bo'lmaydi. Buning natijasida PF chiqishida va FAT kirishidagi signal sathi kamayadi yoki umuman bo'lmaydi va FAT ishlash jarayonidagi xatolik kattalashadi, bu esa o'z navbatida FAT kuzatish ish holatining uzulishiga (to'xtashiga) sabab bo'ladi.

Sinfaz – o'rtacha fazani takt sinxronizatsiyasining afzalligi shundan iboratki, uning kirishiga qutblari o'zgarmas impulslar ketma-ketligi (0 va 1) nisbatan uzoq vaqt davomida ta'sir etgan taqdirda ham shovqin xalaqit ta'siri ohirgi to'g'ri qabul qilingan impuls qutbini (0 va 1) o'zgarmasdan saqlanib qoladi. Bu holat axborot signali simvollarini to'g'ri qabul qilingan holat uchun o'rinli hisoblanadi. Sinfaz – o'rtacha faza takt sinxronlash qurilmasining funksional sxemasi 4.65-rasmda keltirilgan.



4.65-rasm. Sinfaz – o'rtacha faza takt sinxronlash qurilmasining strukturaviy sxemasi

Bu qurilmani tahlil etishda dastlabki holatda signalni qidirish tugallangan deb hisoblanadi. Takt sinxronizatsiyalashdagi xatolik takt sinxronizatsiyasi impulsi paydo bo'lish vaqti t_k dan axborot signali impulslari tamom bo'lish vaqti t'_k ningayirmasi $\varepsilon = t_k - t'_k$ ga teng bo'lib, sinxronlash ish holatiga o'tish vaqti τ_1 dan kichik, ya'ni $\varepsilon < \tau_1$ bo'ladi. Agar $t_k > t'_k$ bo'lsa xatolik $\varepsilon > 0$, musbat bo'ladi va $t_k < t'_k$ bo'lsa manfiy bo'ladi. Bunda $\varepsilon > 0$, $u_t(t)$ – takt sinxronizatsiyasi impulsi axborot impul-sidan oldi tomonga siljiganda va $\varepsilon < 0$ holat $u_t(t)$ signal axborot signali $u_s(t)$ ga

nisbatan kechikkan holatda yuz beradi. Takt sinxronizatsiyasi diskriminatori quyida keltirilgan ifodalarga mos ravishda mos emaslik signali $z(t)$ hisoblanadi.

$$z(t) = \{\text{sign}[A(t_k)] - \text{sign}[A(t_{k-1})]\}V(t_{k-1}), \quad (4.103)$$

$$A(t_k) = \int_{t_{k-1}}^{t_k} x(t)dt, \quad A(t_{k-1}) = \int_{t_{k-2}}^{t_{k-1}} x(t)dt, \quad (4.104)$$

$$V(t_{k-1}) = \int_{t_{k-1}-\tau_1}^{t_{k-1}-\tau_2} x(t)dt, \quad (4.105)$$

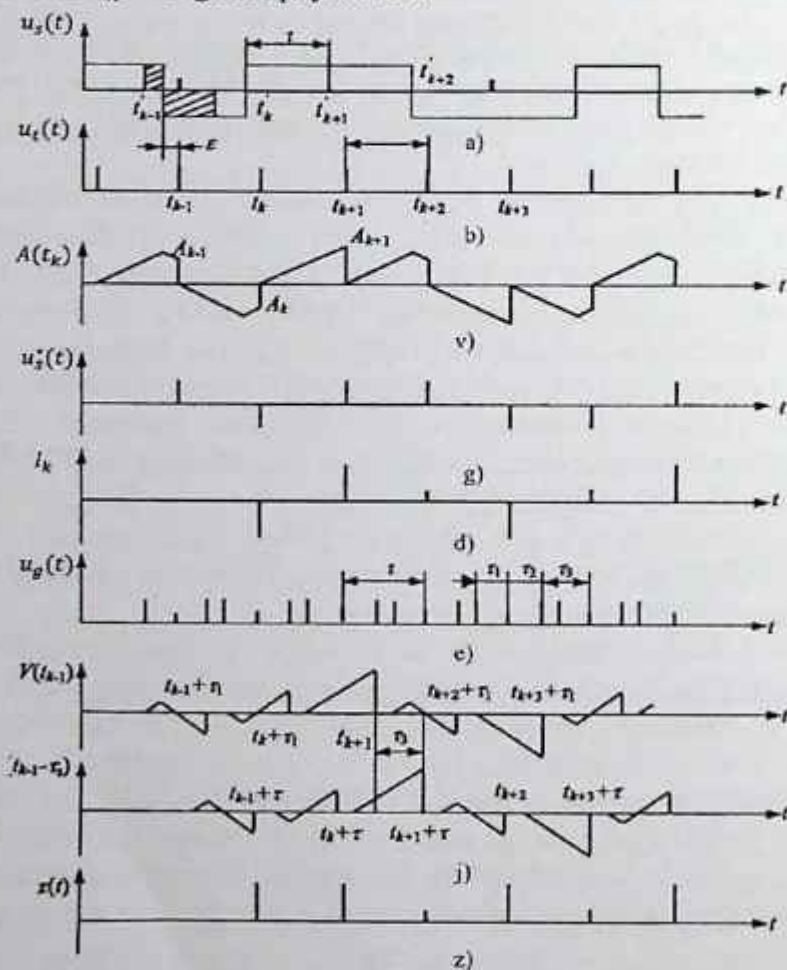
bunda, $x(t)$ – sinxron detektor chiqishidagi axborot impulslari ketma-ketligi $u_s(t)$ va fluktuasion xalaqit $w(t)$ ning additiv yig'indisiga teng. Mos emaslik (farqlanish) signali $z(t)$ xatolik qiymati va qutblanganligi (+ yoki –) haqidagi ma'lumot bo'ladi.

Uzatilayotgan axborot signali $u_s(t)$ ni ikkilik to'rtburchaksimon impulslar ketma-ketligidan iborat deb qabul qilamiz (4.66a-rasm). qurilmaning ishlashini xalaqitlar va trakt orqali o'tganda signal shaklining buzilishini e'tiborga olmaymiz. Sinxronlash qurilmasining 4.65-rasmda punktir chiziqlar bilan ajratilgan qismi (4.103) formulaning birinchi tashkil etuvchisiga mos keluvchi kuchlanishni shakllantiradi. Integrator chiqishidagi τ vaqt oralig'ida yig'ilgan kuchlanish $u_s(t)$ boshqaruv generatori (BG) (4.66v-rasm) shakllantirayotgan takt sinxronizatsiyasi impulslari $u_t(t)$ bilan ε xatolik bilan stroblanadi. Amplitudasi yig'ilgan energiyaga proporsional bo'lgan $A(t_k)$ impulslar bo'sag'a qurilmasi $\text{sign}(x)$ kirishiga ta'sir etadi, bu qurilma o'zining kirishidagi signalning qutblanganligi (+ yoki – ekanligi)ni qayd etadi (aniqlaydi) (4.66g-rasm).

Xatolik $\varepsilon = 0$ bo'lsa, integrallash va bo'sag'a qurilmasi chiqishida axborot signali $u_s^*(t)$ hosil bo'ladi, bu holda kirish signali $u_s(t)$ ni optimal qabullash orqali regeneratsiya qilish amalga oshirilgan bo'ladi. Agar $u_s^*(t)$ birlik qiymat (+1 yoki –1) amplitudaga ega bo'lsa, u holda ayirish qurilmasi chiqishidagi farqlanish signali $I_k = \{\text{sign}[A(t_k)] - \text{sign}[A(t_{k-1})]\}$ quyidagi uchta qiymatlar (–2; 0; +2) dan biriga teng bo'ladi (4.66d-rasm). past kanal o'rtacha – faza integratori chiqishidagi kuchlanishi tayanch generatori shakllantiradigan takt sinxronlash impulslarini τ_1 vaqt oldin va τ_2 vaqtga kechikib stroblaydi.

Integrator chiqishidagi kuchlanish $t = 2\tau_1$ vaqtga signal impulsining musbatdan manfiyga yoki aksincha manfiydan musbatga o'tish chegara-sidagi yuzasiga proporsional bo'ladi (4.66a-rasmda shtrixlangan vaqt

diagrammasi). $V(t_{k-1})$ ning $t = t_{k-1} + \tau_1$ vaqtdagi qiymatini I_k ning t_k vaqtdagi qiymati bilan moslashtirish uchun (4.103) ifoda asosida ko'paytirish amalini bajarish uchun $V(t_{k-1})$ ni $\tau_k = \tau - \tau_1$ vaqtga kechiktirish kerak bo'ladi. Quyidagi xulosalarni chiqarish mumkin. $u_c(t)$ signalning +1 dan -1 ga yoki aksincha -1 dan +1 ga o'tishi natijasida yuzaga keladigan xatolik xatolik signali $z(t)$ ning shakllanishiga sabab bo'ladi, ya'ni $z(t)$ signal $V(t)$ ga bog'liq bo'ladi. $V(t)$ ning bir xil qutbli impulslar (+1,+1) yoki (-1,-1) lar ta'sirida hosil bo'ladigan $V(t_{k+1})$, $V(t_{k+3})$ qiymatlari e'tiborga olinmaydi (4.66j-rasmdagi vaqt diagrammalari), chunki (4.103) ifodaga asosan ular $I_k = 0$ ga ko'paytiriladi.



4.66-rasm. Takt sinxronizatsiyasi qurilmasi sxemasida signallarni o'zgartirishga oid

$V(t_{k-1})$ impulsar qutbi o'zgarishiga mos keladigan yuzalarga proporsional bo'lganligi uchun $V(t_{k-1}) = k\varepsilon$ bo'ladi. $V(t_{k-1})$ ning qiymati musbat yoki manfiy bo'lishligi impulsning qutbi +1 dan -1 ga yoki -1 dan +1 ga o'tishi bilan axborot signali impulsining moyulyatsiyalangan ketma-ketligiga va xatolik qutbi (1 yoki -1) ekanligi bilan, ya'ni $u_t(t)$ – takt sinxronlash impulsi signal impulsiga nisbatan ilgarilab ketgani yoki kechikkanligiga bog'liq. $V(t_{k-1})$ ni I_k ga ko'paytirish natijasida shakllanadigan xatolik signali $z(t) = V(t_{k-1})I_k$ ni axborot signali impulslariga bog'liqligini yo'qqa chiqaradi va $z(t)$ impulsning qiymati xatolik qiymati ε ga proporsional va $\varepsilon > 0$ holati musbat va impulsar musbat qutbli bo'ladi. Agar xatolik $\varepsilon = 0$ bo'lsa, diskriminator chiqish kuchlanishi nolga teng bo'ladi. Xatolik $\varepsilon < 0$ bo'lsa impuls qutbi musbatdan manfiyga o'zgaradi va amplitudasi xatolik ε qiymatiga proporsional bo'ladi.

Farqlanish signali takt sinxronizatsiyasini ta'minlash qurilmasi (4.63-rasm) dagi chiziqli past chastotalar filtridan o'tib, boshqariladigan elementga, toki boshqariladigan generator chastotasi o'zgarib xatolik $\varepsilon = 0$ bo'lguncha davom etadi. Ushbu qurilmadagi qismlarning ba'zilar analog elementlar, ba'zilar esa raqamli sxemateknika elementlari asosida amalga oshiriladi.

Yuqorida ta'kidlab o'tilganidek, qabul qilinayotgan signal impulsari ketma-ketligida bir necha +1 yoki -1 larning ketma-ket kelishi, takt sinxronizatsiyasining qisqa vaqt orasida uzilishiga sabab bo'ladi, natijada qabul qilinayotgan signallarda xatolik ketma-ket takrorlanishi (xatolik paketi) yuzaga kelishi mumkin. Zamonaviy RTTlarda axborot signallarida +1 yoki -1 larning bir necha marotaba uzluksiz takrorlanishini bartaraf etish uchun axborot uzatish tomonida maxsus skrembler va qabullash tomonida deskremblerlar qurilmalaridan foydalaniladi (4.67-rasm). Skremblerlashni amalga oshirish uchun ikkilik axborot signali impulsari ketma-ketligi D_i maxsus shakllantirilgan tasodifiysimon impulsar ketma-ketligi bilan ikkilik modul asosida qo'shiladi va RTT modulyatori kirishiga beriladi.

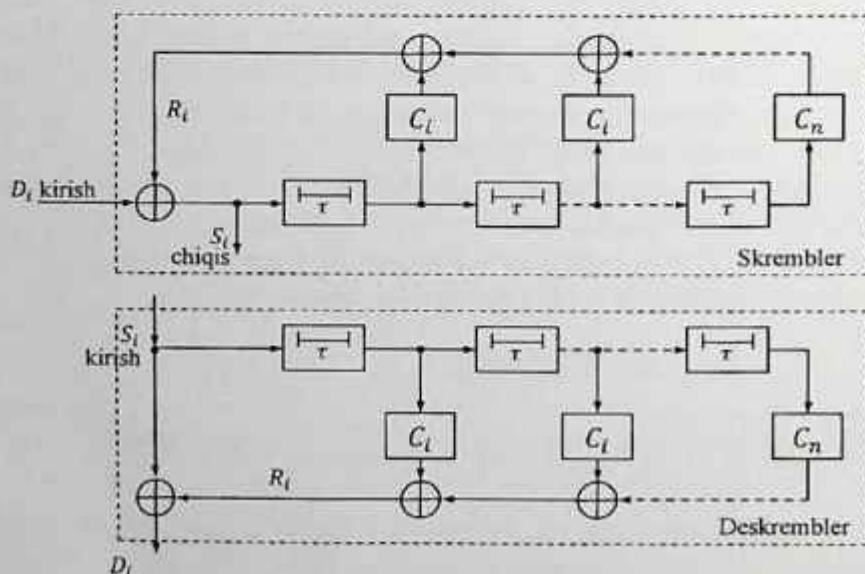


4.67-rasm. Skrembler va deskremblerlarda signalni almashtirish strukturaviy sxemasi

S_i tasodifiysimon impulsar ketma-ketligi $S_i = D_i \oplus R_i$ amalini bajarish uchun n yacheykali registr (qayd qilgich) va u bilan teskari bog'lanishda bo'lgan qo'shuvchi qurilma yordamida amalga oshiriladi. Qayd qilish yacheykalarining miqdor koeffisientlari faqat 1 yoki 0 ga teng bo'lishi mumkin. Axborot signali impulsarlari ketma-ketligi D_i ga tasodifiysimon impulsar ketma-ketligi R_i ta'siri natijasida axborot signali impulslarining +1 yoki -1 impulslarining ketma-ket bir necha marta takrorlanishi buziladi. Deskrembler qurilmasi (4.68-rasm) teskari bog'lanish zanjirida har biri τ vaqtga siljitilgan impulsarlarni chiqarib olish imkoniyatini beruvchi – ulanish nuqtalari yuqori bo'lgan siljitish qurilmalari va ikkilik modul bo'yicha qo'shish amalini bajaruvchi, skrembler qurilmasiga o'xshash qurilmadan iborat.

Axborot signali n ta tashkil etuvchilari skrembler chiqishida xatosiz paydo bo'lganlaridan so'ng bu qurilmalarning siljishni ro'yxatga oluvchi qismlari bir xil holatda bo'ladi, deskrembler chiqishidagi signal skrembler kirishidagi D_i signallar ketma-ketligiga mos bo'ladi, ya'ni skremblerlashga teskari bo'lgan amal bajariladi.

Ammo ro'yxatga oluvchi qurilmalarning holatlari n ta impulsar uchun bir-biriga moslashtirilgandan so'ng S_i impulsar ketma-ketligini qabullashda radiokanalda ro'y beradigan yakka xato qabullashlik, uning chiqishida R_i xatoliklar ketma-ketligi paketining paydo bo'lishiga olib kelishi mumkin.



4.68-rasm. Skrembler va deskremblerlarning strukturaviy sxemalari

4.8.5. Kanallarni vaqt bo'yicha ajratishda sinxronizatsiyalash

Bir necha axborot signallarini vaqt bo'yicha zichlash asosida uzatishga asoslangan ko'p kanalli RTTlarda kanallarni ajratish uchun maxsus kanallar signallarini bir-biridan ajratish jarayonini boshqaruvchi sinxronlash signallari (KABSS) $u_{kabss}(t)$ lardan foydalaniladi. Ko'p kanalli vaqt bo'yicha zichlashtirilgan RTTlarda har bir kanal signalining boshlanishi va tugallanganligini belgilovchi maxsus impulslarni kanal orqali uzatish talab etiladi. Bu amalni kadr bo'yicha sinxronizatsiyalash (KBS) qurilmasi yordamida amalga oshiriladi. Siklik sinxronizatsiyalash tizimi (SST) mavjud RTTlarda kadr bo'yicha sinxronlash (KBS) ni amalga oshirish uchun uning tarkibiga kiruvchi bitta kodlar kombinatsiyasini uzatish orqali amalga oshiriladi. Bu KBS signali boshqa axborot signallari kodlar kombinatsiyalaridan uni izlash va topish jihatidan afzalliklarga ega bo'lishi kerak.

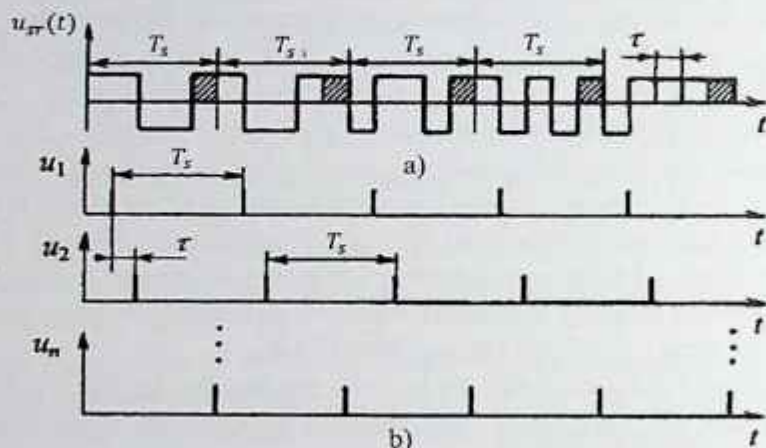
Agar tizimda siklik sinxronlash nazarda tutilmagan bo'lsa, u holda vaqt bo'yicha zichlashtirilgan kanallarni bir-biridan ajratish uchun kadr bo'yicha sinxronlashni qo'llash kerak bo'ladi. KBS usulini qo'llash uchun axborot signali kadri tarkibidagi simvollarning kamida 10...15 foizi sinxronlashni tashkil etish uchun ajratilishi kerak. Shuning uchun ko'p kanalli RTTlarning KBS qurilmasining xalaqitbardoshligiga juda yuqori talab qo'yiladi, chunki KBSning buzilishi RTTning hamma kanallari orqali axborot uzatishni to'xtatishga olib keladi.

KBS signallarini RTTlarning qabullash qurilmalarida ajratib olish uchun KBS bilan moslashgan diskret filtr (MDF) lardan foydalaniladi. MDF kirishidagi tarkibida KBS signali bo'lgan axborot signalidan KBS signallari sathi bo'yicha ajratish usulidan foydalani ajratib olinadi. KBS signallarining har bir axborot signali tarkibida takrorlanishi asosida ularning energiyasini to'plash orqali KBS qurilmasining xalaqitbardoshligini oshirish mumkin.

Axborot signali tarkibidan KBS impulslarini yuqori ishonchlilik bilan ajratib olish uchun uning tuzilishga va davriy takrorlanishiga alohida ahamiyat berish kerak. KBSda foydalaniladigan kodlar kombinatsiyasi axborot uzatishda foydalaniladigan kod kombinatsiyalari tarkibida umuman bo'lmazligi yoki bo'lishi ehtimolligi juda kichik bo'lishi kerak. Agar axborot uzatishda oddiy – ortiqchaligi bo'lmagan kodlardan foydalanilsa, u holda KBS ga tegishli simvollar kod kombinatsiyalarining ma'lum bir tartibdagi simvoli shaklida davriy takrorlanishi kerak.

Agar axborot signali kod kombinatsiyalarining ketma-ket takrorlanishi ehtimolligi katta bo'lsa, u holda KBS signali simvollari ikki navbat bilan takrorlanuvchi etib tanlanadi. Misol uchun birinchi kod kombinatsiyasida

tanlangan KBS signali ikkinchisida uning teskarisi ko'rinishidagisi, uchinchisida esa yana birinchi KBS signali uzatilishi talab etiladi.



4.69-rasm. Sinxronlash signallarini shakllantirish vaqt diagrammalari

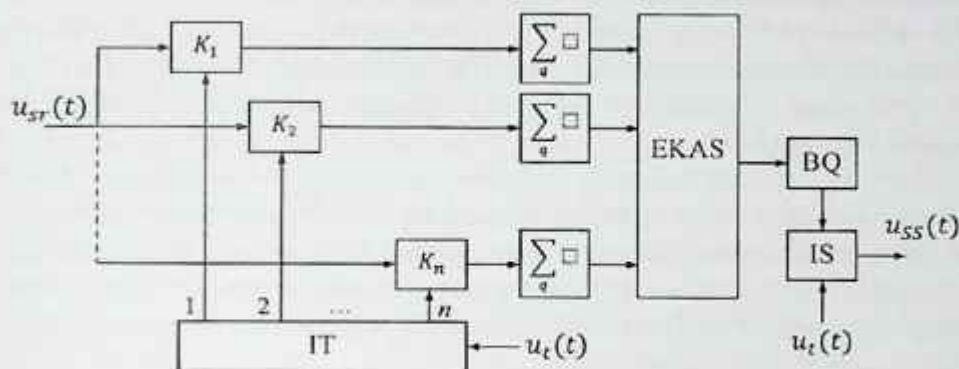
Sinxronlash signali sifatida davriy takrorlanuvchi axborot uzatish uchun foydalanilmaydigan kod kombinatsiyalaridan ham foydalanish mumkin yoki axborot signali kod kombinatsiyalari oxirida uzatiladigan sinxronlash impulslarini ajratib olib, ularga ishlov berish yo'li bilan ham kod kombinatsiyalarini sinxron qabullashni amalga oshirish mumkin.

Amalda radiotelemetriya tizimlarida keng qo'llaniladigan axborot tashuvchi kod kombinatsiyalari oxiriga qo'shiladigan sinxronlash tizimini ko'rib chiqamiz. Sinxronlash impulsi musbat bir qutbli bo'lib, uni bu o'ziga xos ko'rinishi asosida ikki qutbli (musbat $+1$ va manfiy -1) axborot tashuvchi impulslar oqimidan ajratib olish mumkin.

Kod kombinatsiyalarining boshlanish va oxirini belgilab beruvchi sinxronlash impulslarini umumiy impulslar oqimida qidirish va topish natijasida amalga oshiriladi. Sinxronlash signalini parallel qidirish va topishga asoslangan usul qidirish vaqtining kichik bo'lishini ta'minlaydi. 4.70-rasmda kod kombinatsiyalarini sinxronlash signalini parallel qidirish qurilmasining strukturaviy sxemasi keltirilgan.

Regeneratsiya qurilmasi chiqishidan signal $u_{sr}(t)$ (4.69a-rasm) kalit K_i sxemalarining bitta kirishiga va ushbu K_i ning ikkinchi kirishiga impulslarni taqsimlovchi (IT) funksional qismdan boshqaruvchi impulslar ta'sir qiladi. IT funksional qismining chiqishlarida davomiyligi T_s bo'lgan takt sinxronlash impulsi signali $u_t(t)$ ni n ga bo'lish asosida shakllantirilgan $T_s = n\tau$

impulslar kalit sxemalari K_i larning ikkinchi kirishiga ta'sir qiladi (4.69b-rasm).



4.70-rasm. Sinxronlash signali parallel qidirish qurilmasining strukturaviy sxemasi

IT qurilmasi chiqishidagi impulslar bir-biridan τ vaqtga farq qiladi. Kalit sxemalari uning birinchi kirishidagi k -chi impuls bilan IT qurilmasi chiqishidagi l -chi impuls mos kelganda ochiladi va uning chiqishida signal paydo bo'ladi. Navbatdagi $(k + 1)$ -chi kirish signali esa IT $(l + 1)$ -chi impuls bilan taqqoslanadi va h.k. Kalitlar chiqishlaridagi signallar summator (qo'shish) qurilmasida to'planadi va $T_{\Sigma} = qT_s$ vaqt davomida kuchlanishlar shakllantiriladi va ulardan eng kattasini aniqlash sxemasi (EKAS) kirishiga beriladi. Summatorlarga ikki qutbli impulslar deyarli bir xil $P(+1) = P(-1)$ ehtimollik bilan ta'sir etgani uchun natijaviy chiqish kuchlanishining qiymati T_s vaqt oralig'ida nolga teng bo'ladi. Faqat kirishida musbat signal bo'lgan summator chiqishidagi kuchlanish qolgan summatorlar chiqishlaridagi kuchlanishga nisbatan maksimal qiymatga erishadi va ushbu kuchlanish EKAS yordamida ajratib olinadi.

Qabullash qurilmasi doimo axborot signalini kutish holatida bo'lgani uchun uni axborot signali yo'q vaqtlarda shovqinlardan himoyalash EKAS chiqishiga ulangan bo'sag'aviy qurilma (BQ) ulangan bo'lib, u sinxronlash signalini ajratib olish uchun xizmat qiladi.

Bo'sag'aviy qurilma chiqishidagi topilgan signal chiqishida kod kombinatsiyalarini sinxronlash impulslarini shakllantiruvchi impulslarni sanovchi (IS) qurilmani dastlabki holatga (nol) qaytarishda foydalaniladi.

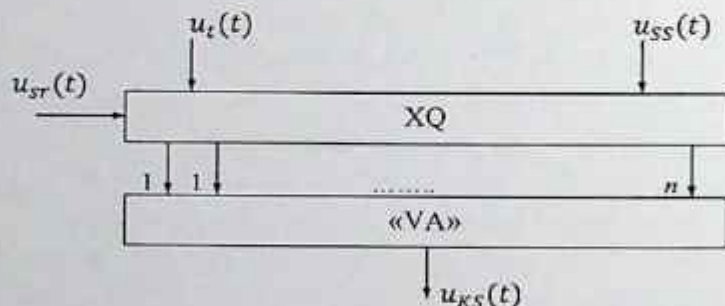
4.8.6. Kadr bo'yicha sinxronizatsiyalash

Vaqt bo'yicha zichlangan ko'p kanalli radioaloqa tizimlarida kadr bo'yicha sinxronizatsiyalash (KS) signali uzatilayotgan har bir kadr boshlanishida radioaloqa tizimining uzatish qurilmasida shakllantiriladi. Bir kanalli radioaloqa tizimlarida ham axborot uzatish boshlanishidan avval sinxronlash signali yuboriladi. Odatda bu signalni aloqa o'rnatishni boshlash fazasi signali deb ham ataladi.

Oddiy hollarda KS signali sifatida davomiyligi va kod kombinatsiyasidagi impulslari soni axborot signali kod kombinatsiyalari davomiy-ligiga va impulslari soni teng bo'lgan, ammo axborot signalini uzatishda foydalanilmaydigan kod kombinatsiyasidan, misol uchun kod kombinatsiyalari faqat bir (1) lardan iborat bo'lgan kod kombinatsiyasidan foydalaniladi.

Agar yuqori chastotali signal tashuvchisi, takt va kod so'zi bo'yicha sinxronlash sxemasi kuzatish ish holatida bo'lsa, kadr bo'yicha sinxronlash signalini axborot oqimi kod kombinatsiyalaridan ularni birma-bir kuzatib axborot signali kod kombinatsiyalaridan farqi asosida ajratib olish mumkin.

Kadr signalini axborot signali kod kombinatsiyalaridan ketma-ket kuzatish asosida ajratib olishga tegishli chizma 4.71-rasmda keltirilgan.



4.71-rasm. Sinxronizatsiyalash signalini ajratib olishga tegishli chizma

Qabullash qurilmasidagi signallarni regeneratsiyalash (qayta tiklash) qismi chiqishidagi $u_t(t)$ - takt bo'yicha sinxronizatsiyalash signali xotira qurilmasi (XQ) ga kiritiladi, navbatdagi so'z bo'yicha sinxronlash impulsi XQga ta'sir etishi bilan kod kombinatsiyasining n ta simvoli XQsidan tarkibi kadr signali tarkibiga mos keluvchi "VA" (I) sxemasi kirishiga parallel ravishda (bir vaqtda) kiritiladi. Kadr sinxronizatsiyalash signali topilishi bilan sinxronlash signalini qidirish jarayoni to'xtatiladi, "VA" qurilmasi chiqishida kadr sinxronizatsiyasi signali $u_{KS}(t)$ signali shakllantiriladi.

Nazorat savollari

1. Diskret modulyatsiya deb qanday modulyatsiyaga aytiladi? AMp, ChMp va NFMP signallar spektrini chizib ko'rsating va ularni bir-biri bilan taqqoslang.

2. Impulslar ketma-ketligidan tashuvchi sifatida foydalanib qanday modulyatsiya turlarini amalga oshirish mumkin va ularning vaqt diagrammalari uzluksiz kosinusoidal signal bilan modulyatsiyalanganda qanday ko'rinishda bo'ladi?

3. Bir past chastota Ω yoki F bilan impulsli modulyatsiyalangan signallar spektri matematik ifodalarini yozing va spektr diagrammalarini chizing, ularni o'zaro taqqoslang.

4. Raqamli modulyatsiyalangan signallar qanday afzalliklarga ega?

5. BPSK signalni shakllantirish jarayonini tushuntiring. QPSK signalni shakllantirish strukturaviy sxemasini chizing va ishlash prinsipini tushuntiring.

6. QAM-16 modulyatorining strukturaviy sxemasini chizing va ishlash prinsipini vaqt diagrammalari asosida tushuntirib bering.

7. FSK modulyatorining strukturaviy sxemasini chizing va ishlash prinsipini tushuntiring.

8. MSK modulyatorining strukturaviy sxemasini chizing va ishlash prinsipini tushuntiring. GMSK modulyatsiyasining afzalliklari nimalardan iborat va ushbu modulyatsiya qaysi tizimlarda qo'llaniladi?

9. Xatoliklarni aniqlovchi va tuzatuvchi (korreksiyalovchi) kodlarni qanday turlarga ajratish mumkin?

10. Kodning qanday ko'rsatkichlari uning xatoliklarni aniqlash va tuzatish imkoniyatini belgilaydi?

11. Nazorat simvoliga asoslanib kodlarni korreksiyalash asosi haqida qisqacha aytib bering.

12. Kod kombinatsiyalari 7 ta simvoldan iborat bo'lgan Xemming kodi qanday shakllantiriladi?

13. Nima uchun 7 simvolli 3/4 kodi kod kombinatsiyalaridagi surilish xatoliklarini aniqlash imkoniyatiga ega emas?

14. Uzluksiz kodlash qanday amalga oshiriladi? Kaskadli kodni shakllantirish prinsipini so'zlab bering.

15. "Multipleksorlash" va "ko'plab foydalanish" tushunchalariga ta'rif bering. Ularning o'xshash va farqli tomonlari nimalardan iborat?

16. KChAga asoslangan tizimning strukturaviy sxemasini chizing va ishlash prinsipini tushuntiring.

17.KVAgas asoslangan tizimning strukturaviy sxemasini chizing va ishlash prinsipini tushuntiring.

18.KKAgas asoslangan tizimning strukturaviy sxemasini chizing va ishlash prinsipini tushuntiring.

19.Ko'p kanalli tizimlar va ko'plab kira olish (foydalanish) tizimlarining asosiy farqi nimalardan iborat?

20.KChA va KVAgas asoslangan tizimlarning afzallik va kamchiliklari nimalardan iborat?

21.Axborot RTTlarda sinxronizatsiya nima uchun kerak? Sinxronizatsiyalash qismi qanday sinxronlash sxemalaridan takshil topgan?

22.Sinxronlash sxemalari shakllantiradigan qanday ko'rsatkichlari qabul qilinadigan signal ko'rsatkichlari bilan bog'liq?

23.Sinxronizatsiyalashda signal chastotasi, fazasi va impulslar davomiyligini qidirish qanday amalga oshiriladi?

24.Qabul qilinadigan signal ko'rsatkichlarini optimal o'lchash usuli haqida qisqa tushuncha bering.

25.Sinxronlash signali va axborot signali asosida signal ko'rsatkichlarini kuzatish qanday amalga oshirilishini tushuntiring.

26.FM demodulyatorida teskari ishlash hodisasi yuz berishi qanday natijalar berishini tushuntiring.

27.Tashuvchi chastotasini ikkiga ko'paytirishga asoslangan Kostas usulida tashuvchi tayanch signali qanday shakllantiriladi?

28.Takt sinxronizatsiyasi qurilmasining ishlash jarayonini tushuntiring. Takt sinxronizatsiyasi qurilmasida tayanch signali qanday shakllantiriladi?

29.Kadr bo'yicha sinxronizatsiyalash qanday amalga oshiriladi?

30.Sinxronlash qurilmasi shakllantirayotgan sinxronlash signali ko'rsatkichlari qabul qilinayotgan axborot signali ko'rsatkichlari bilan qanday bog'liqlikka ega?

5. RADIOLOKATSIYA TIZIMLARI

5.1. Radiolokatsiya tizimlari haqida umumiy tushunchalar

5.1.1. Asosiy tushunchalar

Radiolokatsiya radiotexnikaning bir sohasi bo'lib, obyekt haqidagi ma'lumotlarga obyektidan aks etgan radioto'lqinlarni qabullash va tahlil etish yo'li orqali ega bo'lishdir.

Radiolokatsiya – turli obyektlarni radiolokatsion kuzatuvchi radiotexnika sohasi bo'lib, obyektlarni qidirib topish, koordinatalarini va harakat parametrlarini o'lchash, shuningdek obyektlardan aks etgan yoki qayta nurlatilgan radioto'lqinlarlaridan yoki uning xususiy radionurlanishlaridan foydalanish orqali obyektning strukturaviy yoki fizik xossalarini aniqlashdir.

Radiolokatsion kuzatuv asosida ma'lumot olish kerak bo'lgan obyekt **radiolokatsiya maqsadi** yoki soddagina **maqsad** deb ataladi.

Radiolokatsiya maqsadlari quyidagi turlarga bo'linadi: aerodinamik (samolyotlar, qanotli raketalar, vertolyotlar va b.); yer usti va suv usti (avtomashinalar, tanklar, kemalar va b.); yer osti va suv osti (yer osti bo'shliqlari, suv osti kemalari va b.); kosmik (kosmik apparatlar, ballestik raketalar va b.); tabiat hodisalari asosida yuzaga keladigan (bulutlar, yer ustidagi tabiiy mo'ljallar, meteoritlar, planetalar) va boshqalar.

Ma'lum hududlarda joylashgan maqsadlar, ularning koordinatalari va harakati, soni va xarakteristikalarini haqidagi ma'lumotlar **radiolokatsiya axborotlari** deb ataladi. Radiolokatsiya axborotlarini olishga mo'ljallangan texnik vositalar **radiolokatsiya vositalari** (RLV), **radiolokatsiya stansiyalari** (RLS) yoki qisqacha **radiolokatorlar** deb ataladilar. Radiolokatsiya vositalarining axborotlarni to'plash va ularga ishlov berish, ma'lumotlarni uzatish va boshqarish ishlarini amalga oshirish maqsadida ularni radiolokatsiya tizimi majmuasiga birlashtiriladi.

“Radiolokatsiya” atamasi lotin tilidagi **locus** – joy va **radio** – nurlatish so'zlari birikmasi bo'lib, yechiladigan masala va uni yechish usuli haqidagi ma'lumotlarni o'zida jamlagan. Chet el adabiyotlarida radiolokatsiya atamasi o'rnida ko'p hollarda ingliz tilidagi “radio detection and ranging” so'zlarining qisqartmasi – “**radar**”dan foydalanadi, bu “obyektni qidirib topish va masofani radioto'lqinlar yordamida o'lchash” ma'nosini anglatadi [10].

Zamonaviy RLSlarda dekametrlar (3...30 MHz, 100...10 m, YuCh), metrlar (30...300 MHz, 10...1 m, JYuCh), detsimetrlar (300...3000 MHz, 100...10 sm, UYuCh), santimetrlar (3...30 GHz, 10...1 sm, O'YuCh) va

millimetrlar (30...300 GHz, 10...1 mm, HTYuCh) to'liqin uzunliklaridagi elektromagnit nurlatishlardan foydalaniladi.

Radiolokatsiya asosida quyidagilar haqida axborotlar olish asosiy masala hisoblanadi:

- *maqsad (obyekt) ni qidirib topish;*
- *maqsad (obyekt) larning koordinatalari va harakatlanishiga tegishli parametrlarni o'lchash;*
- *maqsad (obyekt) larni bir-biridan ajratish;*
- *maqsadlarni turlarga bo'lish.*

Ushbu masalalar radiolokatsiya axborotlariga: birinchi, ikkinchi va uchinchi bosqichlarda ishlov berish orqali amalga oshiriladi.

Qidirib topish masalasi fazoning RLS mas'ul qilib belgilangan kichik bir qismida, radiolokatsiya axborotiga birlamchi ishlov berish natijasida; RLS mas'ul qilib belgilangan umumiy hududda radiolokatsiya axborotiga ikkinchi (uchinchi) bosqichda ishlov berish asosida maqsad "bor" yoki "yo'q" ligi haqida eng kichik xatolikni ta'minlovchi ehtimollik bilan qaror qabul qilishdan iborat.

O'lchash masalasi maqsad koordinatalari va harakatiga tegishli boshqa parametrlarini iloji boricha kichik xatolik bilan o'lchashdan iborat hisoblanadi.

Birinchi navbatda, maqsadgacha bo'lgan masofa D , uning azimuti α , joylashish burchagi β , koordinatalari hosilalari (misol uchun radial tezlik $v_r = \frac{dD}{dt}$), trayektoriyasi tashkil etuvchilari o'lchanadi. Ba'zi hollarda maqsadning koordinatalari bilan to'g'ridan-to'g'ri bog'liq bo'lmagan: nurlatishlar qutblanish matritsasi yoyilishlari, maqsadning radial uzoqligi kabi parametrlari (ko'rsatkichlari) ham o'lchanishi mumkin.

Ajratish masalasi hoxlagan (zarur) maqsadni qidirib topish va o'lchashni boshqa obyektlar (maqsadlar) ham mavjud holatda amalga oshirishdan iborat.

Turlarga bo'lish masalasi maqsadni ma'lum bir guruhga tegishliligini aniqlashdan iborat bo'lib, u o'z navbatida yana ikki masalani yechilishi orqali amalga oshiriladi. Birinchi masala maqsadni qaysi davlatga tegishli ekanligini, o'z obyektlariga o'rnatilgan "o'zimizniki-begona" so'rov-javob aniqlash qurilmasi yordamida tanish va ikkinchisi – so'rovga javob bermayotgan maqsad turini aniqlash.

Radiolokatsiya axborotlariga ishlov berish natijasida yechiladigan masalalar, ko'p hollarda radiolokatsiya kuzatuvlari so'zlar birikmasi orqali ta'riflanadi.

Radiolokatsiya tizimida axborot olish qisqa vaqt davomida amalga oshiriladi. Birlamchi ishlov berishda bu vaqt RLS maqsad bilan bog'langan vaqt oralig'i bilan belgilanadi, ikkilamchi ishlov berish vaqti davomiyligi esa, maqsadni RLS mas'ul hududda bo'lish vaqti orqali aniqlanadi. Qidirib topish, o'lchash va farqlash bosqichlari ko'p hollarda "qidirib topish-o'lchash-farqlash" yagona jarayon hisoblanadi, maqsadni ko'rib kuzatib borish esa, avtomatlashgan (operator ishtirokisiz) va yarim avtomatik (operator ishtirokida) amalga oshiriladi. Radiolokatsiya jarayoni tez o'zgaruvchanligi sababli ma'lumotlarga tezkor ishlov berish talab qilinadi.

Radiolokatsiya vositalariga tabiiy xalaqitlar, boshqa REVLarning xalaqitlari, ba'zi hollarda esa, maxsus shakllantirilgan xalaqitlar ta'sir qiladi. Tabiiy xalaqitlar har qanday radiolokatsiya vositalariga u yoki bu darajada ta'sir ko'rsatadi. Turli REVLarning bir-biriga o'zaro ta'siri shaklidagi xalaqitlar halq xo'jaligining turli sohalarida, turli maqsadlarda, shu jumladan harbiy maqsadlarda foydalaniladigan REVLar soni keskin ko'payganligi sababli, ularning elektromagnit moslashuvi (EMM) ni ta'minlash masalasi dolzarb hisoblanadi. Harbiy radiolokatsiya vositalariga dushman tomonidan maxsus shakllantirilgan xalaqitlar bilan ta'sir ko'rsatish va RLSlarni to'g'ridan-to'g'ri yo'q qilish ularga kuchli radioxalaqitlar bilan ta'sir ko'rsatish va o'q otish yo'li bilan amalga oshirilishi mumkin.

Kelib chiqish sababidan qat'iy nazar xalaqit nurlatishlari: aktiv (faol), passiv — aks etgan xalaqitlar, hamda birinchi va ikkinchi tur xalaqitlar kombinatsiyalaridan iborat bo'lgan kombinatsion xalaqitlarga bo'linadi. Xalaqitlar foydali signallarni maskirovkalashi (niqoblashi) yoki aks etishi mumkin bo'lgan signalga o'xshash signalni nurlatishlarni tarqatishi natijasida radiolokatsiya vositasi va tizimlarining samaradorligi yomonlashadi. Shuning uchun RLSlardan talab darajasidagi xalaqitbardoshlikni ta'minlash, ya'ni turli xalaqitlar mavjud bo'lgan ish holatida, obyekt (maqsad) haqida olingan axborotlar ishonchliligi talab darajasida bo'lishi talab etiladi. RLSlar yuqori xalaqitbardoshligini ta'minlash maqsadida xalaqitlardan himoyalaniishning turli tadbirlari, shu jumladan RLSni xalaqitli sharoitga moslashib (adaptasiya) ishlashi va maxsus shakllantirilgan xalaqitni qabul qilib, uni nurlatayotgan maqsad haqida kerakli axborotlarni olishni amalga oshirish uchun foydalanish kerak bo'ladi.

RLSlarni yagona bir tizimga biriktirish murakkab — "qarama-qarshi yechimlar" mavjud bo'lgan holatlarda ham sifatli axborot olishni ta'minlaydi. Bunda iloji boricha yuqori darajada ishonchli axborotlar beruvchi tizimlarni bitta tizimga biriktirish ma'qul hisoblanadi. Ba'zan kam samarali

RLS vositalarini ham yagona tizimga biriktirib, radiolokatsiya samaradorligini yaxshilash mumkin.

Harbiy maqsadlarda foydalaniladigan radiolokatsiya vositalariga qo'yiladigan muhim talablardan asosiysi, ularga nisbatan dushman tomonidan RLS nurlatishlarini qabul qilib, o'zini-o'zi ushbu nurlatishlar manbaiga o'z yo'nalishini o'zgartiruvchi raketalar va dushmanning yuqori aniqlik bilan obyektga yo'naltirilgan nurlatishlari mavjud bo'lgan ish sharoitida RLSdan olinayotgan axborotlar sifatini yomonlashmasligini ta'minlash imkoniyati – "*yashovchanligi*" hisoblanadi.

Shunday qilib, RLS turli xalaqitlar ta'sirida ishlash sharoitining murakkablashishi maqsadni kuzatishlar sifatini oshirish; radiolokatsiya vositalari va tizimlari yashovchanligini ta'minlashda axborot va telekommunikatsiya texnologiyalarining zamonaviy imkoniyatlaridan keng foydalanish kerak bo'ladi.

5.1.2. Radiolokatsiya tizimlarining turlarga bo'linishi

Radiolokatsiya tizimlari (RLT) radiotexnik tizimlar kabi turli belgilari asosida bir necha turlarga bo'linadi. Radiolokatsiya tizimlari turli belgilari asosida quyidagilarga bo'linadi [26]:

- *o'rnatilish joyi bo'yicha* (yer ustida o'rnatilgan, kemalarda o'rnatilgan, aviatsion, kosmik radiolokatsiya tizimlari);
- *vazifasi bo'yicha* (maqsadni qidirib topish RLT, qurollarni boshqaruvchi, parvozlarni ta'minlovchi, meteorologik, navigatsion, davlatga tegishlilikini tanuvchi, ko'pfunksiyali RLT);
- *to'lqin uzunligining ishchi diapazoni bo'yicha* (dekametrlar, metrlar, detsimetrlar, santimetrlar, millimetrlar to'lqin uzunligi diapazonidagi va ko'pdiapazonli RLT);
- *nurlatish turi bo'yicha* (impulsli, uzluksiz, kvaziuzluksiz, shovqinsimon signallarni nurlatuvchi va kombinatsion RLT);
- *o'lchamuvchi koordinatalarining soni bo'yicha* (ikki koordinatali – asosan uzoqlik va azimut, uch koordinatali – asosan uzoqlik, azimut va joylashish burchagi);
- *egalllovchi holati (pozitsiyasi) bo'yicha* (bir holatli, ko'p holatli RLT).

O'rnatilish joyi bo'yicha RLTlarning bajaradigan vazifalarini ko'rib chiqamiz.

Yer usti RLTlari gorizont usti qidirib topish RLS, gorizontdan tashqari qidirib topish RLS va yuza osti radiolokatsiyalariga bo'linadi.

Gorizont usti qidirib topish RLSlari metrlar, detsimetrlar, santimetrlar va millimetrlar to'liq uzunligi (0,03...300 GHz) diapazonlarida ishlaydi, o'z navbatida statsionar (ko'chmas) va harakatdagi (mobil): o'zi yurar, shatakka olinuvchi, tashib yuriluvchi, olib (ko'tarib) yuriluvchi RLSlarga bo'linadi. Vazifasiga ko'ra esa quyidagi RLSlarga bo'linadi:

- havodagi harakatni boshqarish;
- qidirib topish, yo'naltirish va maqsadga yo'naltirish;
- kichik balandlikli maqsadni qidirib topish;
- boshqariluvchi zenit raketalarni yo'naltirish;
- zambarakli mo'ljalga olish;
- jang maydonida radiolokatsion razvedka: yer usti razvedkasi, yer usti artilleriya razvedkasi, o'q otuvchi minomyotlarni qidirib topish;
- balandlik o'lchagich;
- raketali xujum haqida ogohlantiruvchi;
- raketaga qarshi mudofaa;
- kosmik fazoni nazorat qiluvchi;
- metereologik va boshqalar.

Gorizontdan tashqari qidirib topish RLSlari dekametrlar diapazoni (3...30 MHz) radioto'liqlarining Yer ionosferasidan aks etib qaytish effektidan foydalanishga asoslangan bo'lib, signal nurlatilgan joyida qabul qilinuvchi – radioto'liqlarning teskari yoyilishi (sochilishi) rejimida, yoki tushuvchi va yoyiluvchi radioto'liq bir tomonga tarqatiluvchi – to'g'ri yoyilish rejimida ishlaydi. Gorizontdan tashqari qidirib topish RLSlari bitta sakrashli va ko'p sakrashli bo'lishi mumkin. Ular:

- katta maydonlarda okean va dengizlarning yuzasidagi vaziyatni kuzatish uchun;
- (startlangan ballistik raketalar va meteor izlari (qoldiqlari) hosil qiluvchi) aniq ravshan ifodalangan plazmali bir jinsli bo'lmagan xududlarni qidirib topish uchun;
- ionosferani tadqiq qilish uchun.

Gorizontdan tashqari qidirib topish RLSlarining ta'sir uzoqligi (ishlash masofasi) bir necha ming kilometrlarni tashkil etadi.

Yuza ostini zondlovchi radiolokatorlar yer osti bo'shliqlarini qidirib topish, turli obyektlar, beton qurilishi, muz qatlamining qalinligini aniqlash, suv osti radiolokatsiyasida qo'llaniladi. Chuqurlikka kirib borish (singish) bir necha yuz metrlarni tashkil qiladi.

Kema RLSlari havodagi va suv yuzasidagi maqsad (obyekt)larni qidirib topish va kuzatib borish, suv va qirg'oq yuzasini ko'zdan kechirish, maqsadga yo'naltirish, boshqariluvchi zenit raketalarni va zambaraklarni

nishonga to'g'rilash, shuningdek kemalarni yurgizish (boshqarish) va navigatsiya (kemaning joylashgan o'rnini va tezligini aniqlash)da qo'llaniladi.

Aviatsiya (samolyot) RLSlari fazoni kuzatuvchi, yer ustini kuzatuvchi, ko'pfunksiyali RLSlarga bo'linadi.

Fazoni kuzatuvchi RLSlariga quyidagilar kiradi:

- tutib olish va mo'ljalga olish;
- uzoq radiolokatsion qidirib topish va to'g'rilash (boshqarish);
- o'zining samolyotlarini himoya qilish;
- havodagi to'siqlarni aylanib o'tish (masalan, momaqaldiraq (bo'ron, jala) larning paydo bo'lishini).

Kosmik RLSlari Yer shari va planetalarni masofadan turib tadqiq qilish (shu jumladan kartografiyalash), kosmik apparatlarning yaqinlashishini, birlashtirilishini (tutashtirilishi) va qo'ndirilishini ta'minlashda qo'llaniladi.

5.1.3. Radiolokatsion tizimlarning taktik-texnik xarakteristikalar

Radiolokatsion tizimlarning taktik va texnik xarakteristikalar bir-biridan farqlanadi. Taktik xarakteristikalar radiolokatsion tizimning vazifa va imkoniyatlarini ko'rsatuvchi xarakteristikalar; texnik xarakteristikalariga qurilmaning asosiy parametrlarini ko'rsatuvchi xarakteristikalar kiradi. Ular birgalikda RLning taktik-texnik xarakteristikalarini ifodalaydi.

RLning taktik xarakteristikalar

RLning taktik xarakteristikalariga: ishlash hududi yoki sektori, belgilangan sektorni kuzatish vaqti, obyektning qidirib topish sifat ko'rsatkichlari, obyektning harakat parametrlari va o'lchanuvchi koordinatalari soni hamda ushbu o'lchashlarning aniqligi, chiquvchi (aks etuvchi) ma'lumotlarning turi, obyektlarni bir-biridan ajratish qobiliyati, o'tkazish qobiliyati, xalaqitdan himoyalanganligi, ishonchliligi, tejamkorligi kabi ko'rsatkichlari kiradi.

Ishlash hududi yoki sektori qidirib topiluvchi yoki tekshiriluvchi obyektlarning koordinatalarini o'lchash chegarasi bilan, ya'ni uzoqligi, azimuti va joylashish burchagi (yoki balandligi) ning minimal va maksimal qiymatlari orqali ta'riflanadi.

Belgilangan sektorni kuzatish vaqti – bu RLning ishlash natijalari bo'yicha ma'lumotlarni berish (chiqarish) sur'atini ifodalovchi xarakteristika bo'lib, ayniqsa yuqori tezlikli obyektlar (samolyot, ballistik raketa, kosmik apparat va sh.k.) bilan ishlash jarayonida g'oyat muhim hisoblanadi. RLning belgilangan sektorni kuzatish vaqti ushbu sektorni har qanday

yo'nalishda kesib o'tuvchi obyektga zarur bo'lgan kesib o'tish vaqtidan bir necha marotaba kichik bo'lishi kerak.

Obyektni qidirib topish sifat ko'rsatkichlari – bu to'g'ri qidirib topish shartli ehtimolligi F_t va yolg'on taxlika (trevoga) shartli ehtimolligi $F_{y.o.t.}$.

Obyekt harakati parametrlari va o'lchanuvchi koordinatalari soni hamda ushbu o'lchashlarning aniqligi. Havo xujumiga qarshi, ayniqsa raketa va kosmik xujumga qarshi mudofaa radiolokatsion tizimlarda yo'q qiluvchi (haydaluvchi) obyektning nafaqat uchta koordinatasini o'lchash, balki uning birinchi, ayrim hollarda ikkinchi hosilalarini o'lchash ham talab etiladi. Yer usti va suv usti obyektlarini kuzatishda ikkita koordinata: uzoqlik va azimutni o'lchash yetarli hisoblanadi. Ayrim hollarda bitta koordinatasini aniqlash bilan chegaralaniladi.

Chiquvchi (aks etuvchi) ma'lumotlar turi – bu obyektни qidirib topishdagi yorug'lik, ovoz yoki boshqa tur signal, elektron-nur trubka ekranidagi belgi, o'q otuvchi qurilma (asbob)ning obyekt koordinatalari yoki uning harakatlanish parametrlari haqidagi ko'rsatkichlari, iste'molchi (tizimni boshqaruvchi komanda punkti, havo harakatini boshqaruvchi punkt) ga aloqa kanali orqali uzatiluvchi – parametrlar va koordinatalar to'g'risidagi raqamli kodlar.

Obyektlarni bir-biridan ajratish qobiliyati – bu yaqin joylashgan obyektlarni alohida qidirib topish va koordinatalarini yoki harakat parametrlarini o'lchash qobiliyatidir.

O'tkazish qobiliyati – bu RLТning ko'p sonli obyektlar bilan ishlash qobiliyati bo'lib, radiolokatsion tizim bir vaqtda xizmat ko'rsatuvchi obyektlarning maksimal soni orqali baholanadi. Masalan, impulsli radiolokator bir vaqtda taxminan mingga yaqin obyektlar bilan ishlashi mumkin. Uning o'tkazish qobiliyati maksimal va minimal uzoqliklari farqining ajratish qobiliyatiga nisbatiga teng:

$$n \approx (D_{max} - D_{min})/\Delta D.$$

Xalaqitdan himoyalanganlik – bu RLТning turli xalaqitlar ta'siri sharoitida talab darajasidagi taktik xarakteristikalarini (birinchi navbatda, qidirib topish sifati va parametrlarini o'lchash ko'rsatkichlarini) saqlab qolish qobiliyatidir. RLТning xalaqitdan himoyalanganligi uning yashirinligi, ya'ni qabullash qurilmasi kirishiga dushmanning maxsus shakllantirilgan xalaqitlari ta'sirini qiyinlashtirish, va kirishida turli: tabiiy, o'zaro va maxsus shakllantirilgan xalaqitlar ta'siri sharoitida RLТning o'z ishlash qobiliyatini saqlab qolish qobiliyati – xalaqitbardoshlik orqali tavsiflanadi.

Xalaqitdan himoyalanganlik (xalaqitbardoshlik) xalaqitni bostirish koeffitsiyenti, turli jadallikdagi xalaqitlar ta'siri sharoitida obyektni qidirib topish uzoqligi orqali tavsiflanadi.

Ishonchlilik – bu RLning belgilangan foydalanish sharoitida o'zining taktik xarakteristikalarini o'rnatilgan darajada (meyorda) saqlab qolish xususiyati. Miqdor jihatdan ishonchlilik belgilangan muddat davomida to'xtamasdan (rad qilmasdan) ishlash ehtimolligi, ishga yaroqli bo'lgan o'rtacha muddat, faoliyati davomida rad qilish chastotasi, ish rejimiga qayta tiklanish o'rtacha vaqti bilan tavsiflanadi.

Tejamkorlik ishlab chiqarish va foydalanish, shu jumladan remont (tuzatish) uchun xarajatlar qiymati bilan tavsiflanadi.

Mobillik (manevrlik) – bu RLning tezkorlik bilan o'z joyini o'zgartirish, aylanish qobiliyati va turli vaziyat sharoitida yuqori sur'atda ishlashini davom ettirishi. RLSning aylanish (burilish) va o'ralish vaqti, joyini o'zgartirish tezligi bilan tavsiflanadi.

RLning texnik xarakteristikalari

RLning asosiy texnik xarakteristikalari quyidagilar hisoblanadi: ish rejimi va zondlovchi signalning modulyatsiya (manipulyatsiya) turi, chastotalar diapazoni (to'lqin uzunligi), energetik xarakteristikalari (uzatkichning o'rtacha va impuls quvvati, qabul qilgichning sezgirligi), antenaning xarakteristikasi, fazoni kuzatish usuli, hisoblash vositalarining xarakteristikalari, qo'llanilgan elementlar bazasi, chiqish qurilmalarining turi va soni, og'irlik va tashqi o'lchamlari, birlamchi ta'minot manbasining quvvati va boshqalar.

Ish rejimi va zondlovchi signalning modulyatsiya (manipulyatsiya) turi. RLning ish rejimi zondlovchi signallarni nurlatish turi (xarakteri) orqali aniqlanadi va uzluksiz yoki impulsli turlarga bo'linadi. O'z navbatida impulsli rejimdagi RLSlarni katta chuqurlikli $Q \approx 50 \dots 2000$ va kichik chuqurlikli $Q \approx 2 \dots 50$ nurlatish hamda kvaziuzluksiz $Q \approx T_p / \tau_t$ nurlatish RLSlariga bo'linadi. Impulsli signallarni impulsli ketma-ketlik bilan amplituda bo'yicha modulyatsiyalangan uzluksiz garmonik signal sifatida tasavvur qilish mumkin. Amplituda modulyatsiyasidan tashqari, nurlatish rejimidan qat'iy nazar zondlovchi signallarni chastota (ko'p hollarda chiziqli chastota) modulyatsiyasi, faza va chastota manipulyatsiyasi, shovqinsimon modulyatsiya, modulyatsiya va manipulyatsiya turlarining kombinatsiyalaridan foydalaniladi.

To'lqin uzunligi (chastotalar) diapazoni. RLlarda dekametrli, metrli, detsimetrli, santimetrli, va millimetrli to'lqin uzunligi diapazonlaridan foydalaniladi. Gorizontdan tashqari radiolokatsiyada dekametrli to'lqin

uzunligi diapazonidan foydalaniladi. Metrli, detsimetrli, santimetrli va millimetrli to'liq uzunligi diapazonidan gorizont usti lokatsiyasida foydalaniladi. Bu quyidagi sabablar asosida tushuntiriladi.

Radiolokatsiya radioto'liqlarni obyektidan aks etib qaytish hodisasidan foydalanishga asoslangan. Ayrim obyektlardan radioto'liqlar aks etib qaytishining yuqori jadalligi ta'minlanadi, agar to'liq uzunligi λ ushbu obyektning tashqi o'lchamlari l_{ob} dan ancha kichik ($\lambda \ll l_{ob}$) bo'lsa yoki obyektning o'lchamlariga tengdosh bo'lsa, bunda $\lambda \sim l_{ob}/2$ sharti bajarilishi maqsadga muvofiq. Modomiki, nisbatan ko'proq kuzatiluvchi obyektlar (kosmik, aerodinamik, yer usti va h.k.) bir metrdan o'n metrgacha tashqi o'lchamlarga ega bo'lib, RLSda qo'llaniladigan to'liq uzunligi bir metrdan kichik bo'lishi lozim.

Ta'sir hududi (uzoqligi) katta, burchak koordinatalari bo'yicha ajratish xususiyati yuqori va ularni o'lchash aniqligi yuqori bo'lishini ta'minlash uchun o'tkir yo'naltirilgan diagrammali antennalardan foydalanish zarur. Radioto'liqlarni yo'naltirilgan nurlatish va qabul qilishga ma'lumki, faqatgina foydalaniladigan to'liq uzunligi antenning tashqi o'lchamlaridan juda (ancha) kichik bo'lganda ($\lambda \ll l_a$) erishiladi. Shu sababli o'tkir yo'naltirilgan va ixcham antennalarni yaratishda to'liq uzunligi kichik bo'lgan radioto'liqlardan foydalanish maqsadga muvofiq.

Ta'sir hududining (uzoqligining) katta bo'lishiga, signallarni qidirib topishning va ularni o'lchash aniqligining yuqori samaradorligiga erishish uchun xalaqitlar sathi iloji boricha kichik bo'lishi kerak. Yuqoridagi to'liq diapazonlarida ushbu shart bajariladi, ya'ni ushbu to'liq diapazonlarida atmosfera va ko'pgina sanoat xalaqitlarining sathi juda kichik.

Radiolokatsiyada millimetrli, santimetrli, detsimetrli va metrli to'liq diapazonlaridan foydalanishda RLSning ta'sir uzoqligi (hududi) to'g'ridan-to'g'ri ko'rinish masofasining hududi bilan cheklanadi. Ushbu diapazonlarning radioto'liqlari refraksiya (havoda yorug'lik nurlarining sinishi) hodisasiz va ionosferadan aks etmasdan tarqaladi, ya'ni birinchi nurlatishda to'g'ri chiziqli bo'lib, 3 sm dan uzunroq to'liqlar atmosferada juda kichik so'nadi va meteorologik sharoitlar (kun-tun (sutka) vaqti va yil fasllari, tuman, bulut, yog'ingarchilik mavjudligi va h.k.) ga bog'liq bo'lmagan holda tarqaladi.

Radiolokatsiyada $\lambda = 3 \dots 30$ sm bo'lgan santimetrli va detsimetrli to'liqlardan nisbatan ko'proq foydalaniladi. Shu bilan birga keyingi vaqtda foydalaniladigan to'liq uzunligi diapazoni kengayishda davom etmoqda.

Energetik xarakteristikalar. Zondlovchi signalning impuls quvvati bir vatt dan o'nlab megavattgacha bo'lgan diapazonda bo'lishi mumkin. Impulsi

ish rejimining o'rtacha quvvati uzluksiz rejimda signallarni nurlatish quvvati kabi o'ndan bir vattdan o'nlab kilovattgacha oraliqda bo'lishi mumkin.

*Antennaning xarakteristikalar*i uning yo'naltirilganlik diagrammasi orqali aniqlanadi. Asosiy xarakteristikalariga antenna yo'naltirilganlik diagrammasi (AYD) ning maksimal qiymatidan 0,707 sathdagi (kuchlanish bo'yicha) yoki 0,5 sathdagi (quvvat bo'yicha) kengligi $\Delta\theta$ va yo'naltirilgan ta'sir koeffitsiyenti G (antennaning yo'nalganligi sababli ushbu yo'nalishda quvvat bo'yicha yutug'i), $G = 4\pi S_a/\lambda^2$, bunda S_a – antennaning effektiv yuzasi. Ko'pgina RLS antennalari uchun $\Delta\theta \approx 0,1 \dots 10^\circ$ va $G \approx 10^2 \dots 10^7$ [7].

Fazoni kuzatish usuli belgilangan kuzatish sektorida turli bir-biridan ajratiluvchi obyektlarni kuzatish ketma-ketligini ifodalaydi. Fazoni kuzatish usuli RLSning tuzilishi va qo'llanilishiga bog'liq holda uning taktik (kuzatish sektorining o'lchami, aniqlanuvchi koordinatalar soni, burchak koordinatasi bo'yicha ajratish xususiyati va h.k.) hamda texnik (yo'naltirilganlik diagrammasining shakli, skanerlash turi va h.k.) xarakteristikalari asosida tanlanadi. Bir holatli RLSlarda bir vaqtda (parallel), ketma-ket va aralash kuzatish usullaridan foydalaniladi. Ketma-ket kuzatish doirasimon, sektorli, spiralsimon va kadrli bo'lishi mumkin.

*Hisoblash vositalarining asosiy xarakteristikalar*i qo'llaniladigan protsessorlarning tezkorligi va xotira hajmi hisoblanadi. Zamonaviy protsessorlarning tezkorligi bir sekundda yuz million operatsiyaga yetadi, ularning imkoniyatlari kengaymoqda.

Uzatuvchi-qabul qiluvchi qurilmalarning O'YuCh traktlarida qo'llaniladigan element baza. O'YuCh traktlarida qo'llaniladigan texnologiyaga bog'liq ravishda, RLTLar to'liq qattiq jismli yoki O'YuCh-elektrovakuumli texnologiyali bo'lishi mumkin.

*Og'irlik va tashqi o'lchamlarining xarakteristikalar*i. Mobil RLTLar uchun kabinaning og'irlik va tashqi o'lchamlari, muqim joylashgan (statsionar) RLTLar uchun esa apparatura joylashtiriladigan binoning o'lchamlari muhim ahamiyatga ega.

Birlamchi ta'minot manbaining quvvati RLTLning ishlashini ta'minlash uchun zarur bo'lgan maksimal quvvat bilan tavsiflanadi.

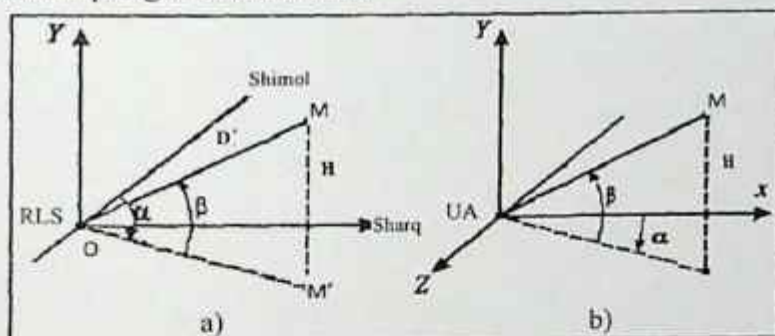
Chiqish qurilmalarining turi va soni. RLTLning chiqish ma'lumotlarini yig'ish turi quyidagilarga bo'linadi: avtomatik (inson-operator ishtirokisiz), avtomatlashtirilgan (operator ishtirokida), vizual (ko'z bilan qarab qilindigan) va qo'l orqali. Chiqish ma'lumotlari indikatorining quyidagi turlaridan foydalaniladi: strelkali (masalan, oddiy voltmetr), raqamli (masalan, raqamli voltmetr), elektron-nur trubkali (radial-doiraviy yoyilish qo'llani-

ladigan doiraviy kuzatuv; sektorli kuzatuv; “uzoqlik-joylashish burchagi”; “uzoqlik-balandlik”; “uzoqlik-yo’nalish” va b.), rangli tasvir displeyi.

RLTning ko’rib chiqilgan asosiy taktik va texnik xarakteristikalarini bir-biridan alohida (ajralgan) bo’lmay, balki o’zaro bir-biri bilan chambarchas bog’liqdir.

5.1.4. Radiolokatsion tizimlarda obyekt koordinatalarini aniqlash

Koordinatalar tizimi. Obyekt (maqsad) ning joylashgan o’rni qandaydir tayanch koordinatalar tizimida obyekt markazining o’rni (joyi, og’irlik markazi) bilan tavsiflanadi. Obyektning joylashgan o’rnini radiolokatsion aniqlashda asosan mahalliy sferik koordinatalar tizimidan foydalaniladi, bunda koordinata boshi RLTning joylashish o’rni (RLS antenasining joylashish o’rni) ga mos keladi. Yer usti RLTlarida koordinatalar tizimining bitta o’qi tizim antenasining vaziyati (holati) orqali o’tuvchi meridianning shimoliy yo’nalishi bilan mos keladi, shuning uchun obyekt (maqsad) ning joylashish o’rni qiyalik (radius) masofasi D , azimuti α va joylashish burchagi β (5.1a-rasm) orqali aniqlanadi. Bunda koordinatalar tizimi Yer yuzasiga nisbatan qo’zg’almas bo’ladi.



5.1-rasm. Mahalliy sferik koordinatalar tizimi: a) – RLT Yer ustida joylashgan; b) – RLT uchish apparati bortida joylashgan.

Agar RLT uchish apparati (UA) da joylashgan bo’lsa va koordinatalar tizimining X o’qi UAning bo’ylama (uzunasiga) o’qi bilan, Z o’qi esa o’ng qanot yo’nalishi bilan mos kelsa, u holda obyektning joylashish o’rni qiyalik masofasi D , yo’nalish burchagi – azimuti α va joylashish burchagi β (5.1b-rasm) orqali aniqlanadi. Bunday UA bilan bog’langan koordinatalar tizimi UAning parvoz tezligiga teng tezlikda Yerga nisbatan o’z joyini o’zgarib turadi, harakatiga bog’liq ravishda Yerga nisbatan aylanadi.

Qiyalik masofasi yoki radius masofa D deb RLTdan obyekt (maqsad) gacha bo’lgan to’g’ri chiziq uzunligiga aytiladi.

Azimut α – bu maqsad M orqali o'tuvchi vertikal tekislik bilan shimoliy meridian orasidagi burchak.

Joylashish burchagi β – maqsad (obyekt) ga bo'lgan yo'nalish (OM) bilan uning gorizontal tekislikdagi proyeksiyasi orasidagi burchak. Radiolokatsiyada sferik koordinatalar tizimi bilan bir qatorda koordinatalari: gorizontal uzoqlik (D_g), azimut α va balandlik H bo'lgan silindrik tizim ham qo'llaniladi.

Gorizontal uzoqlik $D_g = OM'$ qiyalik masofasi OM ning gorizontal tekislikdagi proyeksiyasi hisoblanadi. Balandlik H M dan gorizontal tekislikka tushirilgan perpendikulyar uzunligiga teng, ya'ni $H = MM'$. Uzoqlikni radiotexnik o'lchash radiouzoqlikni o'lchash (radiodalnometriya), burchak koordinatalarini o'lchash esa radiopelengasiya deb yuritiladi.

Joylashish o'rni aniqlashda mahalliy sferik koordinatalar tizimidan (1.6a-rasm) tashqari, global koordinatalar tizimidan ham foydalaniladi. Mahalliy koordinatalar tizimidan D masofa bir necha yuz kilometr (to'g'ri-dan-to'g'ri ko'rinish hududi) dan oshmaydigan holatlarda, global koordi-natalar tizimidan esa masofa juda katta bo'lganda foydalaniladi. Global, masalan, geomarkaziy koordinatalar tizimida obyektning joylashish o'rni quyidagi koordinatalar orqali aniqlanadi: ekvator tekisligi bilan obyektдан Yerning markazi tomonga yo'nalishi orasidagi burchakni ifodalovchi kenglik φ_g va Grinvich meridiani tekisligi bilan obyektning yer yuzasidagi proyek-siyasi orqali o'tuvchi mahalliy meridian orasidagi burchakni ifodalovchi uzoqlik λ_g .

5.2. Radiolokatsiya tizimlarining tuzilishi

5.2.1. Radiolokatsiya turlari

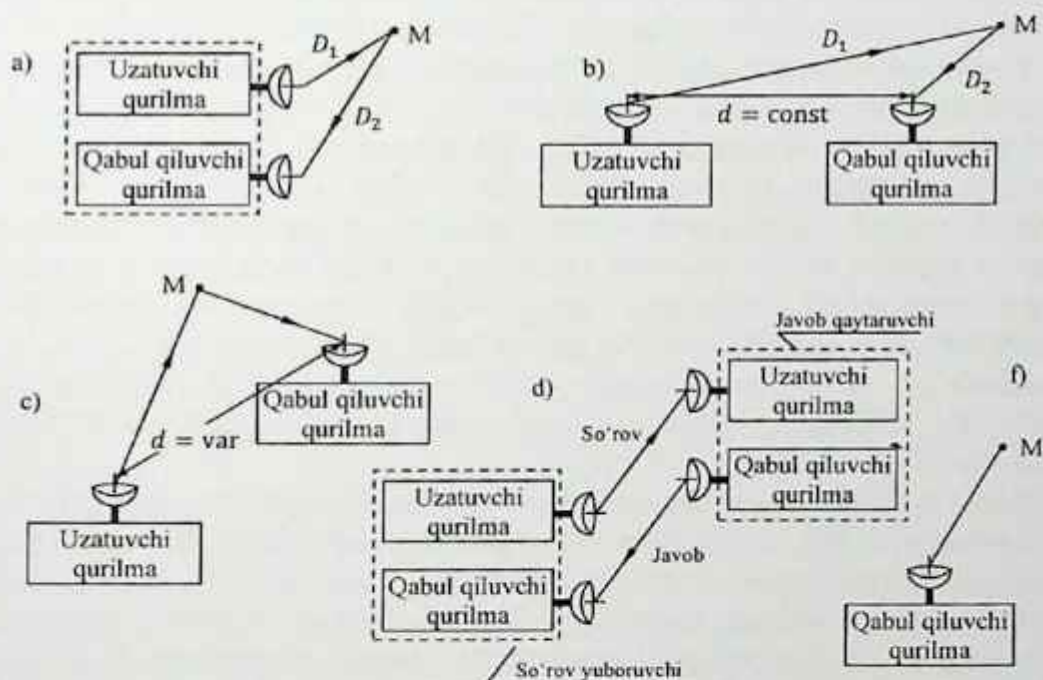
Radiolokatsiya tizimlarida qabul qilingan radiolokatsiya signali maqsad haqida axborot beradi. Qabullangan radiolokatsiya signali, maqsaddan aks etgan (qaytgan) ikkilamchi nurlatishlar, maqsadning xususiy nurlatishlari va aks etgan nurlatishlari bo'lishi mumkin. Yuqoridagilar asosida radiolokatsiya quyidagi turlarga bo'linadi:

- passiv javobli aktiv radiolokatsiya;
- aktiv javobli aktiv radiolokatsiya;
- passiv radiolokatsiya.

Shuningdek aktiv javobli passiv radiolokatsiya usuli ham mavjud.

Passiv javobli aktiv radiolokatsiya radioto'lqinlarning ikkilamchi aks etib nurlanish xususiyatidan foydalanishga asoslangan (5.2a-rasm). Bu usuldan foydalanilganda fazoning kuzatilishi talab etiladigan qismi kuchli zondlovchi

(tekshiruvchi) nurlatish orqali “yoritiladi”. Nurlatishga passiv javob obyektidan aks etib qaytgan ikkilamchi nurlatish hisoblanadi. Aktiv radiolokatsiya parametriga aks etib qaytgan nurlatishdan tashqari RLS qabullash va uzatish qurilmalarining o‘zaro joylashishi ham ta’sir ko‘rsatadi. Agar RLSning qabullash qurilmasi uning uzatish qurilmasi bilan birga joylashgan bo‘lsa, u holda radiolokatsiya vositasi *birlashgan* deb ataladi. Birlashgan RLSlarda odatda radioto‘lqinlarni nurlatish va aks etgan signallarni qabullash antennalari yagona bo‘lib, bu antennalar uzatish va qabullash ish holatlariga ularni o‘rnatilgan ketma-ketlikda uzib-ulash orqali amalga oshiriladi. RLSlarning uzatish va qabullash qurilmalari bir-biridan “baza” deb ataluvchi d oraliqda joylashgan bo‘lishi ham mumkin. Uzatish va qabullash qurilmalari orasidagi baza doimiy – $d = const$ (5.2b-rasm) yoki o‘zgaruvchan – $d = var$ (5.2c-rasm) bo‘lishi ham mumkin. Baza o‘zgaruvchan bo‘lgan holatga misol sifatida (5.2c-rasm) qabullagich kallagi raketaga o‘rnatilgan o‘zini-o‘zi boshqarib obyektga yo‘naluvchi tizimni keltirish mumkin.



5.2-rasm. Radiolokatsiya turlari:

a) – passiv javobli aktiv radiolokatsiya; b) – uzatish va qabul qilish qismlari turli joylarga o‘rnatilgan bir (doimiy) bazali va c) – o‘zgaruvchan bazali aktiv radiolokatsiya; d) – aktiv javobli aktiv radiolokatsiya; e) – passiv radiolokatsiya.

Bir (doimiy) bazali (ikkita pozitsiyali) – uzatish va qabullash qismlari turli joylarga o'rnatilgan aktiv radiolokatsiya vositalari bilan birga, ko'p bazali (ko'p pozitsiyalari) – qismlari turli joylarga o'rnatilgan radiolokatsiya tizimlaridan ham foydalaniladi. Bunday radiolokatsiya tizimlariga qiziqishning oshib borishi RLSlar oldiga qo'yilgan vazifalarning murakkablashib borayotganligi sabab bo'lmoqda.

Aktiv javobli aktiv radiolokatsiya (ikkilamchi radiolokatsiya) – bu aktiv javobli aktiv radiolokatsiya hisoblanadi. Radiolokatsiyaning bu turidan foydalanib, "o'z obyektlari" haqida (misol uchun, kemalar, samolyotlar va b.) yuqori ishonchli axborot olish mumkin. Bunda obyektlarga "so'rov" signallari nurlatiladi (5.2d-rasm). Obyektlarga javob beruvchi – qabul qilingan signalni qayta tiklab nurlatuvchi "qabullab-uzatuvchi" qurilma o'rnatilgan bo'ladi. Obyektlarga o'rnatilgan uzatuvchi va javob beruvchi qurilmalar signallari chastotasi, modulyatsiyasi va kodlash usuli o'zgartirilishi mumkin. Bu usuldan obyektning "o'zimizniki" yoki "begona" ekanligini aniqlashda foydalaniladi. Aktiv javob tizimidan samolyotlar va dengizdagi kemalarni radionavigatsiya qilishda ham foydalaniladi.

Passiv radiolokatsiyada obyekt elementlarining va unga yaqin jismlar va hududlarning xususiy nurlatishlaridan foydalaniladi (5.2f-rasm). Obyektning "isitilgan" yuzasi, radiolokatsiya va radionavigatsiya vositalari, radioaloqa vositalari va radiosignallarni "yo'qqa chiqarish" (bostirish, so'ndirish) va turli ionlashgan hodisalar va shu kabi nurlatishlar chiqaradilar. Umuman olganda, passiv radiolokatsiya vositalari bir joyda va bir-biridan turlicha masofalarda joylashgan ham bo'lishi mumkin. Radiorazvedka vositalarining ishlash prinsipi passiv radiolokatsiyaga asoslangan.

Passiv va aktiv radiolokatsiya vositalaridan birgalikda foydalanish mumkin. Bu holda "aktiv-passiv" radiolokatsiya vositalari, tizimlari va majmualari haqida mulohazalar olib boriladi.

Aktiv va aktiv-passiv radiolokatsiya vositalari uchun fazoni zondlash katta ahamiyatga ega. Zondlovchi energiyaning yuqori darajada yo'naltirilganligi uning energiyasini kichik bir hududga ta'sir qilishini, bu esa o'z navbatida aks etib qaytgan signallarni ajratib olishni ta'minlaydi. Shuning uchun fazoning turli qismlarini zondlash bir vaqtda amalga oshirilmaydi, ya'ni fazoning hamma qismini kuzatish bilan bir vaqtda uning alohida qismlari ketma-ket kuzatiladi. Fazoning turli qismlariga yo'naltirilgan nurlanishlar vaqt bo'yicha modulyatsiyalanganligi uchun turli yo'nalishlardagi modulyatsiya qonunlari bir-biriga mos kelmaydi. Bu holda zondlovchi tebranishlarni fazo-vaqt bo'yicha modulyatsiyalangan bo'ladi deb qabul qilish kerak bo'ladi. Bunday tebranish radiouzatkich chiqishidagi signal vaqt

bo'yicha modulyatsiyalanganligi va uzatish antennasi yo'natirilganlik diagrammasining harakati (doim ma'lum bir shakl va tezlikdagi) natijasida kelib chiqadi. Radiolokatsion kuzatish tizimi oldiga qo'yilgan vazifaga qarab fazoni o'zgarmas yoki ma'lum bir qonuniyat asosida tuzilgan dastur asosida kuzatib boradi. Odatda, ajratilgan hududni tezkor ravishda kuzatish uchun elektromagnit to'lqinlarni nurlatish antennasi holati elektr qurilma yordamida o'zgartiriladi: panjarasimon antenna, holati ma'lum chastota bilan o'zgartiriluvchi (skanerlovchi nur) antennalaridan foydalaniladi.

Qabul qilinayotgan radiosignal xarakteristikalarini va ular orqali maqsad koordinatalarini o'lchash natijalari aniqligiga radioto'lqin tarqalayotgan muhit xossalari ta'sir qiladi. Bunda eng oddiy holat, radioto'lqinlarning bir tarkibli, izotrop va dispersiya xossasiga ega bo'lgan muhitda bo'ladi. Bu holatda radioto'lqin tarqalishi tezligi

- kuzatilayotgan hududning hamma qismlari uchun bir xil;
- to'lqin tarqalish yo'nalishi va qutblanganligiga bog'liq emas;
- to'lqin tebranish chastotasiga bog'liq bo'lmaydi va $c = 3 \cdot 10^8$ m/s ga teng bo'ladi [2].

Zondlovchi va aks etgan signal to'g'ri chiziqli trayektoriya bo'yicha o'z shaklini o'zgartirmasdan tarqaladi. Radiouzatish va qabullash qurilmalari bir nuqtada joylashgan (5.2a-rasm) va turli nuqtalarda joylashgan (5.2b-rasm) RLSlari uchun kichik o'lchamli (nuqtaviy) maqsaddan qaytgan zondlovchi radiolokatsiya signalining *kechikib kelish vaqti* – t_k mos ravishda quyidagi ifodalar orqali aniqlanadi:

$$t_k = (D_1 + D_2)/c; \quad t_k = 2D/c. \quad (5.1)$$

Maqsadgacha bo'lgan masofa haqidagi ma'lumot qabul qilingan signal tarkibida bo'ladi. RUQ va RQQ bir nuqtada joylashgan RLS uchun maqsadgacha bo'lgan masofa kechikish vaqti orqali aniqlanadi:

$$D = ct_k/2. \quad (5.2)$$

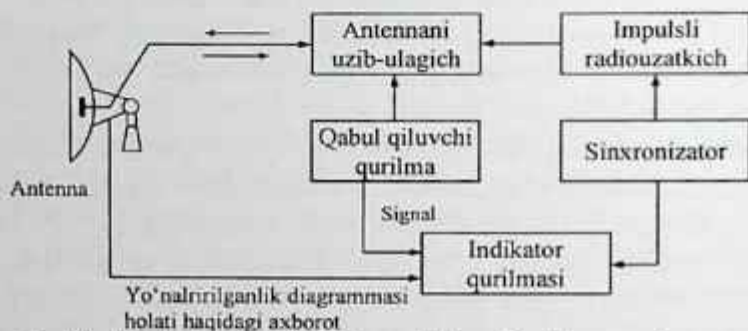
Agar qaytgan signalni qabullash qurilmasi RUQsidan boshqa hududda joylashgan bo'lsa, yoki ko'p elementli antennadan foydalanilgan holda qabul qilingan signal fazo-vaqt tarkibiga bog'liq bo'ladi. Maqsaddan qaytgan nurlarning kechikish vaqtlari to'plami nafaqat maqsadgacha bo'lgan masofa, shu bilan birga uning burchak koordinatalarini aniqlash imkoniyatini beradi.

Qabullash antennasi elementlari panjarasimon antenna hududida joylashgan bo'lsa qabul qilingan signal o'rovchisining antenna elementlarining biridan ikkinchisiga ta'sir etish vaqtlaridagi kechikishlarni e'tiborga olmasa ham bo'ladi, bu holatda maqsadgacha masofa burchak koordinatalari qabul qilinayotgan signal boshlang'ich fazalarining taqsimotini tahlil qilish orqali aniqlanadi. Antennaning yo'naltirilganlik xarakteristikalarining

shakllanishi ham qabul qilinayotgan signal fazalari taqsimotiga bog'liq bo'ladi.

Maqsadni qidirib topish, uning burchak koordinatalarini va uzoqligini o'lchash kabi asosiy jarayonlarning amalga oshirilishini 5.3-rasmdagi umumiy uzatuvchi-qabul qiluvchi antennali va bitta qabullash qurilmasi sodda birlashgan aktiv impulsli radiolokatorning strukturaviy sxemasi asosida tushuntiramiz [3].

Radiolokatorning muhim elementi – bu uning asosiy elementlarining ishlash ketma-ketligini belgilovchi *sinxronizator* hisoblanadi. Qisqa radiodioimpuls bilan zondlash (tekshirish) qabul qilish va nurlatishning ayni bir vaqtda yuz bermasligini ta'minlaydi. Bu esa antenna uzib-ulagichi orqali kommutatsiyalanuvchi yagona umumiy antennadan foydalanib uzatish va qabullashni amalga oshirish imkoniyatini beradi.



5.3-rasm. Sodda birlashgan aktiv impulsli radiolokatorning strukturaviy sxemasi

Zondlovchi radioimpuls nurlatilgandan so'ng antenna qabullash qurilmasi bilan ulanadi. Indikator qurilmasi maqsadning ikkilamchi nurlatishi hisobiga maqsadgacha bo'lgan masofa va uning burchak koordinatalarini o'lchash orqali operatorning qidirib topish imkoniyatini ta'minlaydi. Avtomatika tizimlari indikatorli qurilmaning antenna bilan bog'lanishini ta'minlaydi, bu esa antenaning yo'naltirilganlik diagrammasi holati to'g'risidagi axborotga ega bo'lish imkonini beradi, shuningdek antenani boshqarishni ta'minlaydi (boshqarish tizimi 5.3-rasmda ko'rsatilmagan).

Umuman olganda qabullash ko'pkanalli bo'lishi mumkin, signal davomiyligi kichik bo'lishi shart emas. Qabullash va uzatish antennalari fazo bo'yicha ajratilgan (hattoki birlashgan lokatsiya sharoitida ham) bo'lishi mumkin.

Harakatlanuvchi maqsadni radiolokatsiya qilishda signal alohida elementlarini vaqt bo'yicha kechikishining o'zgarishi, demak signalning

barcha strukturasi o'zgarishi holati yuzaga keladi. Birlashgan impulsli radiolokatorga nisbatan maqsadning radial harakati:

- 1) ketma-ket qabul qilinuvchi impulsning kechikish vaqtini o'zgartiradi;
- 2) fizikadan bizga ma'lum bo'lgan tashuvchi chastotaning o'zgarishi – Dopler effektiga olib keladi.

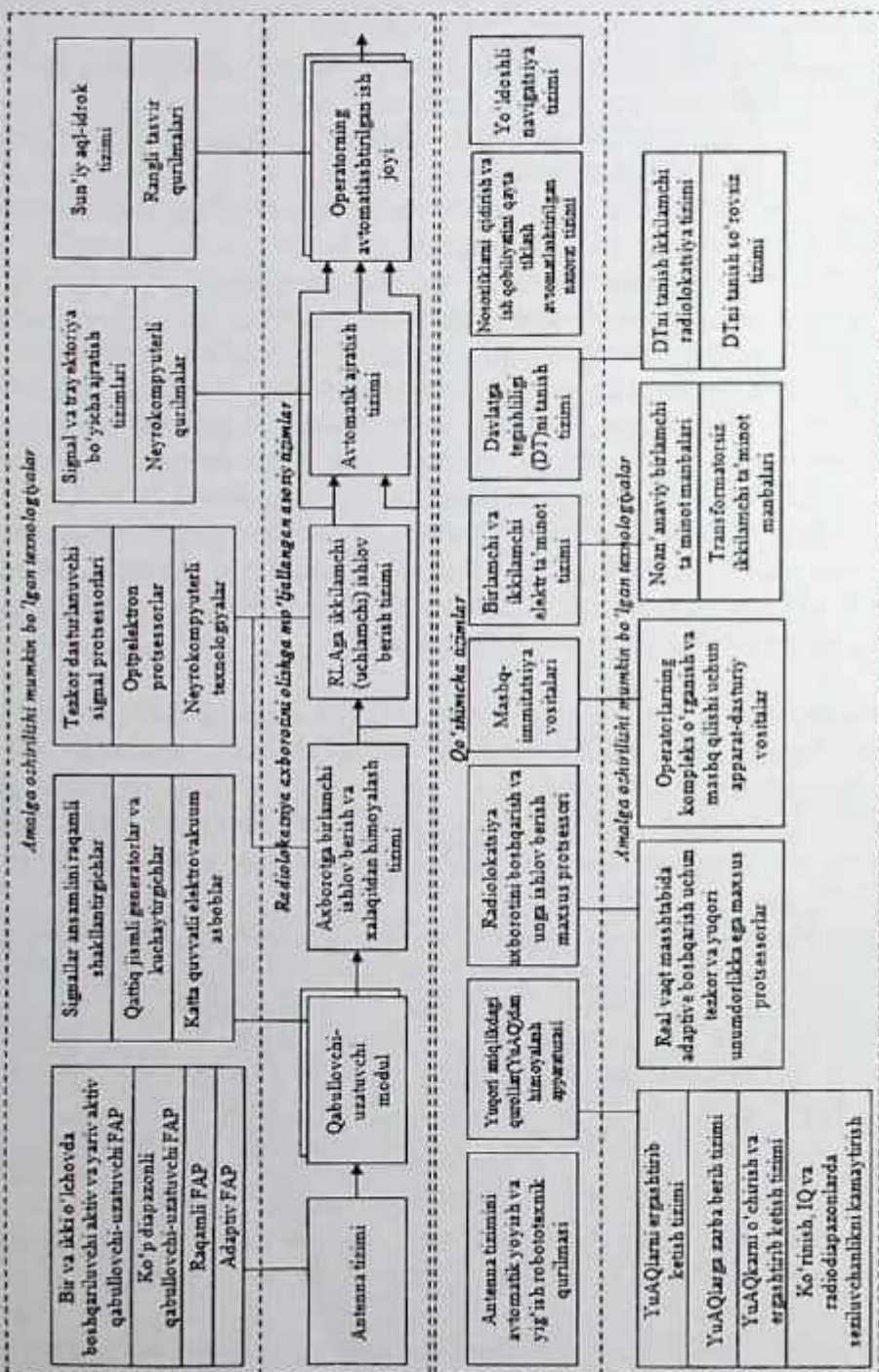
Maqsadning radial tezligini o'lchashda alohida holda ikkala effektdan ham foydalaniladi.

Radiolokatsiyaning har qanday usulida ham maqsaddan qaytgan signallar ko'pincha kuchsiz (kichik quvvatli) bo'ladi. Ayniqsa bu holat passiv javobli aktiv radiolokatsiya jarayoniga tegishli bo'lib, energiya ikki marta: maqsadgacha va maqsaddan qaytish yo'lida sochilishi natijasida zaiflashib qoladi. Maqsaddan qaytgan kuchsiz signallarni ajratib olishda bir qator tadbirlar amalga oshiriladi: uzatuvchi va qabul qiluvchi antennalarning tashqi o'lchamlarini iloji boricha kattalashtirish, zondlovchi (tekshiruvchi) tebranishlarning o'rtacha quvvatini oshirish, radioqabullash qurilmasida yuqori sezuvchanlik (ta'sirchanlik)li kirish elementlarini qo'llash. Tashqi xalaqitlar va qabullagichning ichki shovqinlarini hisobga olib, qabul qilingan tebranishlarga ishlov berish optimallashtiriladi.

5.2.2. Radiolokatsiya tizimining umumlashgan strukturaviy sxemasi

Radiolokatsiya tizimlarining tarkibi uning vazifasi, o'rnatilish joyi, signal manbai, obyekt koordinatalarini o'lchash usullari va h.k.larga bog'liq bo'ladi. Biroq turli-tuman RLtlarda ham, shuningdek zamonaviy RLtlarida ham u yoki bu darajaga xos bir nechta elementlarni ajratib ko'rsatish mumkin [20].

5.4-rasmda radiolokatsiya axborotini bevosita olishga mo'ljallangan, tizim (tizim osti) qismlaridan iborat RLSning umumlashtirilgan strukturaviy sxemasi, shuningdek RLSning vazifasi, o'rnatilish joyi va boshqa ko'rsatkichlariga bog'liq bo'lgan, RLS tarkibiga kirishi mumkin bo'lgan yoki mumkin bo'lmagan (manba tizimidan tashqari) qo'shimcha vositalar ham keltirilgan. Zamonaviy va istiqbolli RLSlarda qo'llaniluvchi yoki qo'llanilishi mumkin bo'lgan har bir tizimning asosiy vazifalari va ulardagi texnologiyalarni ko'rib chiqamiz.



5.4-pacm. Radiolokatsiya tizimining umumlashgan strukturaviy sxemasi

Radiolokatsiya axborotini olishga mo'ljallangan asosiy tizimlar

Antenna tizimi radioto'lqinlarni qabul qilish va uzatishga xizmat qiladi. RLSning vazifasi, uning o'rnatilish joyi va unda qo'llaniladigan to'lqin uzunligi diapazoniga bog'liq ravishda antennalarning quyidagi turlaridan foydalaniladi:

- simdan yasalgan: spiralsimon va vibratorli (ko'ndalang yoki o'q bo'yicha nurlatuvchi);
- akustik turidagi: to'lqin o'tkazgich va ruporli;
- optik turdagi: reflektorli va linzali;
- sirt (yuza) to'lqinlari;
- signalga ishlov beruvchi;
- nurni skanerlovchi;
- fazalashtirilgan antenna panjaralari (FAP).

Zamonaviy RLSlarda nisbatan ko'proq bir va ikki o'lchovda boshqariluvchi aktiv fazalashtirilgan antenna panjaralari (FAP), ko'p diapazonli uzatuvchi-qabul qiluvchi FAP, raqamli FAP, adaptiv FAPlari ishlatiladi. *Uzatuvchi-qabul qiluvchi modul* iloji boricha antenna tizimiga yaqin joylashtiriladi va radiouzatkich va radioqabul qilgich qurilmalaridan iborat bo'ladi.

Radiouzatuvchi qurilma (RUQ) belgilangan parametrli amplituda va burchak (chastota yoki faza) modulyatsiyasili yuqori chastotali uzluksiz tebranishlarni yoki impulsnlarni shakllantiradi. Radiouzatuvchi qurilmaning asosiy vazifasi tebranishlarni shakllantirish, tebranish (modulyatsiya) parametrlarini boshqarish va quvvatni kuchaytirishdir. Yuqoridagiga muvofiq RUQning zaruriy funksional qismlari: avtogenerator, modulyator va quvvat kuchaytirgichlari hisoblanadi.

Shuningdek, RUQ tarkibiga ikkilamchi elektr manbai, chastota ko'paytirgich (bo'lgich), avtomatik sozlash tizimi va boshqalar kiradi. RLSning taktik-texnik talablaridan kelib chiqib, RUQlar bir kaskadli va ko'p kaskadli RUQlarga bo'linadi. Bir kaskadli radiouzatkichlarda tebranishlarni shakllantirish zaruriy quvvatli avtogenerator yordamida tanlanadi, ko'p kaskadli radiouzatkichlarda esa kichik quvvatli avtogeneratorning yuqori barqarorlikli tebranishi zaruriy quvvatgacha kuchaytiriladi. Bir kaskadli RUQlarga qaraganda ko'p kaskadli RUQ nisbatan yuqori quvvatni va zondlovchi signal parametrining barqarorligini hamda murakkab signalni shakllantirish imkoniyatini ta'minlaydi.

Tebranishlarni shakllantirish va kuchaytirish uchun elektrovakuumli hamda qattiq jisimli elektron asboblardan foydalaniladi. Elektrovakuumli asboblarga elektron lampalar (triodlar va tetrodlar), magnetronlar, klistronlar,

yuguruvchi to'liq lampalari (tebranishlarni kuchaytirish uchun), teskari to'liq lampalari va gibrid asboblari kiradi. Qattiq jismli asboblarga esa tranzistorlar (bipolyar va maydoniy), diodlar (Gann diodi, ko'chki-oraliq diodi, varaktorlar) va boshqa yarim o'tkazgich asoslari kiradi.

Radioqabul qiluvchi qurilma (RQQ) birlamchi ishlov berish va xalaqitdan himoyalash tizimi bilan birgalikda antenna orqali qabul qilingan signalni kuchaytirish, o'zgartirish va ichki shovqinlar hamda tashqi xalaqitlardan ajratib olish (optimal ishlov berish) ni ta'minlaydi.

Radiolokatsiya axborotiga birlamchi ishlov berish qidirib topish jarayoni va RLSning kuzatish davri davomida qabul qilingan signallarning parametrlarini o'lchashni amalga oshiradi. Qabul qilingan xalaqitlar ta'siridagi signallardan foydali signalni ajratib olish usullariga bog'liq ravishda filtrl, korrelyatsion, korrelyatsion-filtrl, o'zaro korrelyatsion va avtokorrelyatsion RQQlardan foydalaniladi.

Radiolokatsiya axborotiga ikkilamchi ishlov berish bitta birlashgan RLSning bir nechta kuzatish sikllari asosida qabul qilingan radiolokatsion belgilar majmuasi bo'yicha yoki ko'p holatli RLSning bir nechta qabul holatlari bo'yicha olib boriladi.

Radiolokatsiya axborotiga uchlamchi ishlov berish RLT tarkibiga kiruvchi RLSlardan qabul qilingan yoki alohida RLSlardan qabul qilingan axborotlarni umumlashtirish va taqqoslashdan iborat. Shuni ta'kidlash kerakki, radiolokatsion vositalar va nimitizimlar o'rtasida birlamchi, ikkilamchi va uchlamchi ishlov berish jarayonlarini taqsimlash hamda raqamli qurilmalar va usullarni qo'llash sohasi qat'iyon o'rnatilgan emas. Ikkilamchi va uchlamchi ishlov berish hozirgi paytda elektron hisoblash mashinalari yordamida amalga oshirilmoqda. Birlamchi ishlov berish ham raqamli ham analog vositalarda olib boriladi. Analog qurilmalar sifatida yuza akustik to'liqni asboblari, zaryad tashuvchi (ko'chiruvchi) asboblari, optoelektron prosessorlardan foydalanilsa, signallarga raqamli ishlov berishda esa tezkor dasturlanuvchi signal prosessorlari, neyrokompyuterli texnologiya va h.k. lardan foydalaniladi.

Avtomatik ajratish tizimi kuzatiluvchi obyektlar qaysi sinfga va turga tegishli ekanligini aniqlash vazifasini bajaradi. Turli obyektlar (aerodinamik, yer usti, suv usti) ni ajratishda xususan trayektoriya belgisi, ya'ni uning taktik-texnik xarakteristikalarini orqali aniqlanuvchi, obyektlar harakati qonuniyatini hisobga oluvchi trayektoriya parametrlaridan foydalanish mumkin. Ushbu trayektoriya belgisi bilan bir qatorda turli sinfdagi obyektlardan aks etuvchi signallarning xususiyatini hisobga oluvchi signal belgilaridan ham foydalaniladi. Umuman olganda, ajratish masalasini yechish

uchun hisoblash texnikasi tizimlarining juda yuqori unumdorlikka ega (bir soniyada 10^8 - 10^{10} ta va undan ko'p amalni bajaruvchi) bo'lishi talab etiladi.

Operatorning avtomatlashtirilgan ish joyi RLSning chiqish qurilmasi hisoblanadi. Zamonaviy va istiqbolli avtomatlashtirilgan ish joylarida sun'iy intellekt (aql-idrok) tizimlari, radiolokatsiya axborotlarini rangli aks ettirish tizimlaridan foydalaniladi.

Qo'shimcha tizimlar

Antenna tizimini avtomatik yoyish va yig'ish robototexnik qurilmasi asosan kosmik RLS va harbiy sohadagi mobil RLSlarda foydalaniladi.

Yuqori aniqlikdagi qurollardan himoyalash apparaturasi harbiy RLSlarda qo'llaniladi, RLSga shikast yetkazuvchi yuqori aniqlikdagi qurollarni ikkita guruhga bo'lish mumkin:

- RLSning aktiv radionurlatishiga o'z-o'zini yo'naltiruvchi radiolokatsiyaga qarshi raketalar; bunday raketalarda passiv radiolokatsion o'z-o'zini yo'naltirish kallagi qo'llaniladi;
- "havo-yuza" sinfidagi boshqariluvchi raketalar va aktiv, yarim aktiv radiolokatsion (lazerli) va passiv infraqizil, televizion va boshqa o'z-o'zini yo'naltirish kallagi qo'llanilgan boshqariluvchi aviabombalar; bunday vositalar nurlatish tarqatmaydigan radiolokatorga ham yo'naltirilishi mumkin.

Radiolokatsiyaga qarshi raketalardan himoyalalanish uchun RLSning mo'ljalga olinuvchi nuqtasi (joyi) siljuvchi (joyini o'zgartiruvchi, harakatdagi) uzatkichlardan; radiolokatsiyaga qarshi raketalarining ko'tarilish (uchish) jarayonida o'z vaqtida o'chishni (yoki efirga chiqish vaqtini chegaralovchi) ta'minlovchi RLSlardan foydalanish, hamda RLS nurlatishining yashirinligini oshirish kerak bo'ladi. Boshqariluvchi raketalardan himoyalalanish RLSning ko'rinish, infraqizil va radiodiapazonlarda seziluvchanlik (ko'riluvchanlik) darajasini kamaytirish hisobiga amalga oshiriladi. RLSni yuqori aniqlikdagi qurollardan himoyalashning umumiy usullari mavjud bo'lib, ular quyidagilar: mavjud yoki nisbatan uncha qimmat bo'lmagan maxsus olovli shikastlovchi yuqori aniqlikdagi qurollardan (masalan, kichik va juda kichik uzoqlikli zenit raketa-zambarak majmuasidan) foydalanish; RLS holatining maxsus muhandislik qurilmalarini qo'llash hisobiga himoyalanganligi (yashovchanligi)ni oshirish va uning nisbatan muhim va zaif elementlarini zirhlash.

Radiolokatsiya axborotini boshqarish va unga ishlov berish maxsus protsessori hisoblash vositalari majmuasining bo'laklari ko'rinishida bajariladi. U ko'plab turli masalalarni yechishga mo'ljallangan bo'ladi.

Misol sifatida "Kasta-2E2" 39H6E RLS hisoblash vositasi bajaruvchi vazifalarni keltiramiz:

- koordinata belgilarini avtomatik shakllantirish;
- maqsad (obyekt) ni avtomatik ishg'ol qilish va kuzatib borish, harakat parametrlarini hisoblash;
- RLS ish rejimini avtomatik va yarim avtomatik boshqarish;
- Yer usti va kichik tezlikli maqsad (obyekt) larni ajratish va avtomatik kuzatib borish;
- davlatga tegishlilikini aniqlash kanalini avtomatik boshqarish va uning axborotini kuzatib boriluvchi obyektga yetkazish;
- axborotni shakllantirish va uni aks ettirishga chiqarish (obyektning tavsifi, davlat chegaralari chizig'i va havo kemasi harakatining yo'lagi, operatorga yordamchi tekstlar, hisoblash vositalarining holati haqidagi axborotlar);
- tashqi iste'molchilar uchun axborotlarni shakllantirish va chiqarish.

Mashq-imitasiya vositalari. RLS operatorlarning kompleks o'rganishi va mashq qilishi uchun turli dasturiy-apparat vositalaridan foydalaniladi.

Birlamchi va ikkilamchi elektr ta'minot tizimi har qanday RLSning ajralmas qismi hisoblanadi. Asosiy birlamchi ta'minot tizimiga tashqi elektr tarmog'i yoki dizel-elektrostansiyasi kiradi. Shuningdek, boshqa ta'minot manbalari: ximiyaviy, yadroviy va h.k.lardan ham foydalanish mumkin. Ikkilamchi ta'minot tizimiga transformatorlar qo'llanilgan an'anaviy manbalardan tashqari transformatorlarsiz manbalar kiradi.

Davlatga tegishlilikini tanish tizimi so'rovli yoki so'rovsiz bo'lishi mumkin. Asosan, havodagi obyektlarni qidirib topish RLSlarida foydalaniladi. Davlatga tegishlilikini tanish tizimi – bu mustaqil aktiv javobli aktiv radiolokator (so'rovli tizim) yoki aktiv javobli passiv radiolokator (so'rovsiz tizim) hisoblanadi. So'rovsiz tizimning samarali ishlashi uchun ham RLSda ham obyektga yuqori barqarorlikli generator bo'lishi talab etiladi.

Nosozliklar (buzilishlar) ni qidirish va ish qobiliyatini qayta tiklash avtomatlashtirilgan nazorat tizimi. Zamonaviy RLSlar funksional avtomatlashtirilgan nazorat (diagnostika) tizimi bilan jihozlangan. Zamonaviy tizimlar aksariyat hollarda nosoz elementlarni qidirishni 0,99 ishonchlilik bilan ta'minlaydi, va rad etuvchi (nosoz) elementning apparaturadagi joylashish o'rni hamda ehtiyot qismlar saqlash xonasidagi joylashish o'rni haqida operatorga xabar beradi. Asosiy parametrlarini o'lchash o'rnatilgan tizimlar RLS holati haqida uning ish jarayonini to'xtatmasdan turib ham operatorga axborot berish imkoniyatini ta'minlaydi. RLS qabul qiluvchi va uzatuvchi traktlarini boshqaruvchi (tartibga soluvchi) va himoyalovchi

avtomatik tizimning mavjudligi RLSning xizmat muddati davomida uning ishchi xarakteristikalarining barqarorligini ta'minlaydi. Avtomatlashtirilgan diagnostika, nosozliklarni qidirish va ishlash qobiliyatini qayta tiklash tizimidan foydalanish RLSning (xizmat ko'rsatish uchun o'chirilmasdan) uzoq muddat uzluksiz ishlashini ta'minlaydi, ishlash qobiliyatini qayta tiklash uchun 20-30 minutdan ko'p vaqt sarflanmaydi.

Yo'ldoshli navigatsiya tizimi yuqori aniqlik bilan joylashish o'rini tezkor aniqlashni amalga oshiradi. Bunday apparaturadan foydalanish RLSning mobilligini oshiradi.

5.3. Obyektlarning radioto'lqinlarni aks ettirish xususiyati

Obyekt (nishon)ga kelib urilayotgan radioto'lqinlar uning yuzasida obyekt (nishon) shakli, o'lchami va materialiga bog'liq ravishda tok o'tkazuvchanligi yoki siljishini yuzaga keltiradi. O'z navbatida ushbu toklar radioto'lqinlarning ikkilamchi nurlanishi yoki sochilishini, ya'ni aks etishini yuzaga keltiradi. *Obyektlarning aks ettirish xususiyati* asosan obyekt (nishon) ning materialiga, shakli va o'lchamiga, nurlatuvchi to'lqin uzunligiga bog'liq bo'lib, radiolokatsion qidirib topish uzoqligiga ta'sir ko'rsatadi. Obyektning aks ettirish xususiyati – obyektning radioto'lqinlarni aks ettirish effektiv yuzasi bilan baholanadi.

Aks ettirish effektiv yuzasi (AEEYu) – bu qandaydir S_e shartli ekvivalent yuza bo'lib, obyektga tushayotgan radioto'lqinlar RLS qabul qilgichi kirishida aks etgan quvvat oqimining zichligini (energiyani) yuzaga keltiradi.

Miqdor jihatidan AEEYu quyidagicha aniqlanadi. Faraz qilaylik, S yuzali obyektga Π_1 zichlikka ega quvvat keladi (keluvchi quvvat zichligi $\Pi_1 = P_u/S_a$ ifoda orqali aniqlanadi, bunda P_u – uzatkichning quvvati, S_a – antenaning ochiq yuzasi). Ushbu quvvat zichligi ta'sirida obyekt

$$P = S\Pi_1 \quad (5.3)$$

ga teng bo'lgan quvvatni qayta nurlatadi. Ushbu energiyaning faqatgina ma'lum bir qismi, ya'ni quvvat zichligi

$$\Pi_2 = \frac{PG}{4\pi D^2} \quad (5.4)$$

ga teng bo'lgan qismi RLS antenasiga qaytib keladi, bunda G – antenaning yo'naltirilganlik koeffitsiyenti; $4\pi D^2$ – R radiusli shar yuzasi (D – obyektidan RLS antenasigacha bo'lgan masofa).

(5.3) ifodani (5.4) ifodaga qo'yib, quyidagini hosil qilamiz

$$\Pi_2 = \frac{\Pi_1 GS}{4\pi D^2}. \quad (5.5)$$

Bunda $GS = S_e$ belgilab, AEEYu S_e ni hosil qilamiz. Shunday qilib, (5.5) ifodani quyidagi ko'rinishga keltiramiz

$$\Pi_2 = \frac{\Pi_1 S_e}{4\pi D^2}. \quad (5.6)$$

Ushbu (5.6) ifodadan esa AEEYuni aniqlash formulasi kelib chiqadi, ya'ni

$$S_e = 4\pi D^2 \frac{\Pi_2}{\Pi_1}. \quad (5.7)$$

Hosil bo'lgan ifodadan ko'rinadiki, AEEYuni aniqlash uchun obyekt (nishon) gacha bo'lgan masofani, shuningdek obyekt(nishon)ga keluvchi va undan aks etuvchi quvvat zichligini bilish lozim bo'ladi.

Sodda shakldagi obyektlar (metall qatlam, shar, qirrasimon qaytargich va b.) uchun AEEYuni hisoblash nisbatan oson. Bunda ular bir tarkibli ideal o'tkazuvchanlikli materialdan yasalgan deb qaraladi. Murakkab obyektlarning AEEYu faqat tajriba orqali aniqlanadi.

5.3.1. Sodda shakldagi obyektlarning AEEYu

To'g'ri geometrik shakldagi obyektlar elementar nuqtaviy obyekt (nishon)lar hisoblanadi, shuning uchun ularning AEEYuni nazariy hisob-kitoblar asosida aniqlash mumkin. Agar obyektning o'lchami RLSning ajratish yuzasi (hajmi)dan kichik bo'lsa, bunday obyektlar *nuqtaviy obyektlar* deb ataladi. Quyida bir nechta sodda shakldagi obyektlarning AEEYu to'g'risida ma'lumotlar keltirilgan.

O'lchamlari to'liq uzunligi λ dan ancha katta bo'lgan va radioto'lqinning tarqalish yo'nalishiga perpendikulyar joylashgan yassi metall qatlam (list) uchun AEEYu – $S_e = 4\pi(S^2/\lambda^2)$ ga teng. Agar yassi metall listga tushayotgan burchak yo'qolsa, ya'ni radioto'lqin listga parallel ravishda tushsa, u holda AEEYu keskin kichiklashib ketadi, bunda AEEYu quyidagicha aniqlanadi

$$S_e = 4\pi \left(\frac{S^2}{\lambda^2} \right) \cos^2 \lambda \left[\frac{\sin \frac{2\pi a \cdot \sin \alpha}{\lambda}}{\frac{2\pi a \cdot \sin \alpha}{\lambda}} \right]^2, \quad (5.8)$$

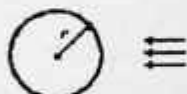
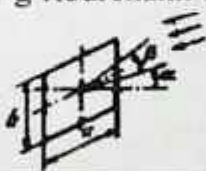
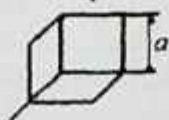
bunda, a – yassi metall listning tomoni, α – nurlatish burchagi.

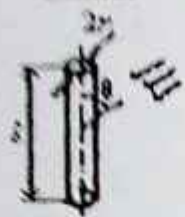
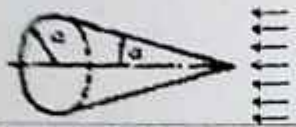
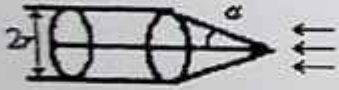
Tomoni a ga teng bo'lgan qirrasimon qaytargich (aks ettirgich). Kichik o'lchamli obyektlarning aks ettirish jadalligini oshirish uchun ko'p hollarda sun'iy qirrasimon qaytargichlardan foydalaniladi.

Quyidagi 5.1-jadvalda bir qancha sodda shakldagi obyektlar va ularning AEEYuni hisoblash formulalari keltirilgan.

5.1-jadval

Sodda shakldagi obyektlarning AEEYu

<i>Obyekt turi</i>	<i>AEEYu</i>
Yarim to'liqlikli vibrator 	$S_e = 0,86\lambda^2$
Metall shar $r \gg 2\lambda$ $r \ll 2\lambda$ 	$S_e = \pi r^2$ $S_e = 144\pi^5 r^6 / \lambda^2$
Dielektrik shar $r \gg 2\lambda$ $r \ll 2\lambda$ 	$S_e = \pi r^2$ $S_e = 64\pi^6 r^6 / \lambda^4$
To'g'riburchakli list 	$S_e = 4\pi S^2 / \lambda^2$
Dumaloq list 	$S_e = 4\pi^2 r^4 / \lambda^2$
To'g'riburchak qirrali qaytargich 	$S_e = 12\pi a^4 / \lambda^2$

Uchburchak qurallı qaytargich 	$S_e = 4\pi a^2 / 3\lambda^2$
Silindr 	$S_e = 2\pi r l^2 / \lambda$
Konus 	$S_e = \pi a^2 \operatorname{tg}^2 \alpha$
Oval shaklidagi obyekt 	$S_e = \frac{\lambda^2}{16\pi} \operatorname{tg}^2 \alpha$
Konus-sfera 	$S_e = 1,03\pi r^2 (2\pi r \lambda^{-1})^{3/2}$ $1 < 2\pi r \lambda^{-1} < 15$
Konus-silindr 	$S_e = 4\pi^2 r^4 / (\pi + \lambda)^2$

5.3.2. Guruhıy obyektların AEEYu

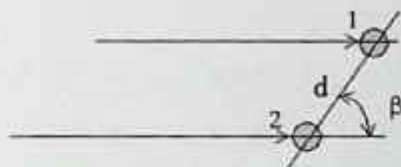
Guruhıy obyektlar deb o'zi va nurlatishi RLSning ajratish yuzasi chegarasida joylashgan obyektarga aytiladi. Bunday obyektlardan qabul qilingan (aks etgan) signallar bir-biridan fazasi va amplitudasi bo'yicha turlicha bo'lgan bir qancha aks etgan signallar majmuidan iborat bo'lib, bunda signallarning fazalari va amplitudalari o'zaro yig'indi yoki ayirma ko'rinishida bo'lishi mumkin.

Misol uchun, 5.5-rasmda keltirilgan ikkita obyekt (nishon)ning AEEYu quyidagi ifoda orqali aniqlanadi

$$S_e = 4S_{e1} \cos^2 \frac{2\pi d \cdot \cos \beta}{\lambda}, \quad (5.9)$$

bunda, S_{e1} – bitta obyekt (nishon)ning AEEYu.

5.5-rasm. Guruhli obyektlarga oid



Bundan quyidagi muhim xulosa kelib chiqadiki – birinchi va ikkinchi obyektlarning o‘zaro joylashishi o‘zgarsa β va d lar ham o‘zgarishi mumkin, natijada esa AEEYu noldan to $4S_{e1}$ qiymatiga o‘zgarishi mumkin.

5.3.3. Kemalarning AEEYu

Kema (kema korpusi, machtalari, trubalari, takelajlari, ya’ni kemaning qanop va sim arqonlari va b.) murakkab shakldagi radiolokatsiya obyekti hisoblanadi. Shuning uchun kemadan aks etgan O‘YuCh signallar turli faza va amplitudaga ega ko‘p sonli tebranishlarning interferensiyasi natijasi bo‘ladi. Kemaning harakati vaqtida, chayqalishi, yo‘nalishining o‘zgarishi natijasida AEEYu o‘zgarib turishi mumkin. AEEYu bort tomoniga nisbatan maksimal bo‘lsa, old va orqa tomonga nisbatan minimal hisoblanadi.

5.3.4. Tarqoq obyektlarning AEEYu

Tarqoq obyektlar deb o‘lchamlari radiolokatsiya to‘lqinining o‘lchamlaridan katta bo‘lgan obyektlarga aytiladi, yuza va hajmiy obyektlariga bo‘linadi. *Yuza obyektlari* – suv yuzasi, quruq yer hududlaridir. *Yuza obyektlaridan aks etish* oynadagidek aks etish yoki sochilgan (yoyilgan) bo‘lishi mumkin. Oynadagidek aks etish sharti (5.6-rasm) quyidagi nisbatning bajarilishidir, ya’ni $h < \frac{\lambda}{8 \sin \beta}$. Bunday holatda, ya’ni oynadagidek aks etish optik qonunlarga bo‘ysunadi, ya’ni tushish burchagi β aks etish burchagiga teng bo‘ladi. Shuning uchun qandaydir burchak ostida aks etgan radioto‘lqin RLS anten nasiga qaytib kelmaydi. Oynadagidek aks etishda O‘YuCh energiyasi RLS qabullagichiga kelmaydi. Agar $h > \frac{\lambda}{8 \sin \beta}$ bo‘lsa, bunday yuza dag‘al (g‘adir-budur) yuza bo‘lib, bunday yuza sochilgan (yoyilgan) aks ettirishni hosil qiladi. Sochilgan aks etishda radioto‘lqinlar turli yo‘nalishlarda tarqaladi, natijada aks etgan energiyaning bir qismi RLS qabullagichiga kelib tushadi.

5.6-rasm. Oynadagidek aks etishga oid



Uzoq masofada (ya'ni β burchak minimal bo'lganda) $h < \frac{\lambda}{8 \sin \beta}$ ifodaning o'ng tomoni kattalashadi, h esa kichiklashadi. Shunday qilib, uzoq masofadagi dengiz to'lqinlanishini aytib berish mushkul, va aksincha yaqin masofadagi (0 ÷ 10 km) to'lqinlanishni yetarli darajadagi ehtimollik bilan aytish mumkin.

Hajmiy tarqoq obyektlar deb qandaydir hajmni to'ldiruvchi, radiolokator tomonidan bitta obyekt sifatida qaraluvchi, ko'p sonli elementar aks ettiruvchi obyektlarning majmuiga aytiladi. Bunday obyektlarga atmosfera-dagi nam va quruq muallaq parchalar (yomg'ir, do'l, jala, tuman, momaqaldiroqli bulut va h.k.) misol bo'ladi.

Hajmiy obyektlarning AEEYu bitta obyekt sifatida qaraluvchi ushbu obyekt-dagi alohida elementar aks ettiruvchi obyektlar AEEYularining ko'paytmasiga teng. Hajmiy obyekt (nishon) larning AEEYu quyidagi ifoda orqali aniqlanadi

$$S_0 = S_{e1} N V_u, \quad (5.10)$$

bunda, S_{e1} – bitta elementar obyektning AEEYu (masalan, yomg'ir tomchisi);

N – aniqlanuvchi hajmdagi elementar obyektlarning soni;

V_u – bitta obyekt sifatida qaraluvchi barcha elementar obyektlar to'plamining umumiy hajmi.

Shunday qilib, hajmiy obyektlarning AEEYu quyidagiga teng bo'ladi

$$S_0 = S_{e1} N \alpha D^2 c \tau_{zi} \operatorname{tg} \frac{Q}{2}. \quad (5.11)$$

Agar, misol uchun, yomg'irli hududda qandaydir obyekt, masalan kema mavjud bo'lsa kemadan aks etgan signalni ajratish jarayoni uchun yomg'ir tomchisidan aks etgan signal RLS indikatori ekranida sezilarli xalaqitlarni keltirib chiqarishi mumkin. Ushbu xalaqitlarni RLS nurlatuvchi impuls-larining davomiyligini qisqartirish va katta yo'naltirilganlik diagrammali (kichik burchakli) antennalardan foydalanish hisobiga bir muncha kamaytirish mumkin. Bunda kema signalining quvvati deyarli kamaymaydi, xalaqitning quvvati esa yomg'ir tomchilaridan aks etish hisobiga kamayadi. Obyektni nurlatish uchun doiraviy qutblanganlikli elektromagnit maydonni qo'llash hisobiga ham yomg'ir tomchilarining

xalaqitlarini kamaytirish mumkin. Amaliyotda doiraviy qutblanganlikli maydonni hosil qilish uchun chorak to'liqli metall plastinadan yasalgan maxsus qutblangan panjaradan foydalaniladi. 5.2-jadvalda bir qancha turdagi obyektlarning o'rtacha AEEYu to'g'risidagi ma'lumotlar keltirilgan.

5.2-jadval

Bir qancha turdagi obyektlarning o'rtacha AEEYu

<i>Obyekt (nishon)</i>	<i>S_e, m^2</i>	<i>Obyekt (nishon)</i>	<i>S_e, m^2</i>
Qiruvchi samolyot	1,5–3	Kater	50
Bombardimonchi samolyot	4–25	Suv osti kemasining rubkasi	30–140
Vertolyot	1–3	Esmines	1500
Odam tashuvchi samolyot	15–75	Kreyser	$> 10^4$
“Stels” texnologiyasi asosidagi samolyot	0,1–1	Avtomashina	5–20
Qanotli raketa	0,01–0,03	Tank	7–30
Ballistik raketaning bosh qismi	$1-10^{-23}$	Inson	0,5–1

5.4. Radiolokatsion stansiyaning ta'sir uzoqligi

5.4.1. Radiolokatsion stansiyaning ochiq fazodagi ta'sir uzoqligi

RLSni loyihalashda e'tiborga olinishi lozim bo'lgan asosiy masalalardan biri bu uning qidirib topish maksimal uzoqligini hisoblashdir.

RLSning ochiq fazodagi ta'sir uzoqligi RLS va u qidirib topishi zarur bo'lgan obyekt orasidagi masofa bilan aniqlanadi. RLSning ochiq fazodagi ta'sir uzoqligi deganda RLSning texnik xarakteristikallari va nurlatuvchi obyektning aks ettirish xususiyatlariga bog'liq bo'lgan uzoqlik tushuniladi, bunda atmosferaning ta'siri, Yer shakli va yuzasining qoplanishi e'tiborga olinmaydi.

RLSning maksimal ta'sir uzoqligi D_{max} quyidagicha aniqlanadi.

Agar antenna yo'naltirilmagan bo'lganida, ya'ni izotrop nurlatkich bo'lganida edi, u P_i quvvatga ega impuls bilan nurlatishida obyekt sirti yuzasida $P = \frac{P_i}{4\pi D^2}$ ga teng bo'lgan quvvat oqimi zichligini hosil qilgan bo'lar edi, bunda P_i – uzatkichning impuls quvvati, $4\pi D^2$ – D radiusli shar sirtining yuzasi. Ammo, real antenna yo'naltirilgan ta'sir koeffitsiyenti, ya'ni

$G = \frac{4\pi S_a}{\lambda^2}$ xarakteristikasiga ega bo'lganligi uchun obyektga $P_1 = \frac{P_i G}{4\pi D^2}$ ga teng bo'lgan quvvat oqimi zichligi ta'sir etadi. Ushbu ta'sir etuvchi (tushuvchi) quvvat oqimi ta'sirida obyekt fazoga $P = P_1 S_e = \frac{P_i G}{4\pi D^2} S_e$ (bunda S_e – obyektning aks ettirish effektiv yuzasi) quvvatini qayta nurlatadi. Bu quvvat atrof fazoda, ya'ni RLS antennasi yuzasida quyidagi quvvat oqimi zichligini hosil qiladi

$$P_2 = \frac{P}{4\pi D^2} = \frac{P_i G}{(4\pi)^2 D^4} S_e.$$

O'z navbatida, antenning kuchaytirish koeffitsiyenti G ni hisobga olib,

$$S_a = \frac{G \lambda^2}{4\pi} \quad (5.12)$$

qabul qiluvchi qurilma kirishiga (P_2 quvvat oqimi zichligi ta'sirida)

$$P_{qq} = P_2 S_a = \frac{P_i G S_a}{(4\pi)^2 D^4} S_e$$

quvvat ta'sir ko'rsatadi. Ushbu ifodaga (3.1) ifodani qo'yib, quyidagini hosil qilamiz

$$P_{qq} = \frac{P_i G^2 \lambda^2}{(4\pi)^3 D^4} S_e.$$

RLSning uzatuvchi trakt FIK – η_1 va qabul qiluvchi trakt FIK – η_2 lar orqali tavsiflanuvchi antenna to'lqin o'tkazgichidagi yo'qotishlar (odatda $\eta_1 \approx \eta_2 \approx 0,8 - 0,9$) ni hisobga olsak, quyidagiga ega bo'lamiz

$$P_{qq} = \frac{P_i G^2 \lambda^2 \eta_1 \eta_2}{(4\pi)^3 D^4} S_e. \quad (5.13)$$

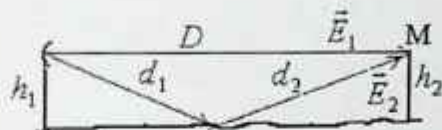
Qabul qiluvchi qurilmaning sezgirliги maksimal, ya'ni $P_{qq} =$
 $P_{qq \min}$ bo'lgan holat uchun (5.13) ifodadan $D_{\max}$ ni topamiz

$$D_{\max} = \sqrt[4]{\frac{P_i G^2 \lambda^2 \eta_1 \eta_2 S_e}{(4\pi)^3 P_{qq \min}}}. \quad (5.14)$$

Ushbu (5.14) ifoda RLSni ochiq fazodagi ta'sir uzoqligining tenglamasi hisoblanadi. Tenglamadan ko'rinadiki, RLSning ochiq fazodagi ta'sir uzoqligi uzatgichning impuls quvvatiga, qabul qilgichning sezgirligiga, to'lqin uzunligiga, RLSning FIKga hamda obyektning aks ettirish effektiv yuzasiga bog'liqdir.

5.4.2. RLSning ta'sir uzoqligiga yuza qoplami (yer, suv) dan aks etib qaytishning ta'siri

RLSning ta'sir uzoqligiga radioto'lqinlarning yuza qoplamidan aks etishi hamda Yerning shakli ta'sir ko'rsatadi. Dengiz yuzasi qoplamining ta'sirini ko'rib chiqamiz (5.7-rasm).



5.7-rasm. Dengiz yuzasidan aks etishga doir

RLSning to'lqin uzunligi h_1 va h_2 (h_1 – dengiz yuzasiga nisbatan o'rnatilgan antenaning balandligi, h_2 – nurlantiriluvchi obyekt balandligi) lardan yetarlicha kichik bo'lganida, RLSning O'YuCh impulslari obyektgacha yetib boradi va undan ikki turda: to'g'ridan-to'g'ri va suv yuzasi orqali aks etib qaytadi. Ya'ni h_2 balandlikka ega obyektga $\vec{E}_1$ maydon kuchlanganligidan iborat eng qisqa D yo'l orqali $\vec{E}_0$ maydon kuchlanganligi yetib keladi hamda yuza qoplamidan aks etgan ($d_1 + d_2$ yo'l orqali) $\vec{E}_2$ maydon kuchlanganligi yetib keladi. Natijada M nuqtada qo'shiluvchi $\vec{E}_1$ va $\vec{E}_2$ signallar bir xil (teng) emas. Yuzadan aks etganligi sababli $\vec{E}_2$ $\vec{E}_1$ ga nisbatan yuza qoplamidan aks etish sababli yuzaga kelgan faza siljishi φ va O'YuCh impulslarining turli yo'llar Δd ($\Delta d = (d_1 + d_2) - D$) dan o'tishi sababli yuzaga kelgan β fazalar sababli faza surilishi ψ ga uchraydi, ya'ni

$$\psi = \varphi + \beta.$$

Odatda gorizontaal qutblanganlikli $\vec{E}_0$ radioto'lqinlar suvli yuzadan aks etishda $\varphi = \pi = 180^\circ$ va $\beta = 2\pi\Delta d/\lambda$ faza siljishini hosil qiladi, shuningdek $\vec{E}_2$ suv yuzasidan aks etganligi sababli kuchsizlanadi. Kuchsizlanish ρ koeffitsiyenti orqali tavsiflanadi, suv uchun $\rho \approx 1$. Shunday qilib,

$$\vec{E}_2 = \rho \vec{E}_1 e^{-i\psi}. \quad (5.15)$$

5.7-rasmdan ko'rinadiki $\Delta d \approx \frac{2h_1h_2}{D}$ ga teng, demak

$$\beta = \frac{4\pi h_1 h_2}{\lambda D}. \quad (5.16)$$

(5.15) va (5.16) ifodalarni hisobga olgan holda, M nuqtadagi $\vec{E}_0$ ni aniqlash mumkin:

$$\vec{E}_0 = \vec{E}_1 + \vec{E}_2 = \vec{E}_1 + \rho \vec{E}_1 e^{-j\psi}.$$

Ushbu ifodaga o'zgartirish kiritib, va uni faqat amplituda qiymati orqali ifodalasak, quyidagiga ega bo'lamiz

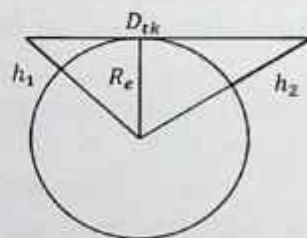
$$\begin{aligned} \vec{E}_0 &= 2E_1 \cos \frac{\psi}{2} = 2E_1 \cos \left(\frac{\pi}{2} + \frac{\beta}{2} \right) = 2E_1 \cos \left(\frac{\pi}{2} + \frac{2\pi h_1 h_2}{\lambda D} \right) = \\ &= 2E \sin \frac{2\pi h_1 h_2}{\lambda D}. \end{aligned} \quad (5.17)$$

(5.17) ifodadan ko'rinadiki, qabul qilish (aks nurlatish) nuqtasidagi maydon kuchlanganligi E_0 sinusoidal qonuniyat bo'yicha o'zgaradi, hamda antenna balandligi, obyekt (maqsad) joylashgan balandlik, ular orasidagi masofa va nurlatuvchi to'lqin uzunligiga bog'liq bo'ladi. Agar $\frac{2\pi h_1 h_2}{\lambda D}$ ning qiymati $\frac{\pi}{2} + n\pi = \pi(\frac{1}{2} + n)$ ga karrali bo'lsa (bunda $n = 0, 1, 2, \dots \infty$), u holda $\sin \rightarrow \max = 1$ va $E_0 = 2E_1$, ya'ni aks nurlatish nuqtasida kuchlanganlik maksimal va $2E_1$ ga teng bo'ladi. Agar $\frac{2\pi h_1 h_2}{\lambda D}$ ning qiymati $n\pi$ ga karrali bo'lsa (bunda $n = 0, 1, 2, \dots \infty$), u holda $\sin \rightarrow \min = 0$ va $E_0 = 0$, ya'ni aks nurlatish nuqtasida kuchlanganlik nolga teng bo'ladi.

5.4.3. RLSning ta'sir uzoqligiga Yer shaklining ta'siri

Santimetr, ayniqsa millimetr diapazoni radioto'lqinlari difraktsiyaga (radioto'lqinning Yer shari qavariqligiga mos holda egilish qobiliyati) deyarli uchramaydi. Shuning uchun ushbu diapazon radioto'lqinlari to'g'ri chiziqli tarqaladi. Bunday radioto'lqinlarning to'g'ri chiziqli tarqalishini aniqlash uchun 5.8-rasmdan foydalanamiz.

5.8-rasm. Radioto'lqinlarning to'g'ri chiziqli tarqalishiga oid



Ushbu rasmdan ko'rinadiki

$$D_{tk} = \sqrt{(R_e + h_1)^2 - R_e^2} + \sqrt{(R_e + h_2)^2 - R_e^2} \quad (5.18)$$

bunda, R_e – Yer sharining effektiv radiusi.

$D_{tk} \gg h_1$ va $D_{tk} \gg h_2$ bo'lgan holat uchun (5.18) ifodani quyidagicha yozish mumkin $D_{tk} = \sqrt{2R_e}(\sqrt{h_1} + \sqrt{h_2})$, refraksiya koeffitsiyenti k_r ni standart atmosfera uchun $k_r = 1,33$ ga tengligini hamda Yer radiusi 6370

km ga tengligini hisobga olsak, $R_e = 1,33 \cdot 6370 = 8472,1$ km ekanligini bilib olishimiz mumkin.

Yuqoridagilardan kelib chiqib, to'g'ridan-to'g'ri radiolokatsion "ko'rinish" uzoqligini aniqlaymiz

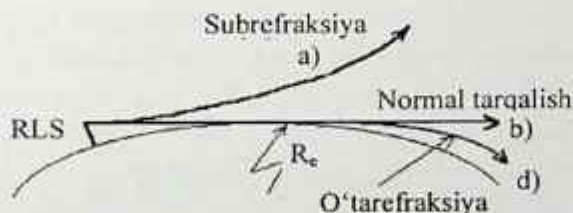
$$D_{tk} = 4,12(\sqrt{h_1} + \sqrt{h_2}) \quad (5.19)$$

bunda, D_{tk} – to'g'ridan-to'g'ri ko'rinish uzoqligi, km larda [3].

5.4.4. RLSning ta'sir uzoqligiga atmosferaning ta'siri

Atmosfera O'YuCh radioto'lqinlarining to'g'ri chiziqli tarqalishini o'zgartirishi, shuningdek O'YuCh tebranishlari energiyasining yutilishiga va sochilishiga sabab bo'lishi mumkin. Atmosfera refraksiyasining xarakteri va qiymati balandlik bo'yicha sinish koeffitsiyenti vertikal gradiyentining qiymati $\frac{dn}{dh}$ ga bog'liq, bunda $n = \sqrt{\epsilon_0}$ – sinish koeffitsiyenti o'zgarishi (ϵ_0 – dielektrik singdiruvchanlik), h – balandlik.

Subrefraksiya (5.9-rasm "a" holat) $\frac{dn}{dh} > 0$ sharti bajarilganda yuzaga keladi. Bunda O'YuCh tebranishlari nuri yuqoriga egiladi, natijada RLSning ta'sir (obyektlarni qidirib topish) uzoqligi kamayishiga olib keladi. Ushbu hodisa yuqori kenglikda, qachonki havoning sovuq qismi nisbatan issiq qoplam ustidan o'tganda yuzaga keladi (masalan, shamol ochiq suv ustidan esib o'tgandan keyin suv yuzasi muz bilan qoplanganda).



5.9-rasm. Subrefraksiyani tushuntirishga doir

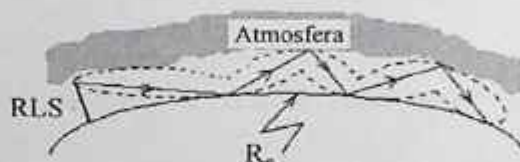
O'tarefraksiya $\frac{dn}{dh} < 0$ sharti bajarilganda yuzaga keladi. Bunda O'YuCh tebranishlari nuri pastga egiladi (5.9-rasm "d" holat). Agar havo issiq quruqlik ustidan o'tib so'ng nisbatan sovuq dengiz ustidan essa o'tarefraksiya hodisasi yuzaga keladi. Quruqlikka yaqin o'rtacha va tropik hududlarda o'tarefraksiyani kuzatish mumkin. U asosan qirg'oqdan uzoqda ochiq dengizda passat (trpoiklardan ekvatorga tomon doim esib turadigan quruq shamol) hududlarda namoyon bo'ladi.

O'tarefraksiya natijasida obyektlarni qidirib topish uzoqligi sezilarli kattalashadi (O'YuCh impulslarining normal tarqalishi – "b" nurga

nisbatan). O'tarefraksiya hodisasini ko'plab kuzatish mumkin, masalan shamol asosan quruqlik tomondan esadi. Bahor va yoz fasllarida qachonki, quruqlikdagi havoning harorati suvning haroratidan yuqori bo'lganda deyarli har doim o'tarefraksiyani kuzatish mumkin. Quruqlik bilan o'ralgan O'rtayer dengizida bahor va yoz fasllari davrida 10 kundan 9 tasida o'tarefraksiya kuzatilgan.

Yuza (sirt) to'liq o'tkazgichli radiokanal. Ba'zan RLS operatori nihoyatda uzoqdagi obyektni qidirib topishi (aniqlashi) va ayni paytda belgilangan uzoqlik shkalasi chegarasida (hududida) obyektni qidirib topa olmasligi (aniqlamasligi) ham mumkin, bunda RLS texnik soz holatda bo'lsa ham. Ushbu hodisa o'tarefraksiyaning kamdan-kam holatida yuzasa keladi. Atmosferaning ayrim holatida RLSning O'YuCh impulsarlari dengiz yuzasidan 1° yoki undan ham kichik burchak ostida tarqaladi va atmosferaning qatlamidan aks etishi mumkin. Bunday holda yuza radiokanali hosil bo'ladi.

Yuza radiokanalida (5.10-rasm) RLSning O'YuCh impulsarlari (radar nurlari) dengiz yuzasiga qarab pastga sinadi, keyin dengiz yuzasidan yuqoriga aks etib qaytadi, aks etgan signal yana pastga dengiz yuzasi tomonga sinadi va h.k. Yuza to'liq o'tkazgichli radiokanal bir necha yuz metr balandlikda yuzaga kelishi mumkin: bir-biriga tegib turgan ikkita qatlam turlicha sinish koeffitsiyentlariga ega bo'lishi mumkin, natijada yuqori qatlam nurlatilgan impulsni takroriy ravishda aks ettirishiga sabab bo'ladi. Shunday qilib, RLS impulsarlari va uning aksi juda katta masofalargacha yetib borishi mumkin. Huddi shu holat yuqoridagiga o'xshash voqeya kuzatilishiga sabab bo'ladi.



5.10-rasm. Yuza radiokanali

RLSning ta'sir uzoqligiga radioto'liqin energiyasining kislorod, suv bug'lari va gidrometeorlarda so'nishi ta'sir ko'rsatadi. To'liqin uzunligi λ ning kamayishi so'nishning ortishiga olib keladi. Energiyaning suv bug'lari tomonidan maksimal yutilishi $\lambda = 1,34$ sm va $\lambda = 0,16$ sm bo'lganda, kislorod tomonidan maksimal yutilishi esa $\lambda = 0,5$ sm va $\lambda = 0,25$ sm bo'lganda ro'y beradi.

Radioto'lqinning yomg'ir, tuman, qor tufayli so'nishiga ikkita sabab bor. Birinchidan, atmosferadagi suv tomchilari santimetrlik diapazoni to'lqini uchun mukammal dielektrik emas, shuning uchun ushbu diapazon tebranishlarining bir qismi issiqlikka sarflanadi (energiyaning issiqlik yo'qotishi), ikkinchidan radioto'lqinlarning aks etishi va sochilishi ro'y beradi.

5.5. Radiolokatsiya tizimlariga ta'sir etuvchi xalaqitlar va ulardan himoyalash

Har qanday RTTda bo'lgani kabi radiolokatsiyada ham xalaqitlarning ta'siri mavjud. Aktiv radiolokatsiyada xalaqitlarning roli boshqa RTTlarga nisbatan yanada muhim ahamiyat kasb etadi. Chunki obyektgacha va undan aks etib qaytish yo'lida signallarning kuchsizlanishi ro'y beradi. Bundan tashqari, radiolokatsiyada ayrim turdagi xalaqitlarni e'tiborga olish talab etiladi (ushbu xalaqitlar masalan, radioaloqada kamdan-kam e'tiborga olinadi). Bunday xalaqitlarga kuzatilayotgan obyektдан boshqa obyektlardan qayta aks etish natijasida yuzaga keluvchi passiv xalaqitlar misol bo'ladi.

Paydo bo'lishiga ko'ra xalaqitlar tabiiy, o'zaro va sun'iy xalaqitlarga bo'linadi.

Tabiiy xalaqitlar tabiiy jarayonlar natijasida yuzaga keluvchi xalaqitlardir. Tabiiy passiv xalaqitlar do'nglik, tog' va bulutlardan aks etish natijasida hosil bo'ladi. Tabiiy aktiv xalaqitlar esa Quyosh nurlari va Yerdan tashqaridagi manbalar nurlari tomonidan hosil qilinadi.

O'zaro xalaqitlar deb turli REVLarning bir-biriga nurlanishlar bilan ta'sir etishi natijasida yuzaga keladigan xalaqitlarga aytiladi. O'zaro aktiv xalaqitlar bilan bir qatorda o'zaro passiv xalaqitlar ham kuzatiladi, bunday holat hududlarda radiolokatorga ta'sir etuvchi xalaqitlar boshqa bir radiolokator nurlatishining qayta aks etgan tebranishlari bo'lganda yuzaga keladi.

Sun'iy xalaqitlar aktiv va passiv turlarga bo'linib, harbiy maqsadlardagi radiolokatorlar uchun atayin shakllantiriladi. Bunday holatlar Ikkinchi Jahon urushining jangovor harakatlari vaqtida keng qo'llanilgan.

Xalaqitni bostiruvchi qurilmaga ta'siri bo'yicha xalaqitlar niqoblovchi (maskirovkalovchi) va taqlid (imitasiyalovchi) xalaqitlariga bo'linadi. Niqoblovchi xalaqitlar foydali signalni yopuvchi xalaqitni hosil qiladi, bunda odatda RLS qabullagichining nohiziqli elementidagi foydali signalni xalaqit bilan yopish amalga oshiriladi va ushbu holatda foydali signalni ajratish murakkablashadi. Taqlid xalaqitlari esa haqiqiy (mavjud) obyekt haqida axborot olishni murakkablashtiruvchi yolg'on obyekt effektini hosil qiladi.

Tabiiy, o'zaro va sun'iy xalaqit turlarining har biri o'z navbatida niqoblovchi va taqlid xalaqitlari bo'lishi mumkin.

5.5.1. Tabiiy va o'zaro aktiv xalaqitlar

Tabiiy aktiv xalaqitlar manbaining ikkita asosiy turi mavjud: diskret va tarqoq. Diskret manbalarga Quyosh, Oy va radioyulduzlar misol bo'ladi. Tarqoq manbalarga galaktik shovqinlar va atmosfera shovqinlari misol bo'ladi. Diskret manbalardan Quyosh va juda kichik darajada Oy O'YuCh diapazoni RLSSining ish sifatiga ta'sir ko'rsatadi. Tarqoq manbalardan esa ko'proq uchraydigan atmosferaning xususiy shovqinlari ta'sir ko'rsatadi.

Keyingi vaqtlarda o'zaro xalaqitlar muhim ahamiyat kasb etmoqda. Foydalanilayotgan REVlar sonining jadallik bilan ko'payishi natijasida o'zaro xalaqitlarning xavflilik darajasi ham oshib bormoqda. Ushbu o'zaro ta'sirlarni bartaraf etish uchun turli REVlar orasida ishchi chastotalarni rejali taqsimlash amaliyoti bajariladi. Ushbu amaliyot xalqaro kelishuvlar asosida, shuningdek har bir davlat miqyosida hamda sohalar doirasida amalga oshiriladi. Shunga qaramasdan, o'zaro xalaqitlardan himoyalaniishning zaruriy choralariga amal qilinmaganda, hattoki turli ishchi chastotalarda ishlovchi REVlarning o'zaro xalaqitlari kuzatilishi mumkin. REVlarning polosadan tashqari va ikkilamchi nurlatishlari bilan bir qatorda supergeterodinli qabul qilgichlardagi ikkilamchi qabul kanali ham o'zaro xalaqitlarning yuzaga kelishiga sabab bo'lishi mumkin. Ma'lumki, aralashtirgichga qabul qilingan f chastotali tebranish va geterodinning f_g chastotali tebranishi beriladi va aralashtirgich chiqishida esa qator kombinatsion chastotalar $|nf \pm mf_g|$ tebranishlari hosil bo'ladi. Agar ushbu kombinatsion chastotalardan biri qabul qilgichning keyingi kaskadi sozlangan oraliq chastotasi bilan mos kelsa, u holda ushbu kombinatsion chastota ham kuchaytiriladi va ikkilamchi qabul kanalini yuzaga keltiradi. Real sharoitlarda $f_g \gg f_{or}$ bo'lganda quyidagi chastotalarda ikkilamchi qabul kanali kuzatilishi mumkin

$$f_{mn} = \frac{1}{n}(mf_g \pm f_{or}),$$

bunda, f_g – geterodin chastotasi, f_{or} – oraliq chastota, $n, m = 1, 2, 3, \dots$

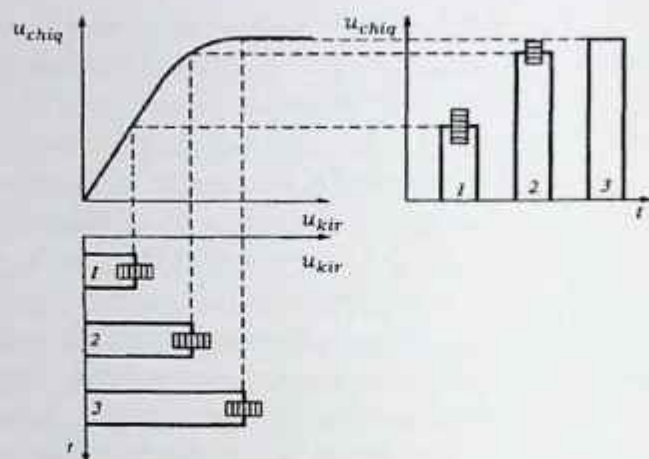
O'zaro xalaqitlarni bartaraf etishga yo'naltirilgan chora-tadbirlar majmui elektromagnit moslashuvni ta'minlaydi. EMMni ta'minlashga chastotalarni to'g'ri taqsimlash va boshqa tashkiliy chora-tadbirlar bilan bir qatorda uzatuvchi qurilmalarning ikkilamchi nurlatishlarini filtrlash, qabul traktlaridagi geterodin tebranishlarini filtrlash, radioto'lqinlarning tarqalishi, hudud xususiyatlaridan to'g'ri foydalanish va radiolokatsiya vositasining ish rejimini to'g'ri tanlash orqali erishish mumkin.

5.5.2. Sun'iy aktiv xalaqitlar

Sun'iy aktiv xalaqitlarga misol sifatida shovqin tebranishlarining nurlatishlarini keltirish mumkin. Bunday xalaqitlar normal shovqinga yaqin (o'xshash) bo'ladi. Ushbu xalaqitlar ikki usulda yuzaga kelishi mumkin. Birinchi usulda shovqin tebranishlari O'YuCh generatorlari tomonidan bevosita RLSning ishchi chastotalar diapazonida shakllantiriladi va quvvat bo'yicha kuchaytirilgandan so'ng fazoga nurlatiladi. O'YuCh diapazonida birlamchi shovqin manbalari sifatida shovqin rejimida ishlovchi gazorazryadli lampalar va maxsus magnetronlarni keltirish mumkin. Ikkinchi usulda shovqin tebranishlari nisbatan past chastotalarda shakllanadi, ushbu tebranishlarning o'rtacha chastotasi belgilangan yuqori chastotalar sohasiga geterodinlash natijasida ko'chib o'tadi va u keyinchalik quvvat bo'yicha kuchaytirilib, fazoga nurlatiladi. Qabullagichning yetarli darajadagi katta dinamik diapazonida shovqin tebranishlari ichki shovqinning keskin ortib ketishiga o'xshash effektni hosil qiladi, natijada katta uzoqlikdagi radiolokatsiya signalini aniqlash va parametrlarini o'lchash qiyinlashadi. Juda katta quvvatli sun'iy aktiv xalaqitlar huddi o'zaro xalaqitlar kabi ikkilamchi qabul kanalini yuzaga keltirishi mumkin.

Agar qabullagichning dinamik diapazoni yetarlicha bo'lmasa va amplituda cheklagichi qo'llanilgan bo'lsa (masalan, oraliq chastota kuchaytirgichining ohirgi kaskadida), signal-xalaqit nisbati cheklagichdan keyin yanada yomonlashadi. Buni 5.11-rasmda keltirilgan modulyatsiyalanmagan impuls xalaqitining signal amplitudasi bilan birgalikda cheklagich orqali o'tishi (xalaqit o'rovchisi 1, 2, va 3 raqamlari bilan belgilangan) jarayonida ko'rish mumkin.

Rasmdan kuzatish mumkinki, xalaqitlar jadalligining oshishi natijasida foydali signalning to'liq yo'qotilishini ko'rish mumkin. Ushbu holat qabullagichning dinamik diapazoni yetarli bo'lmaganda shovqin xalaqitlari (tebranishlari) ta'sirida yuzaga kelishi mumkin. Shuning uchun xalaqitlarning dinamik diapazoni juda kichik bo'lgan qabullagichga ta'siri juda xavfli hisoblanadi. Hatto juda katta dinamik diapazonli qabullagichga ichki shovqin ortishiga ekvivalent bo'lgan xalaqitning ta'siri radiolokatsion qidirib topish va kuzatishning sezilarli yomonlashishi yoki umuman yo'qotilishiga olib kelishi mumkin.



5.11-rasm. Signalning o'tishiga kuchsiz (1) va kuchli (2, 3) xalaqitlarning ta'siri

5.5.3. Sun'iy passiv xalaqitlar

Yuqorida ko'rib chiqilgan, tabiiy passiv xalaqitlarga tabiiy akslantirgichlar (hududiy predmetlar, suvli qoplam, gidrometeorlar, shimoliy yog'du (nur) va boshq.) tomonidan hosil qilinadigan xalaqitlar misol bo'ladi. Ushbu xalaqitlar samolyotlarni qo'ndirishni ta'minlovchi aerodromlar radiolokatorlarining va qidirib topish (ayniqsa kichik masofali) uchun qo'llaniladigan harbiy soha radiolokatorlarining ishlashiga sezilarli darajada salbiy ta'sir ko'rsatadi.

Nisbatan keng tarqalgan, sun'iy passiv xalaqitlardan biri bu radiolokatsiyaga qarshi dipol akslantirgichlarning hosil qiluvchi xalaqitlaridir. Radiolokatsiyaga qarshi dipol akslantirgichlar metall bilan ishlov berilgan qog'ozli lentalar, folgalar yoki metall bilan ishlov berilgan shisha va kapron tolalaridan yasalgan, passiv yarim to'lqini vibratordan iborat bo'ladi. Tor polosali rezonans vibratrlarning uzunligi bostiriluvchi (yopiluvchi) RLS to'lqin uzunligining yarmiga teng qilib olinadi. Lentaning kengligi esa uning uzunligiga bog'liq holda bir necha millimetrlardan bir necha santimetrlargacha bo'lishi, tola diametri esa o'nlab mikrondan yuzlab mikrongacha (metall qoplam qalinligi bir mikron bo'lganda) bo'lishi mumkin.

Odatda dipol akslantirgichlar pachka (to'plam, paket) ko'rinishida jamlanadi, bunda har bir pachkaning aks ettirish xususiyati real (haqiqiy) obyektning aks ettirish xususiyatiga aynan o'xshash bo'lishi kerak, ya'ni pachkaning o'rtacha effektiv yuzasi obyektning o'rtacha effektiv yuzasiga

teng $\bar{\sigma}_p = \bar{\sigma}_o$ bo'lishi kerak. Pachkadagi akslantirgichlar soni n bostiriluvchi RLS ishlayotgan to'liq uzunligi diapazoniga bog'liq bo'lib, quyidagi formula orqali aniqlanadi

$$n = \frac{\bar{\sigma}_p}{0,17\lambda^2}. \quad (5.20)$$

Bunday pachkalarining asosiy kamchiligi – yopiluvchi chastotalar diapazonining torligi (rezonansga nisbatan 5-10 %) hisoblanadi. Agar pachka (to'plam) turli uzunlikdagi vibratorlardan yig'lsa yoki dipol uzunligi va ko'ndalang kesimi kattalashtirilsa chastotalar polosasi kengayadi. Havodagi obyektlarni niqoblash uchun dipol akslantirgichlar pushka va raketalar yordamida fazoga otiladi.

5.5.4. RLS qabullash qurilmalariga ta'sir etuvchi xalaqitlar va ulardan himoyalash usullari

Zamonaviy radiotexnika radiotexnik tizimlardan RTTlardan ularga turli xalaqitlar ta'sir etayotgan sharoitlarda texnik foydalanish bo'yicha katta tajriba to'plagan. Xalaqitlarni kelib chiqish sabablari va manbalari, RTTlarga xalaqitlar ta'sirini tahlil qilish modellari va ularni loyihalash usullari yaratilgan. Xalaqitlarning RTTlarga salbiy ta'sirlarini o'rganish – ularning xalaqitbardoshliklari, turli xalaqitlar ta'sirida bo'lgan signallarni optimal qabullash usullari haqida mukammal asarlar yaratilgan. Shunga qaramasdan RTTlarning xalaqitbardoshligi va xalaqitlardan himoyalashga bag'ishlangan ilmiy izlanishlar davom etmoqda.

Xalaqitlar an'anaviy ravishda ikki turga: tabiiy sabablarga ko'ra shakllanuvchi va sun'iy inson faoliyati natijasida shakllanuvchi xalaqitlarga ajratish qabul qilingan. Xalaqitlarni yana quyidagi ikki turga: maxsus shakllantirilgan va maxsus shakllantirilmagan xalaqitlarga bo'lish mumkin. Maxsus shakllantirilmagan xalaqitlarning shakllanishiga sabablar juda ko'p. Maxsus shakllantirilmagan xalaqitlarga quyidagilar: atmosfera, kosmos, ichki shovqinlar, EMM talablarining bajarilmasligi natijasida shakllanadigan xalaqitlar, shu bilan birga asosiy ish faoliyati elektromagnit to'liqlarni nurlatish bilan bog'liq bo'lmagan sanoat, ilmiy-tekshirish, medisina qurilmalari, elektr transportlar ish faoliyati natijasida nurlatiladigan yuqori chastotali elektromagnit maydonlar kiradi. Faol maxsus shakllantirilgan xalaqitlarga: REK vositalari tomonidan shakllantiriladigan shovqin va nurlatishi mumkin bo'lgan signalga o'xshash (immitatsiya) xalaqitlar kiradi [34].

RTTlarga turli xalaqitlar ta'sir etayotgan sharoitda ulardan himoyalash – radioelektron himoyalash (REH) chora-tadbirlarini ko'rish kerak

bo'ladi. REH turli: radioelektron vositalar va usullarni, shu jumladan RTTlarning yashirin ishlashini ta'minlashga yo'naltirilgan tadbirlar va vositalarni, yagona signalni bir necha RQQlar orqali qabullash, signallarning xalaqitbardoshligini ta'minlovchi maxsus usullardan foydalaniladi. REH vositalarining sifat ko'rsatkichi uning xalaqitbardoshligi hisoblanadi.

RTTlarning xalaqitlardan himoyalanganligi u tomonidan qabul qilingan axborot signalining asliga moslik darajasini va tizimning axborot o'tkazish qobiliyati (tezligi)ni baholaydi (xarakterlaydi). Umuman olganda, RTTning xalaqitlardan himoyalanganligi uning xalaqitbardoshligi va uning yashirin ishlashini ta'minlash orqali amalga oshiriladi. RTTning yashirin ishlashi dushman (raqib) tomonidan RTTning ishlayotganligini aniqlash va u tomonidan nurlatilayotgan signal texnik ko'rsatkichlarini aniqlashni va unga qarshi samarali maxsus xalaqitlarni shakllantirishlarni qiyinlashtiradi. Xalaqitbardoshlik RTTga turli maxsus shakllantirilgan (tashkil etilgan) va shakllantirilmagan xalaqitlar ta'sir etgan sharoitda uni o'z vazifasini talab darajasida bajarishni ta'minlaydi.

Xalaqitlardan himoyalaniish usullarini quyidagi uch guruhga ajratish mumkin (5.12-rasm). Bular: RQQni zo'riqishlar (nochiziqli ish holatiga o'tish) dan saqlash, xalaqitlarga nisbatan tanlovchanlik va xalaqitlarni yo'q qilish imkoniyatlari.

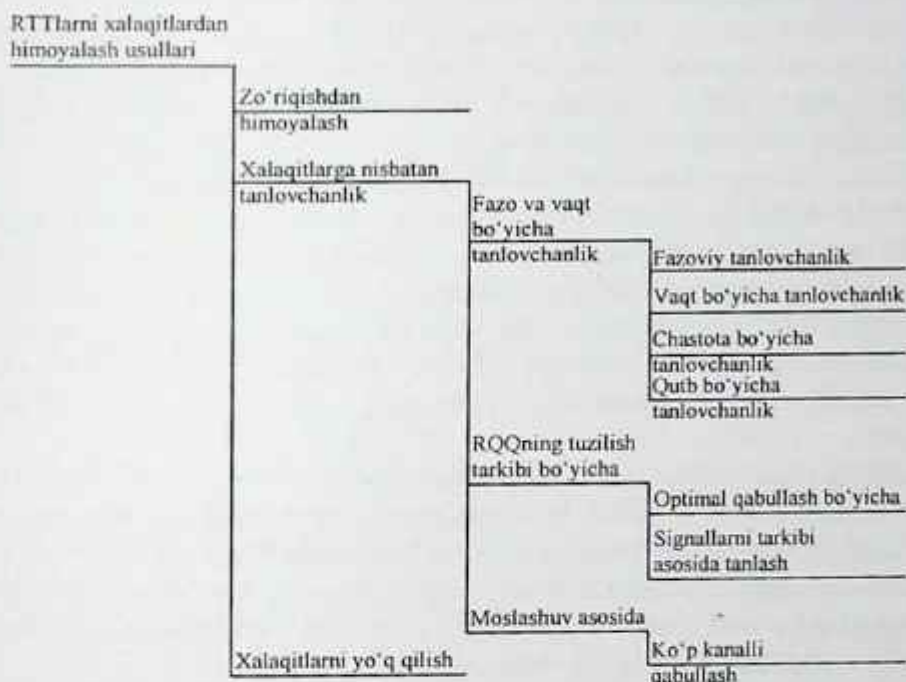
Birinchidan RQQlarni kuchli signal ta'sirida zo'riqishdan nochiziqli ish holatiga o'tishi natijasida uning ikkilamchi kanallar orqali chastota tanlovchanligi yomonlashmasligini ta'minlash uchun uning keng polosali yuqori chastota traktini chiziqli bo'lishi ta'minlanadi.

Ikkinchidan RQQ tanlovchanligi axborot signali va xalaqitning xususiyatlari va ko'rsatkichlari farqidan foydalanish asosida axborot signali chastotasi o'zgartiriladi. Bu tadbir RQQning ikkilamchi qabullash kanallari orqali ta'sirlanuvchanligini keskin kichiklashishiga olib keladi. RQQning tanlovchanligi o'z navbatida uch turli bo'ladi: fazo-vaqt tanlovchanligi, RQQning tuzilish tarkibi va moslashish asosida.

Uchinchidan xalaqitlarni yo'q qilish (kompensatsiya qilish) chora-tadbirlari ko'riladi.

Fazo-vaqt bo'yicha tanlovchanlik fazo bo'yicha va vaqt bo'yicha tanlovchanlikka bo'linadi. Fazoviy tanlovchanlik qabullash antenasi yo'naltirilganlik diagrammasini shakllantirish orqali amalga oshiriladi. Bunda AYD foydali axborot signali eng katta (maksimal) qiymatga va xalaqit manbai tomonga AYD minimumi (eng kichik) ni yo'naltirish orqali erishiladi. RQQning vaqt bo'yicha tanlovchanligi qabul qilinayotgan axborot signali mavjud vaqt oraliqlarida uni qabullaydi va boshqa vaqtlarda uning

qaror qabul qilish qurilmasi yopiq ish holatida bo'ladi, bu signalni sinxron qabullash asosida amalga oshiriladi. Ba'zan axborot signalini amplituda bo'yicha tanlash (farqlash) usulidan ham foydalaniladi.



5.12-rasm. Xalaqitdan himoyalalanish usullari

Vaqt va chastota bo'yicha tanlovchanlik axborot signallari va xalaqitlarning spektri va vaqt xossalariidan foydalanishga asoslangan. Chastota bo'yicha tanlovchanlik signal va xalaqitlarning spektrlari farqidan foydalanishga asoslangan. Signallar spektri, tashuvchisi chastotasi va spektri egallagan chastotalar polosasi bilan farqlanishi mumkin. Signal va xalaqitlar spektri farqlariga asoslanib, keng polosali signallarni qabullash qurilmalarida tor polosali xalaqitlarni "kesib olish tashlash" va tor polosali signallarni keng polosali xalaqitlardan filtrlash asosida ajratib olish mumkin. Chastota bo'yicha tanlovchanlik maxsus shakllantirilgan aktiv va passiv xalaqitlardan himoyalalanishda muhim vosita hisoblanadi. Chastota tanlovchanlikdan foydalanish samarasini oshirish uchun zondlovchi (nazorat) signallar chastotaviy xususiyatlarini boshqarish usuli qo'llaniladi. Bunday boshqarish axborot signali spektriga o'xshash bo'lgan maxsus shakllantirilgan xalaqit spektrini shakllantirishni qiyinlashtiradi. Ko'p hollarda axborot signali xususiyatlarini o'zgartirish uchun uning tashuvchisi chastotasini tasodifiysimon o'zgarti-

rishdan, misol uchun tashuvchi chastotasini impulsdan impulsiga o'tishiga qarab o'zgartirish; impulslar takrorlanish chastotasini o'zgartirish va ko'p chastotali nurlatish usulidan foydalaniladi.

Qutblanganlik bo'yicha tanlovchanlik qabul qilinayotgan axborot signali va xalaqitlarning turlicha qutblanganligidan, qabullash antenasi tarkibiga kiruvchi maxsus qutblangan filtrlardan foydalanishga asoslanadi.

Funksional (turli kanallar) tanlovchanlikdan foydalanilganda axborot signali bir necha bir-biriga bog'liq bo'lmagan radiokanallar orqali qabullab, ularga birgalikda ishlov berish natijasida axborot signalini ajratib olish amalga oshiriladi. Funksional tanlovchanlikdan foydalanilganda signal qabullash va ishlov berish radiotraktini qurishga qaratilgan maxsus usullardan foydalanishga yo'naltirilgan tadbirlar amalga oshirilishi kerak bo'ladi. Misol uchun ma'lum bir signal va xalaqit uchun eng yaxshi optimal qabullashni amalga oshirish sxemasi axborot signalini xalaqitdan farqlanishi asosida tanlab olish – ajratishning funksional sxemasini amalga oshirish hisoblanadi.

Tarkibiy tanlovchanlikdan foydalanish signal+xalaqit yig'indisidan uzatish tomonda faqat qabullash qurilmasiga ma'lum bo'lgan shakli (tarkibi) asosida ajratib olishga asoslangan. Tarkibiy tanlovchanlikni amalga oshirish uchun axborot signali kodlanadi, kodlashda har qanday xalaqitlardan maksimal farqlanuvchi kodlardan foydalaniladi. Bunday kodlardan foydalanish signal bazasining kengayishiga, kattalashishiga olib keladi.

Ko'p kanalli qabullashda RQQ kirishiga turli yo'llar orqali bir-biridan farqlanuvchi vaqt oraliqlarida kuzatiladigan signallarning fazo va vaqt bo'yicha o'zaro kogerentligidan foydalaniladi. Bu usuldan foydalanish axborot signaliga ta'sir etayotgan xalaqitlar ta'sirini ba'zi radionurlar orqali qabullash natijasida RQQsining xalaqitbardoshligini sezilarli darajada yaxshilash imkoniyatini beradi.

Adaptatsiya (tashqi xalaqitlarga moslashish)da himoyalangan RTTlar tarkibiy tuzilishi va texnik ko'rsatkichlarini xalaqit ta'sir etayotgan muhitga nisbatan o'zgarishi nazarda tutiladi. Moslashuvdan maqsad oldindan noma'lum bo'lgan xalaqitli muhitda RTTning xalaqitbardoshlik ko'rsatkichlarini optimallashtirish (mutanosiblash)dan iborat.

Xalaqitlarni kompensatsiyalash (yo'q qilish) usulidan odatda oraliq chastota kuchaytirgichi (OChK) chiqishida qolgan usullardan foydalanib RQQ OChK (signalni qabullash va unga ishlov berish qismi) chiqishida xalaqitning paydo bo'lmashligini ta'minlab bo'lmaydigan holatlarda foydalaniladi. xalaqitlarni yo'q qilishda qabullash AYD yon yaproqchalari orqali

qabul qilingan signallardan foydalanish sxemalari tomonidan amalga oshiriladi.

Xalaqitlar va signallarning chastota, vaqt va korrelyatsiya bo'yicha farqlariga asoslanib xalaqitlarni kompensatsiya qilishning juda ko'p usullari mavjud.

Yuqorida keltirilgan usullardan xalaqitlarni kompensatsiya qilish vositalari va algoritmlari juda ko'p va turlicha. Foydali axborot signali va qabullash qurilmasi xususiy shovqinlari spektri tashkil etuvchilarining o'zaro ta'siri natijasida RQQlarda hosil bo'ladigan kombinatsiya xalaqitlari sathini kamaytirish yoki umuman yo'q qilish uchun RQQ yuqori chastotalar trakti iloji boricha chiziqli amplituda xarakteristikasiga ega bo'lishi kerak. Bunda birinchi navbatda RQQning barcha yuqori chastotalar trakti: kirish yuqori chastotali kuchaytirgichi (YuChK), chastota almashtirgichi (ChA) va oraliq chastota kuchaytirgichi (OChK) amplituda xarakteristikalari chiziqli bo'lishi kerak.

OChKlarida ham xalaqitlarni kompensatsiya qilish va xalaqitlar ta'sirida bo'lgan axborot signalini tanlab (ajratib) olish mumkin. Buning uchun kuchaytirishni avtomatik boshqarish (KAB) ning turli sxemalaridan foydalaniladi. OChKlarida xalaqitlarni kompensatsiya qilish uchun qo'shimcha kogerent kanallari davri oralagan impuls kompensatorlari va boshqa sxemalardan foydalaniladi. OChKlarida xalaqitlardan himoyalalanish sxemalarida signal bilan moslashgan filtrlardan va signallarga maxsus nochiqliq ishlov berish usullaridan: logarifmik amplituda xarakteristikali OChK; amplituda cheklagich va filtrlardan (filtr-cheklagich-filtr) foydalanish mumkin. RQQ geterodini chastotasini avtomatik sozlash (ChAS)ning turli sxemalari yordamida ham xalaqitlardan himoyalalanish mumkin.

Xalaqitlar ta'siridagi axborot signallarini demodulyatsiyalashda modulyatsiyalangan signaldan uning modulyatsiyalangan ko'rsatkichi o'zgarishini birlamchi modulyatsiyalangan axborot signaliga eng yuqori ko'rsatkich bilan mos bo'lishini ta'minlash usullaridan, shu bilan birga turli ma'lum bo'lgan xalaqitlar ta'sirini demodulyatsiyalashning ma'lum usullaridan ham foydalaniladi.

5.5.5. Radiolokatsiya stansiyalarini xalaqitlardan himoyalash

Radiolokatsiya stansiya (RLS)larini himoyalash juda murakkab muammo hisoblanadi. RLSlarnig maxsus shakllantirilgan xalaqitlar sharoitida barqaror, ishonchli ishlashini ta'minlash har qanday sharoitlarda, shu jumladan avvaldan noma'lum bo'lgan, kutilmagan shakldagi radioxalaqitlar ta'sir etgan sharoitlarda ham RLS oldiga qo'yilgan vazifani ta'minlashni

tashkil qilish kerak. Shuning uchun RLSni xalaqitlardan himoyalash nafaqat bir qator texnik tadbirlarni, shu bilan birga tashkiliy qoralarni amalga oshirishni talab qiladi. Bunda, birinchi navbatda tegishli qurilmalar yaratilishi va ularda xalaqitlardan himoyalash algoritmlarini qo'llash kerak.

RLSlarni xalaqitlardan himoyalash uchun signallarni xalaqitlardan: ularning chastotalari spektri; mavjudlik vaqti va davomiyligi; fazaviy, tarkibiy va qutblanganlik ko'rsatkichlaridan foydalanib ularni bir-biridan ajratish (seleksiya qilish) usullaridan foydalanish kerak bo'ladi.

Xalaqitlardan himoyalashning eng samarali usullari: xalaqitlar bilan antenna tizimida, RQQsining kirish qismida, OChKi chastotalar o'tkazish polosasida yoki RLS signallariga ikkilamchi ishlov berish tizimlarida amalga oshirish hisoblanadi.

RLSni xalaqitlardan himoyalashning tashkiliy usuli radiolokatsiya kuzatuvlarini boshqarishni turli usullarini o'z ichiga oladi. Buning uchun turli (ba'zan bir xil) bir-biridan ma'lum uzoqlikda o'rnatilgan yagona RLSlar tizimidan ham foydalaniladi.

Yuqoridagilardan tashqari RLSlarni loyihalash va ishlab chiqarishda, ularni xalaqitlardan himoyalashning tajribada va amalda o'zining samaradorligini ko'rsatgan usullaridan ham foydalaniladi. Bu usullar RLSga xalaqitlar ta'sirini yo'qqa chiqarish yoki ularning salbiy ta'sirini kamaytirishga yo'naltirilgan. Ba'zi xalaqitli muhitlarda RLSning xalaqitlardan himoyalanganligini ta'minlash uchun ularning tarkibiy tuzilishini adaptiv (xalaqitlarga mos) ravishda o'zgartirish usullaridan ham foydalaniladi.

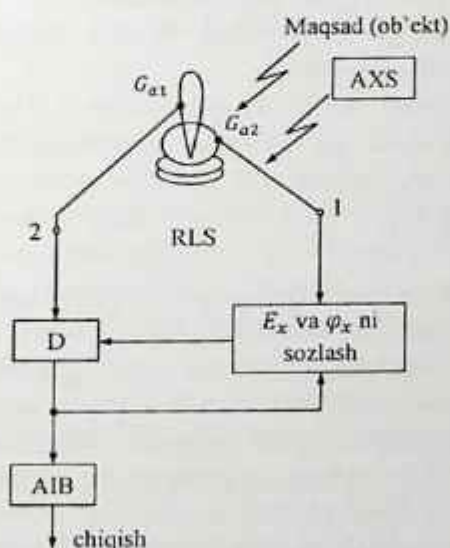
RLSni xalaqitlardan himoyalash bir vaqtda bir necha usullaridan va tashkiliy vositalaridan foydalanishni taqazo etadi. So'rov radiolokatsiya signalining nurlatish quvvatini nazorat qilish radiokanal mavjud bo'lsa, uning quvvatini mavjud xalaqitlar muhitiga qarab o'zgartirish usulidan ham foydalanish mumkin.

Ba'zan RLSlarni xalaqitlardan himoyalash uchun maqsad (ob'ekt)ni nurlatilayotgan impulslar old va orqa frontini kuzatish usulidan ham foydalaniladi. Bunday ish holati RLSni unga uzoq masofadan ta'sir qilayotgan xalaqitlardan himoyalash imkoniyatini yaratadi. Bunday xalaqitlar dipolli aks ettirgichlardan qaytish, turli retranslyatorlar va boshqa radioelektron xalaqit vositalari tomonidan nurlantiriladi. Misol uchun, agar impuls signal shakli xalaqit ta'sirida buzilgan, ammo uning old fronti buzilmasdan qolgan bo'lsa, u holda bu impuls signalining old frontini differensiallash asosida, u kelgan vaqtga mos keluvchi qisqa impuls asosida birlamchi nurlatilgan davomiyligi τ_s ga teng bo'lgan signal impulsini qayta tiklash mumkin.

RLSlarni xalaqitlardan himoyalashda quyidagi bir qator usullar va tashkiliy tadbirlardan foydalanish mumkin. RLS antennasi turi va uning yo'naltirilganlik diagrammasini tanlash asosida stansiyaga ta'sir etayotgan xalaqit ta'sirini kamaytirish mumkin.

RLSning unga maxsus shakllantirilgan xalaqitlardan himoyalashning eng yaxshi optimal usulini tanlash uchun ta'sir qilayotgan xalaqitli muhit haqida ma'lumotlarga ega bo'lish kerak. Xalaqit muhiti haqidagi tezkor ma'lumotlar RLS ish holatini ushbu muhitda ishlash jarayonini avtomatik ravishda boshqarib yoki stansiya operator tomonidan boshqarilayotgan bo'lsa uni adaptiv ish holatini ta'minlash mumkin.

RLSlarning qutblangan xalaqitlardan himoyalanganlik ko'rsatkichini yaxshilash uchun asosiy signal qabul qilinayotganga ortogonal bo'lgan qutblanishli ikkinchi – qo'shimcha antennalardan foydalanish kerak bo'ladi. Misol uchun, RLS vertikal qutblangan nazorat signali S_1 ni nurlatayotgan bo'lsin, ikkinchi antenna tomonidan qabul qilingan aks etgan signal 5.13-rasmda ko'rsatilgan 2-nuqtaga keladi.



5.13-rasm. Ortogonal qutblangan xalaqitni kompensatsiyalash

Aktiv xalaqitlar stansiyasi (AXS) tomonidan shakllantirilayotgan maqsad (ob'ekt)ga yo'naltirilgan signal asosiy signalga ortogonal qutblangan bo'lsa, u asosiy antenna A_1 tomonidan G_{a1} kuchaytirish koeffitsiyenti bilan qabul qilinadi va yordamchi antenna orqali G_{a2} kuchaytirish koeffitsiyenti bilan qabul qilinadi va 5.13-rasmdagi 1 va 2 nuqtalarda xalaqit signali hosil

bo'ladi. Xalaqit amplitudasi E_x va xalaqit fazasi φ_x ni diskriminator D li avtomatik sozlash zanjiridan foydalanib sezilarli darajada kompensatsiyalash natijasida axborotga ishlov berish (AIB) qismi chiqishida faqat foydali signal S_1 bo'lishini ta'minlash mumkin [1].

5.6. Obyektning masofasini o'lchash usullari

Obyekt (maqsad)gacha bo'lgan masofa D aks etib qaytgan signalning kechikish vaqti orqali aniqlanadi: $t_k = 2D/c$, bunda c – radioto'lqinning tarqalish tezligi. Ushbu kechikish vaqtini o'lchash orqali obyektgacha bo'lgan masofani aniqlash mumkin, ya'ni $D = 0,5t_k c$.

Kechikish vaqtini o'lchashning uchta asosiy usuli mavjud:

- **amplitudaviy usul**, bunda aks etgan signalning kechikish vaqti bevosita, ya'ni qabul qilingan radiolokatsiya signali amplitudasi o'zgarishining kechikish vaqti o'lchanadi;
- **chastotaviy usul**, bunda zondlovchi (nurlatilgan) va aks etgan signallar chastotalarining farqi o'lchanadi;
- **fazaviy usul**, bunda nurlatilgan va aks etgan sinusoidal signallar fazalarining farqi o'lchanadi.

Ushbu usullar mos holda amplitudaviy, chastotaviy va fazaviy radioo'lchash qurilmalarida qo'llaniladi. Obyektgacha bo'lgan masofani o'lchashga mo'ljallangan radiotexnik qurilmalar **masofani radioo'lchash qurilmalari** deb ataladi [2].

5.6.1. Amplitudaviy usul yordamida obyektning uzoqligini aniqlash

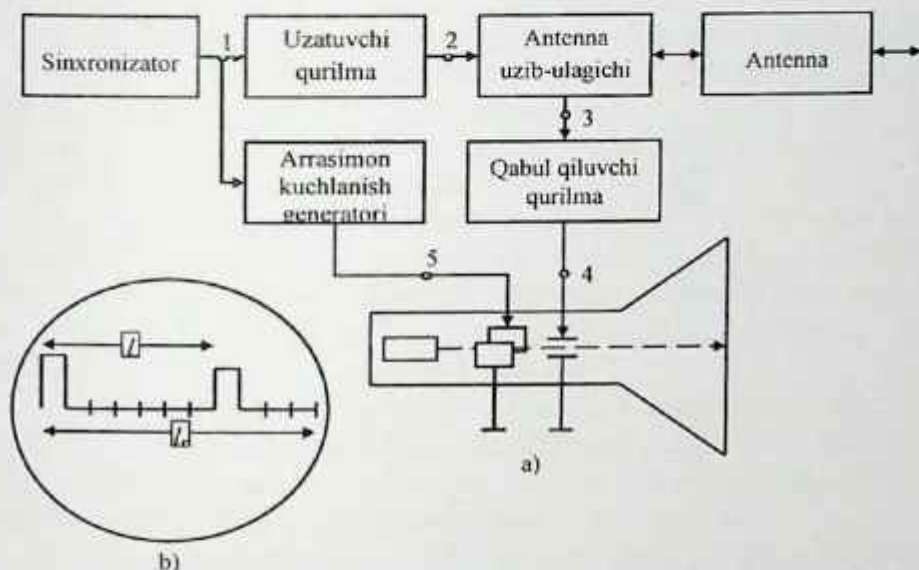
Amplitudaviy usul yordamida obyektning uzoqlik masofasini o'lchashda, qabul qilinayotgan radiolokatsion signallar amplitudasi o'zgarishining kechikish vaqtini o'lchash orqali amalga oshiriladi. Bunda asosan nurlatilayotgan modulyatsiyalangan signallar sifatida impulsli modulyatsiyadan foydalaniladi, shuning uchun ushbu usul ko'pincha impulsli usul deb ham yuritiladi.

Obyekt (nishon) ning masofasini amplitudaviy usul yordamida o'lchovchi RLSning funksional sxemasi (5.14a-rasm) va uning ishlash tartibini ko'rib chiqaylik.

Ushbu qurilma asosan uch qismdan iborat bo'lib: uzatuvchi, qabul qiluvchi, indikator qurilmalarini tashkil etadi. Stansiyaning uzatuvchi qurilmasi davomiyligi τ_t , qaytarilish davri T_t , ga teng bo'lgan radioimpulslarni nurlatadi (5.15-rasmdagi u_2 kuchlanish).

Antenna uzib-ulagichi radiosignalni nurlatish davrida antennani uzatuvchi qurilmaga va qolgan vaqt mobaynida esa qabul qiluvchi qurilmaga ulab beradi.

Obyektdan aks etib qaytgan impuls signallar t_k vaqtga kechikadi. Qabul qiluvchi qurilmaning kirishiga uzatilgan hamda obyektдан aks etib qaytgan radioimpulslar ta'sir qiladi (5.15-rasmdagi u_3 kuchlanish).



5.14-rasm. a) – obyektning masofasini o'lchovchi impulsli RLSning funksional sxemasi; b) – ENTsidagi tasvir.

Aks etib qaytgan signallarning kechikish vaqti juda kichik qiymatga ega bo'lib, mingdan yoki milliondan bir soniyani tashkil etadi. Oddiy soat mexanizmlari bunday kattalikni o'lchashga yaroqsizdirlar. Kechikish vaqtini o'lchash uchun radiolokatsiya sohasida asosan elektron nur trubkalaridan tashkil topgan indikator o'lchov qurilmalari qo'llaniladi. Obyektдан kechikib qaytgan radioimpulslar qabul qilgich yordamida tahlil qilinib (5.15-rasmdagi u_4 kuchlanish), tahlil natijasi indikator qurilmasida namoyish etiladi.

Indikator qurilmasining ekranida uzatilgan va aks etib qaytgan impulslarning dog'lari namoyish etilib (5.14b-rasm), ular orasidagi l oraliq, aniqlanuvchi obyekt (nishon) ning masofasiga to'g'ri proporsionaldir.

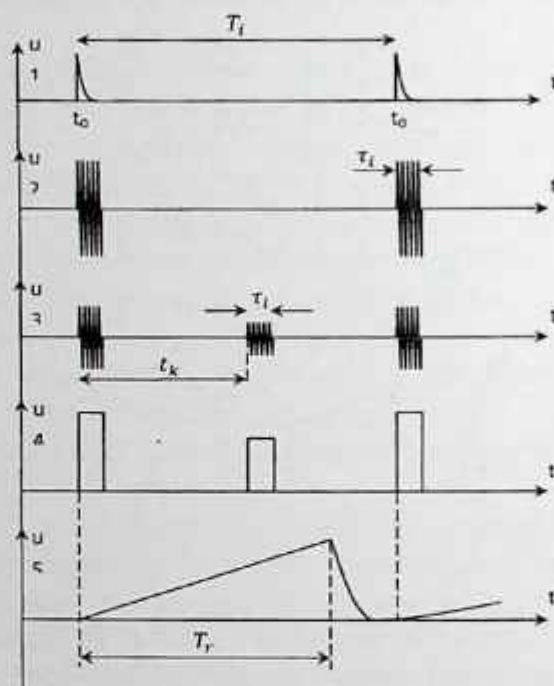
$$l = V_d t_k = V_d \frac{2D}{c},$$

bunda, V_d – indikator ekranidagi dog'ning harakatlanish tezligi.

Shunday qilib, RLS dan harakatdagi obyekt (nishon) gacha bo'lgan masofa

$$D = \frac{c}{2V_d} l.$$

5.15-rasmda obyekt masofasini o'lchovchi impulsli RLSning funksional sxemasida belgilangan nuqtalardagi kuchlanishlarning vaqt diagrammalari keltirilgan.



5.15-rasm. Impulsli RLSning ishlash vaqt diagrammalari

5.14b-rasmda elektrostatik boshqariluvchi trubka keltirilgan bo'lib, uning vertikal harakatlanuvchi plastinasi qabul qiluvchi qurilma chiqishidagi u_4 kuchlanish impulsini tasvirlaydi, gorizont plastinasiga esa maxsus sxemadan arrasimon u_5 kuchlanish impulsari mos keladi. Uzatuvchi qurilma va arrasimon kuchlanishlarni shakllantiruvchi sxema sinxronlovchi qurilma (sinxronizator) impulsari tomonidan bir vaqtda ishga tushiriladi. Shuning uchun uzatuvchi qurilma impulsining nurlatishi bilan bir vaqtda ekrandagi dog' trubka ekrani bo'yicha gorizont harakatlanishni boshlaydi.

Obyekt masofasini o'lchovchi impulsli RLSning *afzalliklari*:

- bitta antenna ishtirogida RLS qurilmasini yaratish mumkin;
- indikator qurilmasining oddiyligi;
- bir vaqtning o'zida bir necha obyektlarning masofasini o'lchash mumkin;

- tarqatilayotgan impulslarni osongina ajratish mumkin.

Ushbu usulning *kamchiliklari*:

- uzatuvchi qurilma katta impulsli quvvatni hosil qilishi kerak;
- kichik masofadagi obyektlarni aniqlashning imkoni yo'qligi;
- stansiya minimal ta'sir uzoqligining kattaligi (yuzlab, hattoki minglab metrni tashkil qilishi mumkin).

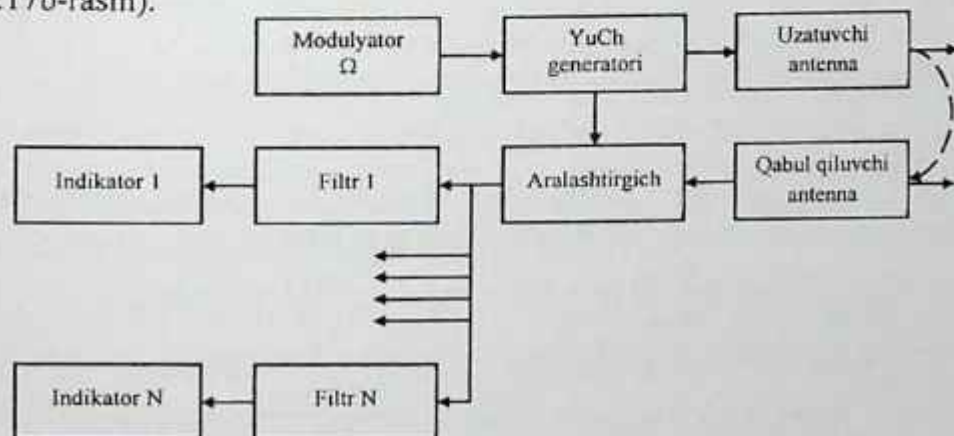
5.6.2. Chastotaviy usul yordamida obyektning uzoqligini aniqlash

Obyekt (nishon) ning masofasini chastotaviy usul yordamida aniqlash, uzluksiz chastota modulyatsiyasili signallarning uzatilishi, ya'ni tarqatishiga asoslangan. Kechikish vaqti uzatilgan va aks etib qaytgan signallar chastotalarining farqi bilan o'lchanadi.

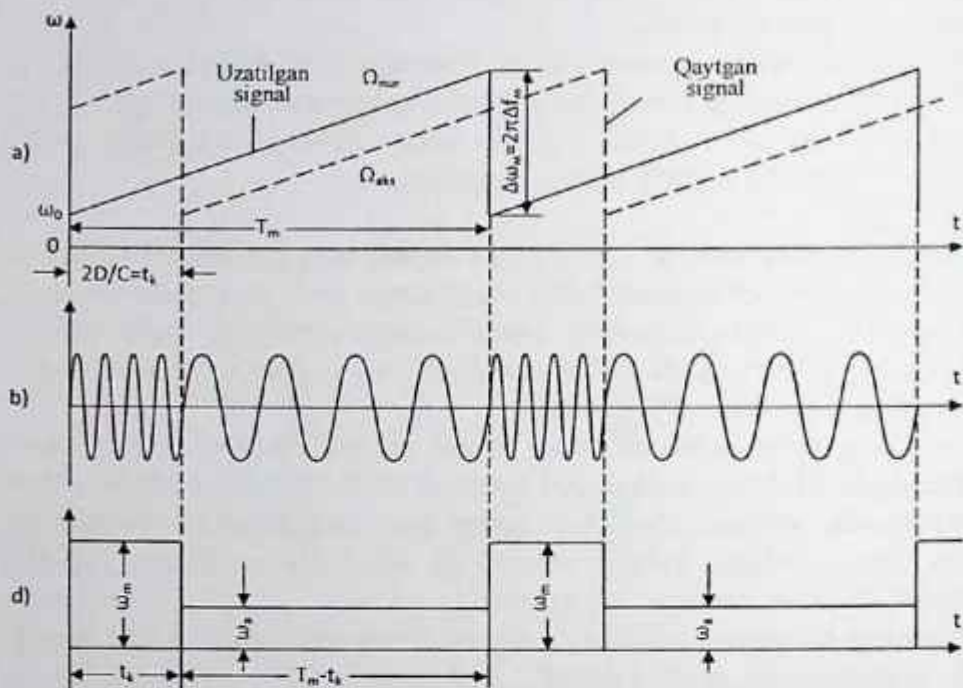
Obyektning masofasini aniqlash uchun chastota modulyatsiyasi ishtirogida yaratilgan RLSning funksional sxemasi (5.16-rasm) keltirilgan bo'lib, ushbu qurilmada yuqori chastotali generator boshqaruvchi modulyator yordamida talab etilgan yuqori chastotali modulyatsiyalangan signalni shakllantiradi (5.17a-rasmda uzluksiz chiziq).

Signalning chastotasi harakatsiz obyektidan qaytganda o'zining avvalgi o'zgarish qonuniyatini saqlab qoladi, lekin vaqt o'qi bo'yicha siljib, t_k vaqtga kechikib keladi (5.17a-rasmda uzlukli chiziq). Qaytgan to'lqinning chastotasi shtrix chiziq bilan ko'rsatilgan.

Uzatilgan va obyektidan aks etib qaytgan signallar, qabul qilgich orqali aralashtirgich qurilmasiga beriladi. Aralashtirgichning chiqishida, ikki signal yig'indisidan iborat bo'lgan chastotalar farqi hosil bo'ladi. Natijada chastotalar farqi obyekt (nishon) ning masofasiga proporsional bo'ladi (5.17b-rasm).



5.16-rasm. Obyektning masofasini o'lchovchi chastota modulyatsiyasili RLSning funksional sxemasi



5.17-rasm. a) – uzatilgan va aks etib qaytgan signal; b) – chastotalarning farqi; d) – chastotalarning farqini o'lchash.

Shakllangan chastotalar farqi filtr orqali indikator qurilmasiga beriladi, indikator qabul qilgan signal chastotasiga asoslanib, matematik ifodalar ishtirokida tegishli o'zgartirishlarni amalga oshiradi va o'zining ekranida natijalarni namoyish etadi. Aralashtirgich chiqishidagi chastotalar farqi obyektgacha bo'lgan masofaga to'g'ri proporsional bo'ladi.

Uzatilayotgan signalning aylana chastotasi quyidagiga teng bo'lsa,

$$\omega_{nur} = \omega_0 + \frac{\Delta\omega_m}{T_m}t,$$

bunda, $\Delta\omega_m$ – uzatgichning chastota deviasiyasi bo'lsa, u holda harakatsiz obyektidan qaytgan signalning chastotasi quyidagiga teng bo'ladi

$$\omega_{aks} = \omega_0 + \frac{\Delta\omega_m}{T_m}(t - t_k) = \omega_0 + \frac{\Delta\omega_m}{T_m}\left(t - \frac{2D}{c}\right).$$

Aralashtirgichning chiqishida hosil bo'lgan chastotalar farqi

$$\omega_a = \omega_{nur} - \omega_{aks} = \frac{2\Delta\omega_m}{cT_m}D = \frac{4\pi\Delta f_m F_m}{c}D.$$

Yuqoridagilardan kelib chiqqan holda, obyektning masofasini aniqlash ifodasi quyidagiga teng bo'ladi

$$D = \frac{c\omega_a}{2\Delta\omega_m} = \frac{cf_a}{2\Delta f_m F_m}.$$

Yuqoridagi qurilmada chastotalar farqini o'lchashda filtr va impuls hisoblagichlar ishlatiladi.

Filtrlarni qo'llashda ikkita variant ishlatilishi mumkin: o'rnatilgan (belgilangan) chastotalarga sozlangan filtrlar guruhi yoki bitta o'zgartirib rostlovchi filtr.

Ushbu qurilmaning *afzalligi*:

- kichik masofadagi obyektlarning masofasini aniqlash qobiliyati;
- kichik quvvatli signallarni uzatuvchi uzatkichdan foydalanish.

Qurilmaning *kamchiliklari*:

- ikkita antenna qo'llanilishi talab qilinadi, bunda uzatilgan va qaytgan signallarni bir-biridan ajratish qurilmasini yaratish murakkabligi;
- ikkita antenna ishlatilganligi sababli qabul qilgichning sezgirligi yomonlashadi;
- chastotaning chiziqli o'zgarishiga katta talab qo'yiladi.

5.6.3. Fazaviy usul yordamida obyektning uzoqligini aniqlash

Obyektning masofasini fazaviy usul yordamida aniqlash uzatilgan va qabul kilingan sinusoidal signallar fazalarining farqini o'lchash orqali amalga oshiriladi.

Fazaviy usul yordamida obyektning masofasini o'lchovchi qurilmaning funksional sxemasi 5.18-rasmda keltirilgan. Generator fazoga nurlatiluvchi ω_0 chastotali tebranishni shakllantiradi.

Modulyator sinusoidal kuchlanishga $U_m \cos(\Omega t + \varphi_0)$ ega bo'lgan, amplitudasi modulyatsiyalangan signalni shakllantiradi.

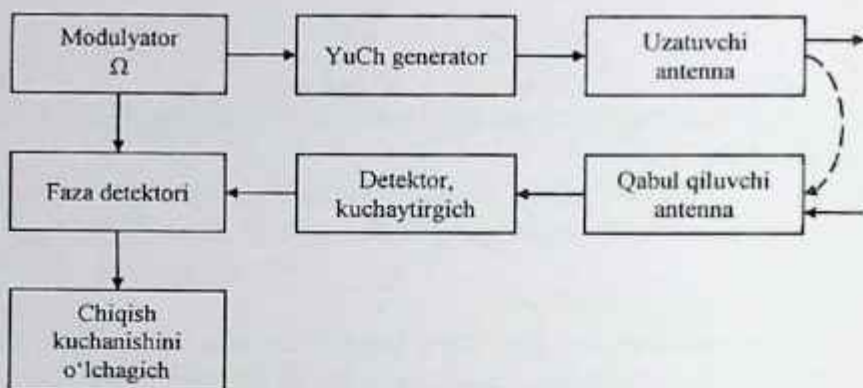
$$U_{gen} = U_0 [1 + m \cos(\Omega t + \varphi_0)] \cos(\omega_0 t + \varphi_1).$$

Ushbu modulyatsiyalangan signallar fazoga tarqatiladi. Obyektdan aks etib qaytgan signallar qabul qilgichda kuchaytirilib, detektorlanadi va past chastotali signal ajratiladi, ajratilgan past chastotali signal modulyatorning tebranish fazasi bilan solishtiriladi. Qabul qilingan past chastotali signalning fazasi obyektning masofasiga bog'liq bo'ladi.

$$\varphi = \Omega(t - t_k) + \varphi_0 + \varphi_{RLS} = \Omega\left(t - \frac{2D}{c}\right) + \varphi_0 + \varphi_{RLS}.$$

Past chastotali tebranishlarning faza farqi $\Delta\varphi = \frac{2\Omega}{c} D$ obyektning masofasini aniqlashga xizmat qiladi, ya'ni

$$D = \frac{c}{2\Omega} \Delta\varphi.$$



5.18-rasm. Fazaviy usul yordamida obyektning masofasini o'lchovchi qurilmaning funksional sxemasi

Ushbu qurilma quyidagi afzalliklarga ega:

- signalni uzatish uchun kichik quvvat yetarli bo'ladi, ya'ni bunda so'nmaydigan tebranish shakllanishi bilan xarakterlanadi;
- amalda masofani aniq o'lchash qaytgan signalning doppler siljish chastotasiga deyarli bog'liq bo'lmaydi;
- qurilmaning oddiyligi.

Qurilmaning kamchiliklari:

- bir vaqtning o'zida alohida ikkita obyektning masofasini aniqlash imkoniga ega emas;
- uzatgich qabul qilgich yonida bo'lgani sababli qabul qilgichning sezgirliги yomonlashadi;
- signallarni ajratish qurilmasini yaratish texnik qiyinchiliklarni tug'diradi.

5.7. Obyektning burchak koordinatalarini aniqlash

Obyektlarning burchak koordinatalarini aniqlashda burchak o'lchovchi yoki pelengatsion radiolokatsion qurilmalar ishlatiladi.

Burchak o'lchovchi qurilmalar asosan antenna tizimi signallarni tahlil qiluvchi qabul qilgich va radiolokatsion signallarni o'lchovchi qurilmalardan iborat bo'ladi. Burchakni o'lchovchi qurilmalarning asosiy xarakteristikalaridan biri pelengatsion xarakteristika bo'lib, u qabul qilgich chiqishidagi kuchlanishning kelayotgan to'lqinning yo'nalishiga bog'liqligini ko'rsatadi $u_{chiq}(\varphi)$. Signalning turli parametrlariga asoslanib, obyekt (nishon) ning burchak koordinatalarini amplitudaviy, chastotaviy va fazaviy usullari yordamida o'lchash mumkin.

5.7.1. Amplitudaviy usul yordamida obyektning burchak koordinatalarini aniqlash

Hozirgi davrda ma'lum va qo'llaniladigan amplitudaviy usullar quyidagilarni tashkil etadi: maksimum bo'yicha, minimum bo'yicha, taqqoslash, teng signalli.

Maksimum usuli buyicha pelengasiyada, RLS antenasi asta sekin ma'lum bir burchak ostida holatini (harakati) o'zgartiradi va berilgan vaqt davomida obyektidan tarqalayotgan signallarni qabul qiladi. Qabul qiluvchi qurilmaning chiqishida signalning amplitudasi maksimal kiymatga erishganda obyektning burchak koordinatasi to'g'ri va sifatli aniqlanadi.

Obyektning burchak koordinatasini o'lchovchi qurilmaning funksional sxemasi 5.19-rasmda keltirilgan. 5.20-rasmda esa maksimum qiymat bo'yicha burchak koordinatani o'lchovchi qurilmaning pelengatsion xarakteristikasi keltirilgan.

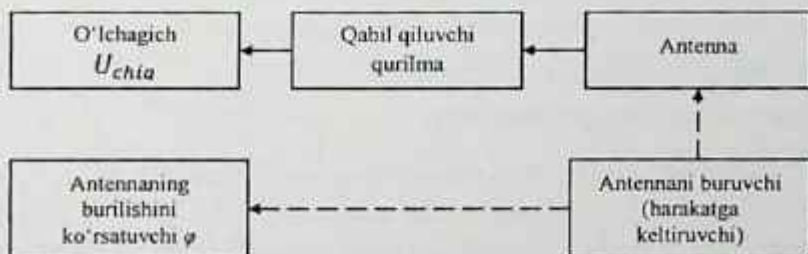
Agar obyekt antenaning yo'nalish diagrammasi sektoriga mos kelsa, u holda qabul qilgich obyektidan kelgan signallarni qabul qila boshlaydi. Signalning amplitudasi antenani qaysi burchak ostida joylashganligiga bog'liq bo'ladi.

Antenna harakatlanganda (holati o'zgarganda) qabul qilgich chiqishidagi kuchlanish antenaning yo'nalish diagrammasi shaklini aks ettiradi (5.20-rasm)

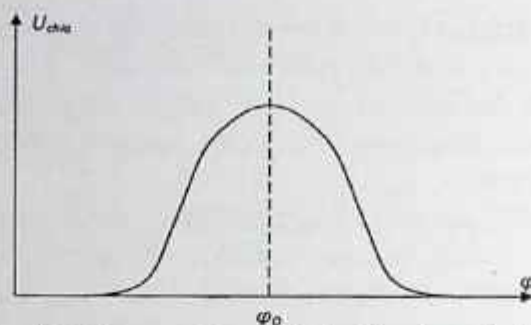
$$u_{chiq}(\varphi) = kF(\varphi). \quad (5.21)$$

Bu ifoda burchak koordinatasini o'lchovchi qurilmaning pelengatsion xarakteristikasi bo'lib, k – proporsionallik koeffitsiyenti.

Antenaning o'qi obyektning yo'nalishi bilan mos kelsa (bir chiziqda), qabul qilgichdagi chiqish kuchlanishining qiymati maksimumga erishadi, ya'ni obyekt pelengi amalga oshgan bo'ladi.



5.19-rasm. Obyektning burchak koordinatasini o'lchovchi qurilmaning funksional sxemasi



5.20-rasm. Maksimum qiymat bo'yicha burchak koordinatani o'lchovchi qurilmaning pelengatsion xarakteristikasi

Ushbu usulning yutug'i:

- berilgan qurilma o'z ichiga minimum texnik bloklarni oladi;
- obyektning burchak koordinatasi aniq va sifatli o'lchanadi.

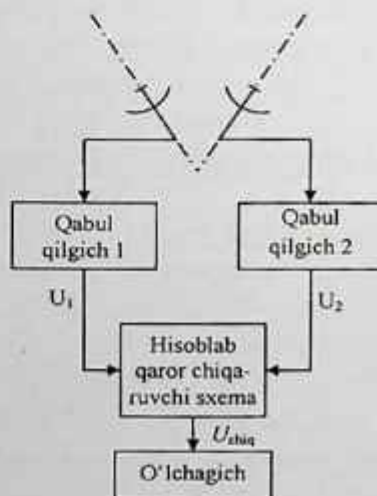
Minimum usuli bo'yicha pelengatsiya faqat katta quvvatli xususiy nurlanishga ega bo'lgan manbalarni pelenglashda qo'llaniladi. Ushbu usul hozirda radiolokatsiyada deyarli qo'llanilmaydi, shuning uchun ushbu bobda usul to'g'risida to'xtalib o'tishni joiz topmadik.

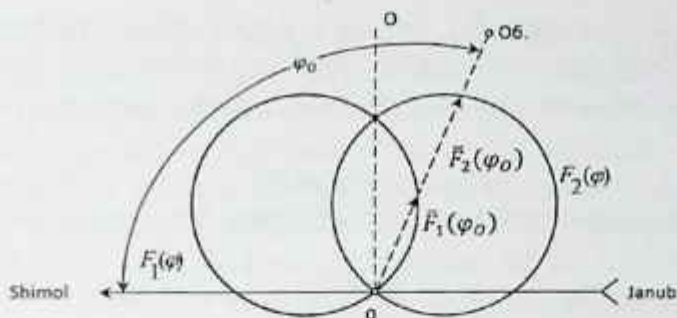
Taqqoslash usuli bo'yicha obyektning burchak koordinatasini aniqlash.

Ushbu usul obyektidan tarqatilgan signallarni bir vaqtning o'zida ikkita antenna yordamida qabul qilib, qabul qilingan signallarning amplitudalar farqini taqqoslashga, ya'ni solishtirishga asoslangan.

5.21-rasmda taqqoslash usuli qo'llanilgan pelengator qurilmasining funksional sxemasi keltirilgan. 5.22-rasmdagi grafikda antenna yo'nalish diagrammasining fazodagi joylashuvi ko'rsatilgan.

5.21-rasm. Taqqoslash usuli qo'llanilgan pelengator qurilmasining funksional sxemasi





5.22-rasm. Antenna yo'nalish diagrammasining fazodagi joylashuvi

Qabul qilgichlarning chiqishidagi signal amplitudalari modullar vektoriga proporsional bo'lib $\bar{F}_1(\varphi_0)$ va $\bar{F}_2(\varphi_0)$, quyidagicha ifodalanadi.

$$U_1 = k_1 \bar{F}_1(\varphi_0) \text{ va } U_2 = k_2 \bar{F}_2(\varphi_0).$$

Hisoblab qaror chiqaruvchi qurilmaning chiqishidagi kuchlanish

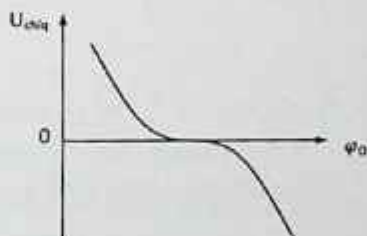
$$U_{chiq}(\varphi) = k_1 \bar{F}_1(\varphi_0) - k_2 \bar{F}_2(\varphi_0) \quad (5.22)$$

ayirma yoki birinchi signalning ikkinchisiga nisbati orqali aniqlanadi

$$U_{chiq}(\varphi) = \frac{k_1 \bar{F}_1(\varphi_0)}{k_2 \bar{F}_2(\varphi_0)} \quad (5.23)$$

5.23-rasmda pelengatsion xarakteristika keltirilgan.

5.23-rasm. Taqqoslash usulidagi pelengatsion xarakteristika



Ushbu taqqoslash usulining afzalligi – qo'zg'almas antenna tizimi qo'llanilganda nisbatan keng sektor chegarasida (oralig'ida) obyekt tomonga yo'nalishni tez fursatda aniqlash imkoniyatidir. Kamchiligi esa o'lchash aniqligining pastligi hisoblanadi.

5.7.2. Fazaviy usul yordamida obyektning burchak koordinatalarini aniqlash

Ushbu usul har xil antennalar yordamida elektromagnit to'lqinlar qabul qilinganda ular orasidagi fazalar farqining o'lchanishiga asoslangan.

5.24-rasmda fazaviy usul yordamida obyektning burchak koordinatalarini aniqlovchi qurilmaning funksional sxemasi keltirilgan. Sxemadagi 1 va 2 nuqtalarda qabul qiluvchi antennalar joylashgan bo'lib, ular orasidagi

masofa (baza) d ga tengdir. Antenna orqali qabul qilingan signalar kuchaytiriladi, cheklanadi so'ng faza detektori qurilmasiga beriladi. Faza detektorining chiqishidagi kuchlanish faqat tebranishlarning faza farqini aniqlaydi

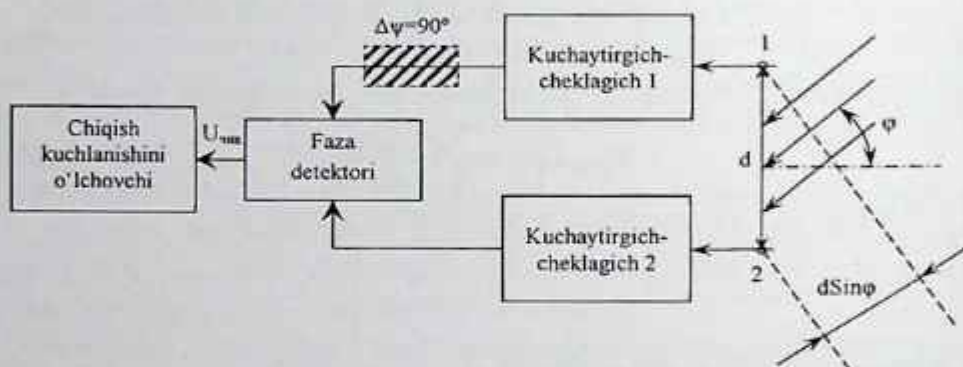
$$U_{chiq} = k \cos \Delta\psi. \quad (5.24)$$

Antennadagi yuqori chastotali tebranishning faza farqi quyidagiga teng bo'ladi

$$\Delta\psi = \frac{2\pi d}{\lambda} \sin \varphi. \quad (5.25)$$

Agar φ juda kichik qiymatga erishsa, $\sin \varphi \approx \varphi$ deb qabul qilsa bo'ladi, unda

$$\Delta\psi = \frac{2\pi d}{\lambda} \varphi. \quad (5.26)$$



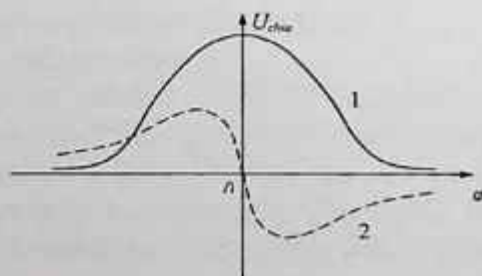
5.24-rasm. Fazaviy usul yordamida obyektning burchak koordinatalarini aniqlovchi qurilmaning funksional sxemasi

Yuqoridagi ifodani inobatga olgan holda, pelengatsion xarakteristika quyidagicha ifodalanadi

$$U_{chiq}(\varphi) = k \cos\left(\frac{2\pi d}{\lambda} \varphi\right). \quad (5.27)$$

(5.25-rasmdagi 1-chi egri chiziq).

5.25-rasm. Faza pelengatorining pelengatsion xarakteristikasi



(5.27) ifodadan ko'rinadiki $\varphi = 0$ ga yaqin bo'lganda burchak koordinatalarini o'lchash aniqligi yanada pasayadi. Bundan tashqari bazaga nisbatan perpendikulyar bo'lgan obyektning siljish yo'nalishini aniqlashning imkoni yo'q. Ushbu ikkita kamchilikni bartaraf etish uchun 5.24-rasmdagi kuchaytirgichlardan birining chiqishiga qabul qilinayotgan signalning fazasini 90° ga suruvchi qurilma kiritish yetarli hisoblanadi. 5.24-rasmda ushbu sun'iy faza surgich punktir chiziqlar bilan belgilangan. Ushbu qo'shimcha kiritilgandan so'ng chiqish kuchlanishi quyidagiga teng bo'ladi

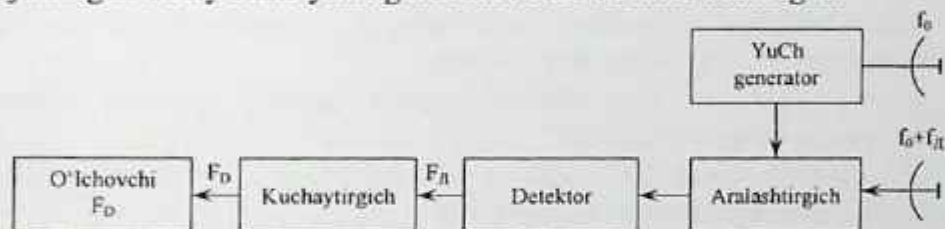
$$U_{chiq} = k \sin \Delta\psi = k \sin \left(\frac{2\pi d}{\lambda} \varphi \right). \quad (5.28)$$

(5.25-rasmdagi 2-chi egri chiziq).

Ushbu usul o'lchashning yuqori aniqligini ta'minlaydi. Kamchiligi sifatida obyektlarni ajratish imkoni yo'qligini keltirish mumkin.

5.7.3. Obyektning radial tezligini o'lchash

Radial tezlikni o'lchash obyektidan qaytgan signalning Doppler siljish chastotasi aniqlanishiga asoslangan. Doppler chastotasini o'lchashga mo'ljallangan oddiy stansiyaning sxemasi 5.26-rasmda keltirilgan.



5.26-rasm. Doppler chastotasini o'lchashga mo'ljallangan oddiy stansiyaning sxemasi

Yuqori chastotali generator f_0 chastotali so'nmaydigan tebranishni fazoga tarqatadi. Harakatdagi obyektidan qaytgan chastota, f_0 chastotadan Doppler siljishiga farq qiladi f_D , bunda qaytgan signalni quyidagicha ifodalash mumkin

$$u_{aks} = U_{aks} \cos[2\pi(f_0 + f_D)t + \varphi_0].$$

Qabul qilingan signal generator signali bilan aralashtiriladi. Aralashtirgich chiqishida doppler chastotasiga ega tebranish hosil bo'ladi. Ushbu tebranish detektor yordamida detektorlanib, chastotasi kuchaytiriladi, so'ng chastota o'lchagichiga beriladi natijada nishonning radial tezligi quyidagicha ifodalanadi.

$$V_r = \frac{f_D \lambda}{2}.$$

Ushbu usulning afzalligi:

- stansiyaning soddaligi (oddiyligi);
- talab etilgan aniqlikda radial tezlik o'lchanishi.

Usulning kamchiliklari:

- yuqori chastotali generator qisqa vaqt davomida signal chastotasini stabiligini ta'minlaydi;
- generatorning ish faoliyatiga har kandy parazit modulyatsiyalar salbiy ta'sir ko'rsatadi.

Nazorat savollari

1. Radilokasiya tizimlari qanday turlarga bo'linadi?
2. Radiolokatsion stansiyaning loyihalashtirishda qanday asosiy xarakteristikalarini e'tiborga olish muhim?
3. Radiolokatsiyaning qanday turlarini bilasiz?
4. Radiolokatsiya axborotini olishga mo'ljallangan asosiy tizimlarni sanab bering va ularning har biri to'g'risida ma'lumot bering.
5. Radiolokatsiya tizimining umumlashgan strukturaviy sxemasidagi qo'shimcha tizimlar haqida ma'lumot bering.
6. Radioto'lqinlarni aks ettirish effektiv yuzasi deganda nimani tushunasiz va u qanday aniqlanadi?
7. Bir nechta elementar nuqtaviy obyektlarning aks ettirish effektiv yuzalarini hisoblash formulalarini keltiring.
8. RLSning ta'sir uzoqligiga qanday omillar ta'sir ko'rsatadi?
9. RLSga ta'sir etuvchi o'zaro xalaqitlarning ahamiyati nimada?
10. O'zaro xalaqitlarni bartaraf etish chora-tadbirlari nimalardan iborat?
11. Obyekt masofasini o'lchovchi impulsli RLSning funksional sxemasini chizing va ishlash prinsipini tushuntiring. Afzalliklari va kamchiliklarini sanab bering.
12. Obyektning masofasini aniqlovchi chastota modulyatsiyasili RLSning funksional sxemasini chizing va ishlash prinsipini tushuntiring. Afzalliklari va kamchiliklarini sanab bering.
13. Fazaviy usul yordamida obyektning masofasini o'lchovchi qurilmaning funksional sxemasini chizing va ishlash prinsipini tushuntiring. Afzalliklari va kamchiliklarini sanab bering.
14. Obyektning burchak koordinatalari qanday usullar yordamida aniqlanadi?

15. Obyektning burchak koordinatalarini o'lchovchi qurilmaning funksional sxemasini chizing va ishlash prinsipini tushuntiring.

16. Maksimum qiymat bo'yicha burchak koordinatani o'lchovchi qurilmaning pelengatsion xarakteristikasini chizing. Afzalliklarini sanab bering.

17. Taqqoslash usuli bo'yicha obyektning burchak koordinatasini aniqlash jarayoni to'g'risida tushuncha bering va uning afzalligi nimadan iborat?

18. Fazaviy usul yordamida obyektning burchak koordinatalarini aniqlovchi qurilmaning funksional sxemasini chizing va ishlash prinsipini tushuntiring.

6. RADIONAVIGATSIYA TIZIMLARI

Ushbu bobda radionavigatsiya tizimlari to'g'risida umumiy tushunchalar, radionavigatsiya tizimlarining turlarga bo'linishi, radionavigatsiyada qo'llaniluvchi koordinatalar tizimi, impulsli, fazaviy va impuls-fazaviy radionavigatsiya tizimlari va ularning ishlash prinsipi, LORAN-C va "CHAYKA" radionavigatsiya tizimlari, yo'ldoshli radionavigatsiya tizimlari, ularning tuzilish va ishlash prinsiplari, GLONASS, GPS va GALILEO yo'ldoshli navigatsiya tizimlari va ularning xarakteristikalarini, yo'ldoshli navigatsiya tizimi ba'zi foydalanuvchi apparaturalarining tuzilish prinsiplari, xarakteristikalarini ko'rib chiqilgan.

6.1. Umumiy tushunchalar

Radionavigatsiya – radiotexnik vositalar yordamida turli ob'ektlarning joylashuv o'rnini aniqlash va ularni belgilangan traektoriya bo'yicha harakatlanishini ta'minlashdir. Turli havo, dengiz, kosmik va er usti ob'ektlari **radionavigatsiya ob'ektlari** hisoblanadi.

Radionavigatsiya tizimlari (RNT) turli harakatdagi va harakatsiz havo, dengiz, er usti va kosmik ob'ektlarning joylashgan o'rnini aniqlashga mo'ljallangan radiotexnik tizimlardir. Radionavigatsiya tizimlari o'zining asosiy vazifasidan tashqari foydalanuvchilarini aniq vaqt va harakat parametrlari (tezlik, yo'nalish burchagi, bosib o'tilgan yo'l, harakatlanayotgan ob'ektlarining o'zaro joylashuvi va boshqalar) to'g'risidagi axborotlar bilan ham ta'minlaydi, shuningdek ob'ekt ko'chishining nazoratini amalga oshiradi.

Radionavigatsiya tizimlari axborotni chiqarib olish radiotexnik tizimlarining turiga kirib, qabul qilingan radiosignallardan obyektlar haqidagi ma'lumotlar chiqarib olinadi. Radionavigatsiya tizimlari (RNT) ning ishlashi quyidagi uchta fizik prinsipga asoslangan bo'lib, navigatsion masalalarni yechishda radiosignallardan foydalaniladi [32].

1. Radioto'lqinlarning tarqalish tezligi bir jinsli va izotrop muhitda doimiydir.

2. Geometrik o'lchamlari to'lqin uzunligidan katta bo'lgan bir jinsli bo'lmagan ixtiyoriy muhitda radioto'lqinlarning tarqalishi tarqalishning optik yo'li uzunligi ekstremumining trayektoriyasiga muvofiq bo'ladi.

3. Radioto'lqinlar tarqalish yo'lida uchraydigan har qanday bir jinsli bo'lmagan muhitlarda ham yoyilishlarni amalga oshiradi.

Yuqorida keltirilgan har bir jarayonni qisqacha ko'rib chiqamiz. Zamonaviy ilmiy ma'lumotlarga asosan, bir jinsli va izotrop muhitlarda radioto'lqinlarning tarqalish tezligi sinish ko'rsatkichi n ni hisobga olgan holda quyidagiga teng

$$V = \frac{c}{n}, \quad (6.1)$$

bunda, $c = 299796459,2 \pm 1,1$ m/s – vakuumdagi yorug'lik tezligi.

Amaliy hisoblashlar uchun $c = 3 \cdot 10^8$ m/s deb tanlash mumkin. Vaqt intervalini o'lchashga asoslangan UA va RNN orasidagi masofani radionavigatsion aniqlashda radioto'lqinlar tarqalish tezligining doimiyligi katta ahamiyatga ega.

Ikkinchi prinsip elektrodinamikada *Ferma prinsipi* deb ataladi. Ushbu prinsipga asosan sindirish ko'rsatkichi $n = n(x, y, z)$ ga teng bo'lgan muhitda radioto'lqinlar A va B nuqtalar orasida optik yo'lning ekstremal (maksimal yoki minimal) qiymatiga mos keluvchi trayektoriyaga muvofiq tarqaladi

$$L = \int_A^B n ds, \quad (6.2)$$

bunda, $s = s(x, y, z)$ – A va B nuqtalarni birlashtiruvchi egri chiziq.

Bir jinsli va izotrop muhitda radioto'lqinlar *Ferma prinsipi* asosida A va B nuqtalarni bog'lovchi nur bo'ylab to'g'ri chiziqli tarqaladi. Agar A nuqtada uzatkich B nuqtada UA joylashgan bo'lsa, unda to'lqinlarning to'g'ri chiziqli tarqalishi UA bortida nurlatish manbaiga yo'nalishni aniqlash imkoniyatini beradi. *Ferma prinsipi* bir jinsli bo'lmagan (misol uchun, ionosferada) muhitlarda radioto'lqinlar tarqalishining xarakterini belgilash va radioto'lqinlarning aks etish hamda sinish qonuniyatlarini aniqlashga imkon yaratadi.

Yuqorida qayd etilgan uchinchi prinsip radiolokatsiya uchun asosiy hisoblanadi. Shu bilan birga ushbu prinsip radionavigatsiya uchun ham katta ahamiyatga ega. Ushbu prinsipga asosan, tarqalish muhitining bir jinsliliigi va izotropligi buzilgan har qanday fazo sohasi ikkilamchi yoyilgan radioto'lqinlarning manbai bo'lib xizmat qiladi.

Ushbu prinsipning muhimligi shundaki, avvalam bor bir jinsli bo'lmagan muhitlarda yoyilish natijasida yuzaga keladigan radioto'lqinlar qo'shimcha xalaqitlarni yuzaga keltiradi va radionavigatsiya qurilmalarning ish sifatini pasaytiradi. Shunga qaramasdan, ikkilamchi yoyilish hodisasi RNT ishlashida faqatgina salbiy rol o'ynamaydi. Balki, Yer yuzasi (sirti) ni radiosignal bilan nurlatishda yoyilgan to'lqinlarning mavjudligi ayrim

mustaqil RNTlarda UAning marshrut bo'yicha harakati to'g'risida axborot olishga imkoniyat yaratadi.

Ob'ektning navigatsion parametrini aniqlash uchun, avvalam bor ob'ektning koordinatalarini bilish kerak bo'lib, bu asosan uch koordinatali tizimda X, Y, Z orqali belgilanadi. Ko'pchilik hollarda, er yuzasida ikkita: X va U koordinatalar bilan belgilash etarli hisoblanadi; ushbu koordinatalarning xususiy turlari geografik, ortodromik (yunalishli), masofaviy, farq-masofaviy (giperbolik), burchak-masofaviy va boshqalar hisoblanadi.

RNTlarining tarkibi uchta o'zaro funksional bog'liq bo'lgan apparaturalar majmuidan iborat bo'ladi.

Birinchi majmua – Yer ustida yoki Yer sun'iy yuldoshida (YESY) koordinatalari aniq bo'lgan nuqtalarda o'rnatilgan uzatuvchi antennaga ega uzatuvchi qurilmalardir. Bitta tizimning nurlatuvchilari bir-biridan turli uzoqlikda joylashgan bo'lishi mumkin, masalan, fazaviy RNTlarida stansiyalar bir-biridan 100-180 km uzoqlikda; impuls-fazaviy RNTlarida 1-2 ming km atrofida, YESYli RNTlarida er yuzasidan 20-40 ming km uzoqlikdagi orbitada o'rnatilishi mumkin.

Ikkinchi majmua – bort apparaturasi bo'lib, RNT foydalanuvchilari, masalan, samolyot, kema va boshqa navigatsion ob'ektda o'rnatilgan bo'ladi. Bort apparaturasi (qabullovchi indikator) qabul qilinayotgan signal parametrlarini o'lchaydi (signallarga birlamchi ishlov berish) va maxsus karta yoki hisoblagich yordamida ob'ektning navigatsion parametrlarini aniqlaydi (bu RNT signallariga ikkilamchi ishlov berish orqali amalga oshiriladi).

Uchunchi majmua – uzatuvchi stansiyalarini boshqarish va sinxronlash apparaturasi bo'lib, majmua o'z ichiga nazorat-o'lchash punktlarini ham olishi mumkin. Nurlatilayotgan signalni shakllantirish nuqtasi (joyi) va ularni qabul qilish va ishlov berish nuqtasi orasidagi radiokanal uchta ketma-ket ulangan zveno – traktlardan iborat. Uzatuvchi trakt tayanch generator, vaqt saqlagichi, modulyator va koordinatalari aniq bo'lgan nuqtada joylashgan uzatuvchi antennali radiouzatgichdan iborat bo'ladi. Radioto'lqinlarning tarqalish trakti – uzatuvchi va qabul qiluvchi antennalar orasidagi muhit.

Qabullash-o'lchash trakti qabul qiluvchi antenna, radioqabul qilgich, demodulyator, bortdagi vaqt saqlagichi, signallarga birlamchi va ikkilamchi ishlov berish qurilmasidan iborat bo'ladi.

Shuni qayd qilish kerakki, radioapparaturada qo'llaniladigan sxemotexnik va texnologik echimlar qanday darajada rivojlangan bo'lishidan qat'iy nazar, RTT xarakteristikalarini yaxshilashning chegaraviy imkoniyati radioto'lqinlarning tarqalish sharoitiga bog'liq bo'lib qolaveradi.

RNT deganda o'zaro sinxronlashgan er usti yoki kosmik nurlatgich (uzatkich)lar va harakatdagi ob'ekt bortida hamda bort tashqarisida joylashirilgan bort qabul qilgichlaridan iborat radiotexnik kompleks tushuniladi.

RNT ma'lum bir ta'sir hududiga ega bo'lib, bu hudud harakatdagi ob'ektni navigatsion axborot bilan ta'minlash mumkin bo'lgan hudud (fazo) bilan aniqlanadi. Ushbu qurilmalarning o'zaro aloqasi (ta'siri) elektromagnit tebranish – radioto'lqinlar yordamida amalga oshiriladi.

Barcha zamonaviy RNTlarini qurish asosida radioto'lqinlarning ochiq fazoda $c = 3 \cdot 10^8$ m/c tezlik bilan tarqalish xususiyati yotadi. Shu sababli nurlatgichlardan koordinatalari aniq bo'lgan navigatsion mo'ljal (orientir) sifatida foydalanib, ob'ektdagi qabullash indikatorida nurlatkich tomonidan maxsus shakillantirilgan yuqori barqarorlikli elektromagnit maydonning u yoki bu parametrlarini o'lchash orqali ob'ektning joylashuvini aniqlash masalasini echish mumkin.

O'lchash natijasida zaruriy navigatsion axborotni qabullash indikatorida aks ettiruvchi radionavigatsion maydon parametri **radionavigatsion parametr** RNP deb ataladi. RNP radionavigatsion (elektromagnit) maydonning har qanday parametrlaridan biri bo'lishi mumkin. Elektromagnit maydon singari radionavigatsion maydon ham qabullash indikatoridagi signal amplitudasi, chastotasi, fazasi, shuningdek signalning kelish vaqti bilan xarakterlanadi. Shunga muvofiq, amplitudaviy, chastotaviy, fazaviy va vaqt RNTlarini yaratish mumkin.

O'z navbatida ob'ektning fazodagi o'rnini aniqlovchi va radionavigatsion parametr bilan aniq analitik bog'liqlik orqali bog'langan geometrik kattalikka **navigatsion parametr** deyiladi. Navigatsion parametrning aniq qiymatiga mos keluvchi nuqtalarning geometrik o'rni qandaydir yuzani tashkil qiladi. Ma'lumki yuza ko'rinishi ushbu RNTda qo'llaniladigan navigatsion parametr orqali aniqlanadi. Navigatsion parametrning olingan ikkita qiymati orqali aniqlanuvchi ikkita yuzaning kesishmasi izoliniyani hosil qiladi.

RNT aktiv va passiv ishlash rejimlariga ega. Aktiv rejimda – harakatdagi ob'ekt radioto'lqinni nurlatuvchi qurilmaga ega bo'ladi, bunga radiolokatsion stansiya misol bo'ladi. Passiv rejimda esa ob'ekt bortida radioto'lqinni nurlatuvchi qurilma bo'lishi (o'rnatilishi) talab etilmaydi.

6.2. Radionavigatsiya tizimlarining turlari

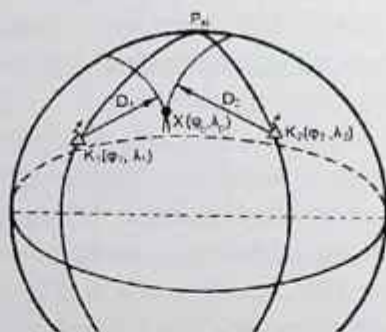
Radionavigatsiya tizimlari bir nechta belgilar asosida bir qator turlarga bo'linadi, bu belgilar quyidagilardir:

- RNT apparaturalarining joylashishi;
- foydalanilayotgan navigatsion parametr turi;
- qabullash indikatorida o'lchanayotgan radionavigatsion parametr turi;
- radioto'lqinlarning ishchi diapazoni;
- tizimning ta'sir uzoqligi.

RNT apparaturalarini joylashtirish belgisi asosida barcha RNTlarini ikkita: nurlatkich (uzatkich)lari er ustida joylashgan RNTlariga va nurlatkichlari kosmik apparatlarda joylashgan RNTlariga bo'lish mumkin. Nurlatkichlari kosmik apparatda joylashgan RNTlari **yo'ldoshli radionavigatsion tizimlar** (YRNT) deb yuritiladi.

Foydalanilayotgan navigatsion parametr turi bo'yicha RNTlari masofaviy, psevdomasofaviy, farq-masofaviy, radial-tezlikli tizimlarga bo'linadi. Ushbu usullarning kombinatsiyasidan foydalanilgan holatlar ham bo'lishi mumkin.

Radionovigatsiyada joylashuv o'rnida aniqlashning *masofaviy usuli* ikkita navigatsion mo'ljal (K_1 va K_2) gacha bo'lgan kamida ikkita masofani (D_1 va D_2) o'lchashga asoslangan. Navigatsion mo'ljal koordinatalari mos ravishda φ_1, λ_1 va φ_2, λ_2 ga teng (1.1-rasm).



6.1-rasm. Joylashuv o'rnini aniqlashning masofaviy usuliga misol

Ushbu holatda izoliniyalar aylana ko'rinishida bo'ladi (agar Yer yuzasini sferik deb hisoblasak), va ob'ektning joylashuv o'rnini aniqlash masalasi quyidagi ikkita tenglamani echish orqali amalga oshiriladi:

$$\begin{aligned} \cos D_1 &= \sin \varphi_1 \cdot \sin \varphi_0 + \cos \varphi_1 \cdot \cos \varphi_0 \cdot \cos(\lambda_1 - \lambda_0); \\ \cos D_2 &= \sin \varphi_2 \cdot \sin \varphi_0 + \cos \varphi_2 \cdot \cos \varphi_0 \cdot \cos(\lambda_2 - \lambda_0); \end{aligned} \quad (6.3)$$

Bunda ushbu tenglama bort qabullash indikatorini joylashgan X nuqtaning noma'lum φ_0 va λ_0 koordinatorlariga nisbatan echiladi.

Navigatsion axborot foydalanuvchilarining so'rov signallarini nurlatishga mo'ljallanmagan so'rovsiz variantli tuzilishga ega masofaviy tizim-

larda navigatsion parametrga ega bo'lishning texnik jihatdan amalga oshirilishi impulsi signalni navigatsion mo'ljaldan to qabullash indikatorigacha o'tish vaqtini yuqori aniqlik bilan aniqlash kerakligiga asoslangan, ya'ni navigatsion mo'ljaldan signal nurlatilgan vaqt (moment) t_0 ni va bort qabullash indikatorining signalni qabullash vaqti (momenti) t_1 ni bilish zarur. Bunda navigatsion mo'ljaldan qabullash indikatorigacha signalning o'tish vaqti $\tau = t_1 - t_0$ ga teng va demak, masofa $D = \tau \cdot c$ tenglamadan aniqlanadi, bunda c - radioto'lqinning tarqalish tezligi. Shunday qilib, ketma-ket t_1, t_2 vaqt oraliqlaridan D_1 va D_2 masofalarni aniqlash mumkin. Ammo, navigatsion parametрни, ya'ni ko'rilayotgan hol uchun D_1 masofani aniqlashda nafaqat qabullash indikatorini joylashgan nuqtaga signalning kelish vaqti t_1 ni qayd qilish (bilish), shu bilan birgalikda navigatsion mo'ljalning signal nurlatish vaqti t_0 ni ham bilish zarur. Bu esa bort qabullash indikatorida navigatsion mo'ljalning vaqt shkalasini ham saqlashga zaruriyat tug'diradi. Bunday texnik usulni amalga oshirish murakkab hisoblanadi, chunki qabullash indikatorining vaqt shkalasini navigatsion mo'ljalning vaqt shkalasi bilan yuqori sinxronligini ta'minlash talab etiladi.

Bort qabullash indikatorida navigatsion mo'ljal (NM)ning vaqt shkalasi yuqori barqarorlikli tayanch generatorlaridan foydalanish hisobiga qayta tiklanadi. Masalan, masofani o'lchashning 10 metrdan katta bo'lmagan aniqligini ta'minlash uchun NM va qabullash indikatorini tayanch generatorlarining chastota nisbiy nobarqarorligi 10^{-14} - 10^{-15} oralig'ida bo'lishi talab etiladi.

Hozirda masofaviy usulning modifikatsiyasi – *psevdomasofaviy usul* keng qo'llanilmoqda. Psevdomasofaviy usulni amalga oshirishda bort qabullash indikatorining vaqt shkalasi navigatsion mo'ljalda qo'llaniladigan yagona vaqt shkalasiga nisbatan ma'lum bir siljishga ruxsat etiladi, ammo bunda ushbu siljish navigatsion parametрning aniqlanish vaqtiga nisbatan ancha kichik va doimiy bo'lgan Δt qiymatgacha bo'lishi mumkin [21].

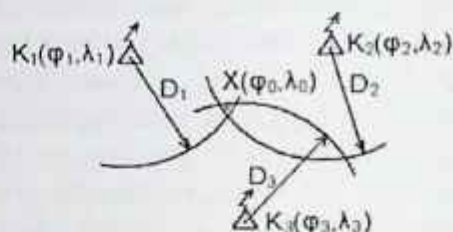
Psevdomasofaviy usul bort qabullash indikatorini tayanch generatorining uzoq vaqt barqaror bo'lishiga qat'iy talab qo'ymaydi, ammo shu bilan birga yagona tizimni tashkil etuvchi barcha navigatsion mo'ljalning yagona vaqt shkalasining mavjud bo'lishini taqazo etadi. Ushbu holatda navigatsion parametрning qiymati – psevdomasofa $\bar{D}$ navigatsion mo'ljalgacha bo'lgan haqiqiy masofa bilan quyidagicha bog'langan:

$$\bar{D} = D + c \cdot \Delta t.$$

Ushbu usulda yana bitta noma'lum qiymat (φ_0 va λ_0 dan tashqari) – Δt hosil bo'lganligi sababli, yana bitta qo'shimcha navigatsion mo'ljaldan yoki huddi o'sha navigatsion mo'ljaldan vaqt bo'yicha ketma-ket signallarni

qabul qilish talab etiladi. 6.2-rasmda uchta navigatsion mo'ljaldan signallarni qabul qilishga misol keltirilgan.

6.2-rasm. Uchta navigatsion mo'ljaldan signallarni qabul qilishga oid



Zamonaviy qabullash indikatorlarida ob'ektning joylashgan o'rnini aniqlash masalasi, ushbu holatda, tizim qabul qilgichining hisoblash qurilmasida (6.3) ko'rinishidagi uchta tenglamadan iborat sistemani echishga mos keladi, bunda (6.3) tenglamaning chap tomonida $\cos \bar{D}_i$, ($i = 1, 2, 3$) qiymatlarini olish kerak. Ushbu tenglamalar sistemasini echish natijasida, uchta navigatsion mo'ljaldan foydalanib nafaqat ob'ektning joylashuv o'ri koordinatalari φ_0 va λ_0 ni aniqlaymiz, balki bort qabullash indikatorini vaqt etalolining Δt xatoligi sababli yuzaga keluvchi masofani aniqlash sistematik xatoligi $s \cdot \Delta t$ ni baholash ham mumkin bo'ladi.

Psevdomasofaviy usul YESYdan foydalanilgan YNTlar: "NAVSTAR" (AQSH), "GLONASS" (Rossiya) va "GALILEO" (Evropa) tizimlarida qo'llanilgan.

Farq-masofaviy usul. Ushbu usulda navigatsion parametr sifatida vaqtni aniqlash emas, balki ikkita navigatsion mo'ljal orasidagi masofalar farqi ΔD dan foydalaniladi. (ΔD – etakchi va (ergashuvchi) etaklanuvchi stansiyalar deb nomlangan ikkita uzatuvchi stansiyalar – nurlatgichlar orasidagi masofalarning teng farqi).

Farq-masofaviy usulda, ob'ektning joylashuv o'rnini aniqlash uchun ikkita masofalar farqiga ega bo'lish kerak, ya'ni RNT signalini nurlatuvchi ikki juft nurlatgichlarga bo'lgan masofalar farqi $\Delta \bar{D}_i$, ($i = 1, 2$) ni o'lchash etarli hisoblanadi. Ushbu holatda bunday RNTidagi navigatsion mo'ljallarning minimal soni – uchta (bita stansiya umumiy – etakchi, qolgan ikkitasi etaklanuvchi stansiyalar) bo'lishi kerak.

Ma'lumki, $\Delta D = \text{const}$ shartni qanoatlantiradigan yer ustidagi nuqtalarning geometrik o'ri – fokusida RNT nurlatgichi joylashgan, sferik giperbolani tashkil qiladi. Sferik giperbola er sathi bilan kesishganda giperbolani hosil qiladigan izoliniya hosil bo'ladi. Shuning uchun farq-masofaviy tizimlar ko'pincha giperbolik tizimlar deb ham ataladi. Farq-

masofaviy tizimlarga "LORAN-C" (AQSH), "CHAYKA" (Rossiya) tizimlari kiradi.

Radial-tezlikli usul navigatsion axborot istemolchisining navigatsion mo'ljalga nisbatan yaqinlashish (uzoqlashish) tezligini o'lchashga asoslangan bo'lib, qabullash indikatorida navigatsion mo'ljaldan qabul qilingan signal chastotasining o'zgarishini aniqlashga imkon beradi. Ushbu o'zgarish dopler chastota siljishi hisoblanadi. Ushbu usul dopler turidagi "Tranzit" (AQSH) va "Sikada" (Rossiya) kichik orbitali YNTlarda qo'llanilgan.

Uchinchi belgi – o'lchanayotgan RNP turi bo'yicha RNTlari to'rtta asosiy sinfga – burchak o'lchovchi, vaqtli (impulsli), fazaviy va chastotaviy turlarga bo'linadi.

Burchak o'lchovchi RNTlarda amplitudaviy o'lchash usullari qo'llaniladi.

Impulsli RNTlar qabul qilinayotgan impulsli signalning kechikish vaqtini o'lchashga asoslangan.

Fazaviy RNTlarida bortdagi (ob'ektdagi) qabullash indikatorida RNTdan qabul qilingan signallar fazalarining kechikishini o'lchash amalga oshiriladi. Fazaviy o'lchash aniqligining yuqoriligi sababli fazaviy RNTlar kemalarning joylashuv o'rmini aniqlashda, gidrografiya va geodeziya keng qo'llaniladi. Ushbu turdagi tizimlarga "Dekka" (Buyuk Britaniya), "PCBT-1", "Bras", "Mars-75", "PCDH-20" (Rossiya) tizimlari kiradi. (PCBT – RNS высокой точности, PCDH – RNS дальней навигации).

Dengiz va havo transporti kemalarining navigatsiyasida kombinatsiyalangan – impuls-fazaviy RNTlar: "LORAN-C" (AQSH) va "PCDH-3" (CHAYKA) (Rossiya) lardan ham foydalaniladi.

Chastotaviy RNTlarga "Tranzit" (AQSH) va "Sikada" (Rossiya) dopler YNTlari misol bo'ladi.

RNTlari chastotalari diapazoni bo'yicha quyidagilarga bo'linadi:

- o'ta uzun to'lqinlar diapazoni ("PCDH-20", "Omega");
- uzun to'lqinlar diapazoni ("PCBT-1", "Mars-75", "PCDH-3", "Dekka", "LORAN-C");
- o'rta to'lqinlar diapazoni ("Bras", "LORAN-A");
- ultra qisqa to'lqinlar diapazoni ("Sikada", "GLONASS", "Tranzit", "NAVSTAR").

Ta'sir uzoqligi bo'yicha RNTlari quyidagilarga bo'linadi:

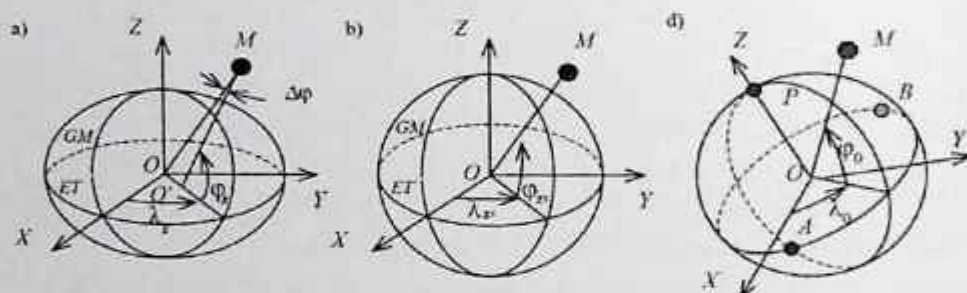
- global – yo'ldoshli navigatsiya tizimlari;
- uzoq navigatsiya tizimlari, maksimal uzoqligi 1500 mil atrofidagi ("LORAN-C", "PCDH-3", "PCDH-20");

- o'rta ta'sir uzoqligiga ega tizimlari – 500 milgacha ("PCBT-1", "Mars-75", "Dekka");
- yaqin masofa navigatsiya tizimlari – 100 milgacha ("Bras", "Xayfiks" turdagi maxsus yuqori aniqlikdagi gidrografik tizimlar).

6.3. Radionavigatsiyada qo'llaniluvchi koordinatalar tizimi

Navigatsiyada uchish apparatlari (UA) ning harakat marshrutlari asosida ularning joylashuv o'rnini (JO') aniqlashda global koordinatalar tizimi yoki mahalliy (lokal) koordinatalar tizimidan foydalaniladi.

Global koordinatalar tizimi obyektlarning joylashuv o'rnini Yer bilan aniq bog'langan uchta koordinatalar yordamida aniqlash imkonini beradi. Eng ko'p tarqalgan global koordinatalar tizimiga geografik, geosentrik va ortodromik tizimlar kiradi (6.3-rasm).



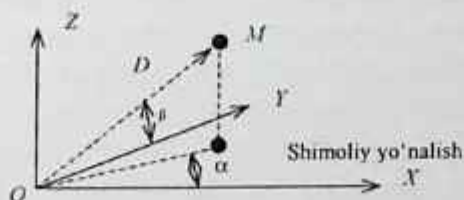
6.3-rasm. Global koordinatalar tizimi: a) – geografik, b) – geosentrik, d) – ortodromik.

Geografik koordinatalar tizimida (6.3a-rasm), Yer shakli ellipsoid ko'rinishda bo'lib, uning katta o'qi $b=6378,245$ km va kichik o'qi $a=6556,863$ km tashkil etadi. Ushbu ellipsoid *referens ellipsoid* deb ataladi. Obyektning joylashgan o'rni uchta kattalik bilan tavsiflanadi: geografik uzunlik λ_g , geografik kenglik φ_g va sirt yuzasi balandligi H . Geografik uzunlik λ_g Grinвич meridiani (GM) dan o'lchanadi. Geografik kenglik φ_g esa ekvator tekisligi (ET) va uchish apparati joylashgan M nuqta orqali o'tuvchi $O'M$ chizig'i (referens-ellipsoid sirtiga perpendikulyar bo'lgan) orasidagi burchak orqali o'lchanadi. H balandlik M nuqtadan to referens-ellipsoid sirtigacha bo'lgan masofani bildiradi. OM va $O'M$ chiziqlar birlari bilan mos kelmaydi va ular orasidagi $\Delta\varphi$ burchak nolga teng emas.

Geosentrik koordinatalar tizimida (6.3b-rasm) Yer radiusi $R=6371,032$ km shar shaklida bo'ladi. Ushbu tizimda UAning JO' geosentrik uzunlik λ_{gs} , geosentrik kenglik φ_{gs} va sirt yuzasi balandligi H bilan tavsiflanadi. Ma'lumki, $\lambda_{gs} = \lambda_g$ va $\varphi_{gs} = \varphi_g - \Delta\varphi$.

Ortodromik koordinatalar tizimida ham Yer shar shaklida bo'ladi. Ushbu tizimda *ortodromiya* tushuncha bo'lib, bu shar sirtidagi ikki nuqta orasidagi eng qisqa chiziq masofasidir. Ortodromiya berilgan ikki nuqta orqali o'tuvchi yer shari katta aylanasi yoyi bilan mos keladi. Ushbu koordinata tizimi quyidagi masalalarni yechishda qulay hisoblanadi. UA eng qisqa yo'l bilan A nuqtadan B nuqtaga yetib kelishi talab etiladi (6.3d-rasm). Berilgan holatda A va B nuqtalar orqali o'tuvchi katta aylana tekisligi ekvator tekisligiga to'g'ri keladi, Yer sharining ushbu aylanasi *asosiy ortodromiya* deb ataladi. Bunda UAning JO' ortodromik uzunlik λ_0 va ortodromik kenglik φ_0 bilan baholanadi. Ortodromik uzunlik λ_0 – bu burchak bo'lib, asosiy ortodromiya bo'ylab boshlang'ich A punktdan boshlab o'lchanadi. Ortodromik kenglik φ_0 ham burchak bo'lib, asosiy ortodromiya tekisligidan boshlab o'lchanadi (hisoblanadi). Yer shariga nisbatan ortodromik koordinatalar tizimining holati A nuqtaning geografik koordinatasi va yer sharining sirtini kesib o'tuvchi hamda O koordinataning boshlanishidan tiklangan asosiy ortodromiya tekisligiga perpendikulyar bo'lgan – R qutb holati bilan tavsiflanadi.

Mahalliy koordinatalar tizimi radionavigatsiyada obyektlarning JO' aniqlashda qo'llaniladi, qachonki o'lchanayotgan masofa Yer shari radiusidan kichik bo'lsa, ya'ni bir necha yuz kilometrdan katta bo'lmasa. Bunda Yer sirti tekis deb hisoblanib, bazaviy hisoblash tekisligi deb qabul qilingan (6.4-rasm). Koordinata o'qlaridan biri, shimol yo'nalishi bilan mos keladi. UAning holati azimut α , joylashish (ko'tarilish) burchagi β (yoki balandlik H) va uzoqlik (masofa) D bilan xarakterlanadi (6.4-rasm).

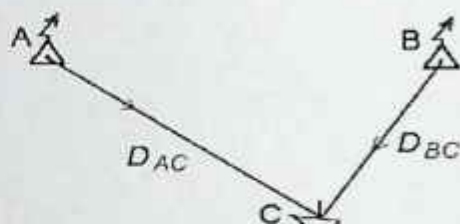


6.4-rasm. *Mahalliy koordinatalar tizimi*

6.4. Impulsli radionavigatsiya tizimlari, ularning ishlash prinsipi

Impulsli RNTlari deb ikkita A va B stansiyalarning sinxron nurlatilgan impulsli signallarini qabul qilish momentlari orasidagi vaqt farqini (Δt) o'lchash yo'li orqali navigatsion parametr (holat liniyasi) aniqlanadigan farq-masofaviy RNTlariga aytiladi (6.5-rasm).

6.5-rasm. Masofalar farqini aniqlashga doir



Stansiyadardan biri, masalan A stansiya etakchi (Master), ikkinchisi esa etaklanuvchi (Slave) hisoblanadi. Agar C kema va etakchi stansiya A orasidagi masofa D_{AC} , kema va etaklanuvchi stansiya B orasidagi masofa D_{BC} bo'lsa, impuls signallarni qabul qilish vaqtlari orasidagi farq quyidagicha teng bo'ladi:

$$\Delta t = \frac{D_{AC}}{c} - \frac{D_{BC}}{c} = \frac{D_{AC} - D_{BC}}{c} = \frac{\Delta D}{c},$$

yoki

$$\Delta D = c \cdot \Delta t,$$

bunda, ΔD – masofalar farqi; c – radioto'lqinning tarqalish tezligi.

Demak, vaqtlar farqi Δt ni o'lchash orqali stansiyalargacha bo'lgan ΔD masofalar farqiga ega bo'lamiz.

6.5. Pozitsion navigatsiya tizimlari

Samolyotlar, kemalarning joylashuv o'rnini aniqlashda, shuningdek suv osti kemalarining suv yuzasidagi, ostidagi va muz ostidagi holatlarining navigatsiya masalalarini echishda va jangovor harbiy maqsadlarda uzoq navigatsiya radiotexnik tizimlari (UNRT) muhim rol o'ynaydi. UNRTlari er usti jihozlari va ob'ektning bortdagi apparaturalari kompleksini o'z ichiga oladi.

Samolyot joylashgan o'rining koordinatalarini aniqlash prinsipi bo'yicha UNRTlari bu – farq-masofaviy radionavigatsiya tizimi bo'lib, holatlar chig'ig'i giperbola hisoblanadi (masofaning teng farqli chizig'i) va

shu sababli UNRTlari ko'pincha giperbolik radionavigatsiya tizimlari deb ham ataladi.

UNRTlari ishlash prinsipi bo'yicha quyidagilarga bo'linadi:

- *fazaviy* – UNRT-20 (“Marshrut”), “Omega” (AQSH 1997 yilda foydalanishdan chiqarilgan);
- *impuls-fazaviy* – UNRT-3/10, UNRT-4, UNRT-5, UNRT-10 va Loran-C (AQSH);
- *ko'p chastotali* – “Mars-75” (Rossiya);

UNRTlari joylashish prinsipi bo'yicha quyidagilarga bo'linadi:

- *statsionar* – UNRT-20, UNRT-3/10 (Evropa), UNRT-4 (Uzoq sharq), UNRT-5 (Shimoliy va shimoli-g'arbiy) va Loran-C (23 ta tizim);
- *mobil* – UNRT-10 (Shimoli-Kavkaz, Janubi-Ural, Sibir, Sayansk, Angars, Baykal orti va Uzoq Sharq) va “Mars-75” (Boltiq, Barenssevo, Qora, Oxotsk va Yapon dengizi).

UNRTlari 3-5 ta er usti stansiyalaridan iborat. Er usti UNRT radiotexnik, maxsus va aloqa jihozlari kompleksidan iborat katta quvvatli uzatish stansiyalaridan tashkil topgan. Statsionar (ko'chmas) UNRTlarining antenna-machta qurilmalari balandligi taxminan 460 m bo'lgan bitta machtadan yoki 250...350 m balandlikli 5-7 ta machtadan iborat inshoot shaklida bo'ladi.

UNRTlari samolyotlararo navigatsiyada va qo'nish radiotexnik vositalari bilan jihozlanmagan aerodromga qo'nish uchun kirishda qo'llanilishi mumkin. Samolyot joylashgan o'rning koordinatalarini aniqlash uchun kamida 3 ta er usti stansiyasi zarur. Masofani o'lchash usuliga bog'liq holda fazaviy va impuls-fazaviy UNRTlari bir-biridan farqlanadi [26].

6.5.1. Fazaviy radionavigatsiya tizimlari

Fazaviy radionavigatsiya tizimlarining ishlash prinsipi impulsli RNTlarining ishlash prinsipi kabi bir necha radiomayakgacha bo'lgan masofani ki masofalar farqini o'lchashga asoslangan. Tarkibi impulsli RNTlariga o'xshash bo'lgan javob qaytargichsiz fazaviy RNTlari nisbatan keng tarqalgan. Tayanch radiomayaklar kogerentligi maxsus sinxronizatsiya tizimi orqali ta'minlanadigan tebranishlarni nurlatadi. Ob'ekt (iste'molchi) bortida bir nechta radiomayaklarning signallari qabul qilinadi va identifikatsiyalanadi. Fazaviy RNTlarida ham boshqa javob qaytargichsiz RNTlari kabi iste'molchi (ob'ekt) koordinatalarini aniqlash uchun masofaviy, kvazimasofaviy va farq-masofaviy o'lchashlar qo'llanilishi mumkin. Masofaviy o'lchashda bortdagi vaqt shkalasi tayanch radiomayakning vaqt shkalasi bilan bir xil bo'ladi. Kvazimasofaviy o'lchashda vaqt shkalasi doimiy

bo'ladi, ammo vaqt shkalasining farqi noma'lum apriora ega bo'lib, bu navigatsion o'lchash jarayonida aniqlanadi. Farq-masofaviy o'lchashda ham vaqt shkalasining farqi radionavigatsion seans davrida o'zgarmas bo'ladi va radionavigatsion qabul qilishda signallarning fazaviy kechikish farqi sifatida aniqlanib kompensatsiyalanadi.

Fazaviy RNTlarining impulsli RNTlaridan farqi shundaki, fazaviy RNTlarida masofani o'lchash yoki masofalar farqini o'lchash fazaviy usulda amalga oshiriladi. Bortdagi fazometrning ko'rsatkichi $\Delta\varphi_\varphi$ unga kelayotgan tebranishlar orasidagi fazalar farqi $\Delta\varphi_\varphi < 2\pi$ bo'lganda radionavigatsion qabul baholashi bilan bir xil bo'ladi. Ushbu shart bajarilmasa fazalar farqi noma'lum n sonini ko'rsatadi.

Umumiy holda radionavigatsion qabullashda fazaviy usul orqali o'lchash bir xil (qiymatli) bo'lmaydi. Bitta $\Delta\varphi_\varphi$ qiymati holatlar chizig'i orqali aniqlanadi. Agar faza o'lchagich orqali o'lchangan qiymat $\Delta\varphi_\varphi = 0$ bo'lsa, u holda ob'ekt holatlar chizig'idan birida joylashgan, ammo aniq qaysi birida ekanligi noma'lum.

Sodda fazaviy RNTlarida fazaviy o'lchashlarning ko'p qiymatliligi ob'ektning koordinatalari ma'lum bo'lgan nuqtadan ko'chishida faza o'lchagichining ko'rsatkichidagi to'liq fazaviy sikllarning butun sonini uzluksiz hisoblash yo'li orqali bartaraf etiladi. Ammo, ko'p qiymatlilikning ushbu usuli ishonchli emas, chunki bortdagi o'lchagich sinxronizatorining qisqa muddatli ishdan chiqishi faza bog'liqlikning yo'qotilishiga olib keladi.

Ko'p qiymatlilikni yo'qotish (bartaraf etish)ning ko'p shkalali usuli keng tarqalgan bo'lib, uni amalga oshirish uchun aniq butun sonli munosabatda (bog'liqlikda) bo'lgan signallar bir nechta chastotalarda nurlatilishi kerak. Shuningdek qo'pqiymatlilikni bartaraf etuvchi usul: tashuvchi tebranishni amplituda bo'yicha modulyasiyalovchi funksiya to'g'risidagi axborotni jalb qilishga asoslangan usuldan ham foydalaniladi. Bu modulyasiyalovchi garmonik funksiya yoki qandaydir boshqa, masalan ma'lum shakldagi videoimpuls ko'rinishidagi funksiya bo'lishi mumkin. Bunda zaruriy shart shuki, modulyasiyalovchi funksiya va tashuvchi tebranish fazasi qat'iy sinxron bo'lishi kerak.

6.5.2. Impuls-fazaviy radionavigatsion tizimlar

Namuna sifatida LORAN-C va "CHAYKA" impuls-fazaviy RNTlarining zamonaviy holati va qo'llanilish rejimini ko'rib chiqamiz.

LORAN-C va "CHAYKA" impuls-fazaviy, er ustida joylashtirilgan farq-masofaviy RNTlari o'tgan asrning 40-chi va 50-chi yillarida bir vaqtda AQSH va sobiq SSSR harbiy kuchlari buyurtmasiga asosan boshlangan.

Dastlab ikkala tizim ham aviatsiya va harbiy dengiz floti qurolli kuchlarining harbiy maqsadlari uchun navigatsiyani ta'minlashga mo'ljallangan.

Ushbu tizimlarning yuqori taktik-texnik xarakteristikalarini (6.1-jadval) tufayli 70-yillardan boshlab ko'pchilik mamlakatlarning qishloq xo'jaligi va iqtisodiy masalalarini echishda qo'llanila boshlandi.

LORAN-C va "CHAYKA" RNTlari uzatuvchi stansiyalari apparatura-larining takomillashtirilishi natijasida ushbu tizimlar radioelektronikaning zamonaviy rivojlanish darajasiga chiqdi, va LORAN-C RNTining ko'pchilik stansiyalari yarimavtomatik rejimda ishlashi mumkin va unga navbatchi operatorning kuzatib turishi etarli.

6.1-jadval

RNTlarining taktik-texnik xarakteristikalarini

Xarakteristikalar	"CHAYKA"	LORAN-C
Ishchi chastota, kHz	100	100
Ta'sir uzoqligi, km: quruqlikda dengizda	1400...1800 1800...2000	
Uzatuvchi stansiyaning nurlatish quvvati, kVt	150...1000	200...1000
O'rtacha kvadratik xatolik, m: giperbolik rejimda joylashgan o'rni aniqlash belgilangan nuqtaga qayta chiqish	100...7000 10...45	230 dan ko'p emas
Bitta stansiyaning rad etmasdan ishlash ehtimolligi	0,999	
Uzatuvchi stansiyaning sutkalik nisbiy chastota nobarqarorligi	$5 \cdot 10^{-12}$	$3 \cdot 10^{-12}$

Hozirgi paytda LORAN-C impulsli RNT turli davlatlarning dengizdagi, havodagi va quruqlikdagi bir qator harbiy va fuqaro iste'molchilarini navigatsiya bilan ta'minlashda davom etmoqda. Dunyoda LORAN-C RNTining 26 ta zanjiri foydalanish jarayonida bo'lib, har bir zanjir 3-5 ta stansiyadan iborat, ba'zi stansiyalar bir vaqtda ikkita zanjir uchun ishlatiladi.

LORAN-C RNTi zanjirining ishlash hududi AQSH va Kanada hududini va Shimoliy Amerika qit'asining deyarli barcha sohilini, Shimoliy Atlantika, Skandinaviya va G'arbiy Evropani, Shimoliy dengiz va Norvegiya dengizini, Fransiyaning atlantik sohilini va Sharqiy Atlantikani, O'rtayer

dengizini, Tinch okeanining markaziy va shimoli-g'arbiy hududlarini, Xitoy Xalq Respublikasi chegarasining katta qismini, to'liq Arab yarim orollarini, Yaqin Sharq, Qizil dengiz, Fors ko'rfazining hududlarini, Adan ko'rfazi, Hindiston chearasining bir qismini qamrab oladi. LORAN-C RNTi zanjirlarining umumiy ishlash hududi 95 mln.km² dan oshadi.

Rossiyada "CHAYKA" tizimining 4 ta zanjiri foydalanilmoqda:

- *Evropa zanjiri*, tarkibida 5 ta stansiya bo'lib, undan 3 tasi Brensk shahri (etakchi), Petrozavodsk va Sizran hududlarida va ikkitasi Rossiya hududidan tashqarida – Slonim (Belarus Respublikasi) va Simferapol (Ukraina)da joylashgan;
- *Sharqiy zanjir*, tarkibida 4 ta stansiya bo'lib, Aleksandrovsk-Saxalinsk (etakchi), Petropavlovsk-Kamchatka, Ussuriya va Oxotsk shaharlari hududida joylashgan;
- Rossiya shimolida tarkibida 5 ta stansiya bo'lgan *2 ta zanjir* ishlatilmoqda, Dudinka shahri (etakchi), Taymilir qishlog'i, Pankrateva viloyati, Inta shahri (etakchi-ergashuvchi) va Tumanli qishlog'i hududlarida joylashgan, bunda 3 ta stansiya bir vaqtda ikkita zanjir uchun ishlaydi.

"CHAYKA" RNTining umumiy ishlash hududi taxminan 20 mln.km² atrofida.

Bundan tashqari Rossiyada o'rtacha quvvatdagi impulsli RNTlarining hududiy zanjirlari mavjud. Rossiya-Amerika qo'shma zanjiri "CHAYKA"/LORAN-C zanjirini yaratish ishlari yakunlandi. Uning tarkibida Petropavlovo-Kamchatka va Aleksandro-Saxalin shaharlaridagi ikkita Rossiya stansiyasi hamda Otto shahri (AQSH) dagi bitta Amerika stansiyasi mavjud.

LORAN-C RNTi eng keng tarqalgan er ustida joylashgan tizim bo'lib qolmoqda: uning dunyo bo'yicha foydalanuvchilari 2 mln dan ortiq bo'lib, yarmidan ko'pi AQSHda joylashgan. 6.6-rasmda CHAYKA va LORAN-C tizimlarining qamrov hududi ko'rsatilgan.

Hozirgi paytda Rossiya ishlab chiqaruvchilari tomonidan ishlab chiqarilayotgan CHAYKA RNTining qabul qiluvchi va indikatorli apparaturalarining hajmi va nomenklaturasi ko'p sonli foydalanuvchilarning talablarini qanoatlantira olmaydi. Hozirda CHAYKA/LORAN-C qabul qiluvchi-indikatorli apparaturalarining yangi namunalarini yaratish ustida ish olib borilmoqda.



6.6-rasm. CHAYKA va LORAN-C tizimlarining qamrov hududi

LORAN-C va CHAYKA impulsli RNTlarining ishlash prinsipini ko'rib chiqamiz.

100 kHz tashuvchi chastotada sakkizta (ergashuvchi stansiyalar) yoki to'qqizta (etakchi stansiyalar) impulsalaridan iborat guruh (to'plam) signalini nurlatuvchi LORAN-C va CHAYKA impulsli RNTlarining uzatuvchi stansiyalari zanjirlarga – stansiyalar guruhiga birlashtirilgan bo'lib, bu stansiyalar sinxronlashtirilgan impulsli signallarni bir xil takrorlanish chastotasi bilan uzatadi. Har bir zanjir bitta “yetakchi” va ikkita-to'rtta “ergashuvchi” uzatuvchi stansiyalardan tashkil topgan.

Impulsalar to'plamining takrorlanish chastotasi zanjirni tanib olish va ular orasidagi xalaqitlarni kamaytirish uchun qo'llaniladi. Impulsalar to'plamining takrorlanish intervalining qiymati 40000 dan 99990 mks gacha oraliqda 10 mks diskret qiymat bilan o'zgaradi.

Impulsli RNTi signalidan foydalanishning klassik rejimi standart farqmasofaviy (giperbolik) rejim hisoblanadi. Geometrik faktorga, uzatuvchi stansiya va foydalanuvchining o'zaro joylashuviga bog'liq holda ishlash hududining o'lchami va aniqlishi bo'yicha cheklangan bo'ladi. Shu sababli foydalanuvchilarning talab va maqsadlaridan kelib chiqib, impulsli RNT signallaridan foydalanishning boshqa rejimlaridan ham foydalanish keng tarqalgan, masalan: funksional teng qiymatli stansiyalar bilan ishlash rejimi,

masofaviy, differensial rejimlar, aralash zanjirlar bilan bir vaqtda ishlash rejimi.

Mavjud tizimlarning hech qaysi bi universal navigatsion vosita (tizim) hisoblanmaydi. GPS/GLONASS yoki LORAN-C/CHAYKA tizimlarining har biri o'zining afzallik va kamchiliklariga ega. Faqat shuni aytish mumkinki, impuls-fazaviy tizimlar yo'ldoshli RNTlariga qaraganda ancha tejankor hisoblanadi: bitta foydalanuvchiga bir yilda ketadigan xarajatlarni taqqoslasak GPS va LORAN-C RNTlari bir necha baravar farq qiladi.

CHAYKA va LORAN-C tizimlarining birgalikda ishlatilishi nafaqat Evropa va Uzoq Sharqda, balki CHAYKA/LORAN-C uzatuvchi stansiya-larining yangi zanjiri ishlayotgan yoki o'rnatilishi mumkin bo'lgan dunyo-niing boshqa hududlarida ham navigatsion ta'minlash sifatini oshirishning yangi qirralarini ochib beradi.

CHAYKA/LORAN-C RNT mavjud infrastrukturasi takomillash-tirishning boshqa yo'nalishi uni GPS, GLONASS, GNSS yo'ldoshli tizimlari uchun katta quvvatli tizimli kuchaytirgich sifatida foydalanish imkoniyati hisoblanadi. CHAYKA/LORAN-C tizimidan foydalanishning yana bir yo'nalishiga misol, EUROFIX (Niderlandiya) tizimining yaratilish ishlaridir. Ushbu tizim xizmat ko'rsatish kompleks tizimi bo'lib, GPS yoki boshqa yo'ldoshli tizim foydalanuvchilariga differensial tuzatishlar va boshqa ishonchli axborotlarni uzatish uchun LORAN-C RNT signalidan foyda-laniladi.

Xuddi shunday konsepsiya AQSHda yaratilayotgan LORAN-C tizimi bilan to'ldirilgan, GPS RNT hisoblanadigan LAGPS (Loran Augmented GPS) tizimiga kiritilgan.

Shuningdek Rossiyada ham CHAYKA RNT navigatsion kanali bo'yi-cha differensial tuzatishlarni uzatuvchi GLONASS RNTini yaratish ustida ish olib borilmoqda.

6.2-jadvalda kosmik va er ustida joylashtirilgan hozirda ishlatilayotgan va istiqbolli navigatsiya tizimlari keltirilgan.

Navigatsiya tizimlarining turlari

Navigatsiya tizimlari		
<u>Yo'ldoshi</u>	Tarixiy	 <u>Transit</u>  <u>Sikada/Siklon</u>
	Amaldagi global	 <u>Galileo</u>  <u>GPS</u>  <u>Beydow/BDS</u>  <u>GLONASS</u>
	Amaldagi hududiy	 <u>DORIS</u>  <u>IRNSS</u> • <u>QZSS</u>
<u>Er usti</u>	 <u>Omega</u>  <u>Alfa</u>  <u>Loran-C</u>	
	 <u>Chayka</u>  <u>Decca</u>  <u>Consol</u>  <u>DORIS</u>	
<u>Differensial tuzatishli tizimlar</u>	 <u>WAAS</u>  <u>SDKM</u>  <u>EGNOS</u>	
	 <u>SNAS</u> • <u>MSAS</u>  <u>GAGAN</u>	

6.6. Yo'ldoshi radionavigatsion tizimlar

Yer usti RNTlarida qo'llaniladigan navigatsion o'lchash prinsiplari, signallarga ishlov berish statistik usullari va boshqa texnik yechimlar yo'ldoshi radionavigatsion tizim (YRNT)larni loyihalash uchun ilmiy-texnik asos bo'lib xizmat qildi. Bunda navigatsion signal manbaining tashuvchisi Yer sun'iy yo'ldoshi (YESY) – navigatsion kosmik apparat (NKA) hisoblanadi.

Soniyasiga bir necha kilometr tezlikda harakatlanuvchi ob'ektning navigatsion signal manbai sifatida qo'llanilish imkoniyati NKA orbitasi va uning harakat parametrlarini prognozlash va yuqori aniqlik bilan nazorat qilish, ya'ni har qanday vaqt momentida aniq bo'lishiga asoslangan.

YESYdan navigatsion foydalanish sohasidagi birinchi ishlar 1957 yilda birinchi YESYning uchirilishi bilan bir vaqtda e'lon qilindi. 1958-1959 yillarda YRNT birinchi avlodining texnik qiyofasini aniqlashtirishga doir ishlar olib borildi. Ushbu ishlar "Sikada" (SSSR) va "Tranzit" (AQSH) kichik orbitali tizimlarida olib borilgan. Sikada tizimi 4 ta NKAni, Tranzit tizimi esa 6 ta NKAni o'z ichiga olgan [32].

6.6.1. Birinchi avlod YRNTlarining tuzilish prinsipi va ishlatilishi

1957 yilda akademik V.A. Kotelnikov boshchiligidagi bir guruh sovet olimlari koordinatalari ma'lum bo'lgan qabullash nuqtasida YESYdan nurlatilgan signalning dopler siljish chastotasini o'lchash natijasi asosida YESYning harakat parametrlarini aniqlash mumkinligini tajribada isbotlashdi.

Shuningdek masalaning aksincha echimini, ya'ni harakat parametri ma'lum bo'lgan YESYdan nurlatilgan signalning o'lchangan dopler chastota siljishi bo'yicha qabul nuqtasining koordinatalarini aniqlash mumkinligini qayd qilishdi.

Koordinatalari o'zgaruvchan bo'lsa ham har qanday vaqt momenti uchun oldindan aniq bo'lgan YESYning radionavigatsion tayanch stansiya sifatida qo'llanilishi YRNTning birinchi avlod loyihalarini yaratishga imkoniyat yaratdi. Birinchi avlod YRNTlarining o'ziga xos jihati kichik balandlikli (orbitali) YESYdan foydalanish va radioko'rinish hududidagi bitta YESYning signalidan navigatsion aniqlash uchun foydalanish hisoblanadi.

Kichik orbitali "Tranzit" YRNTlarini ko'rib chiqamiz. Tarkibi 5 yoki 6 YESY, er usti nazorat kompleksi va foydalanuvchilar apparatlaridan iborat. YESY balandligi 1100 km atrofida bo'lgan doiraviy orbitada joylashgan bo'lib, aylanish davri 107 minutni tashkil qiladi. Orbitaning bunday parametrlarida har bir YESY foydalanuvchining radioko'rinish hududida (radiusi 2000 km ga etadigan) 10 minutdan 16 minutgacha bo'lishi mumkin.

Shunday qilib, kichik orbitali YRNTlari quyidagi ikkita muhim kamchilikka ega: ob'ekt koordinatalarini aniqlashning kichik aniqligi va kuzatishlar orasidagi vaqt intervalining kattaligi.

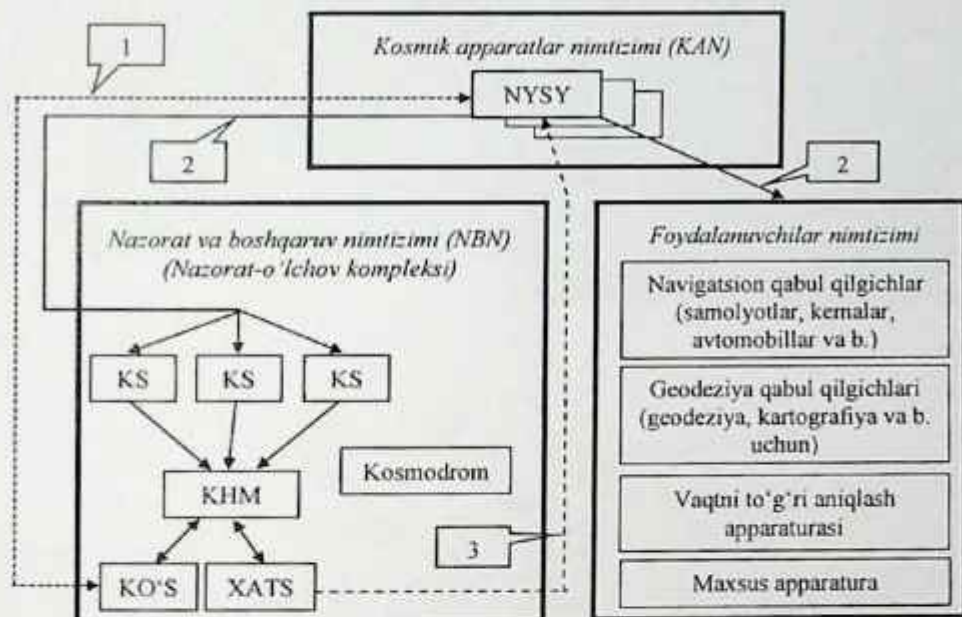
6.6.2. Ikkinchi avlod YRNTlarining tuzilishi va ishlash prinsipi

Ikkinchi avlod YRNTlarining o'ziga xos jihati o'rta balandlikli (o'rta orbitali) YESYdan foydalanish va YESYning radioko'rinish hududida bir vaqtda joylashgan bir nechta YESY signallaridan navigatsion aniqlash uchun foydalana olish hisoblanadi. YRNTlari tarkibi:

- kosmik apparatlar nimitzimi;
- nazorat va boshqaruv nimitzimi (er usti komanda-o'lchov kompleksi);
- foydalanuvchilar apparaturalarining nimitzimidan iborat (6.7-rasm).

GLONASSning birinchi yo'ldoshi Sovet ittifoqi tomonidan 1982 yil 12 oktyabrda orbitaga chiqarilgan. 1993 yil 24 sentyabrda tizim foydalanishga rasman qabul qilingan. 1995 yilda yo'ldoshlar guruhi 24 ta apparatga etdi

(6.8-rasm). Yetarlicha moliyalashtirish bo'lmaganligi sababli ishlaydigan yo'ldoshlar soni kamaydi.

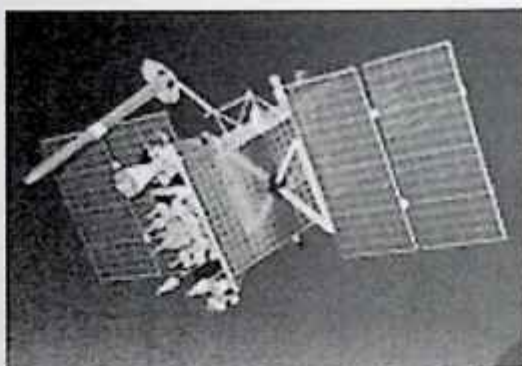
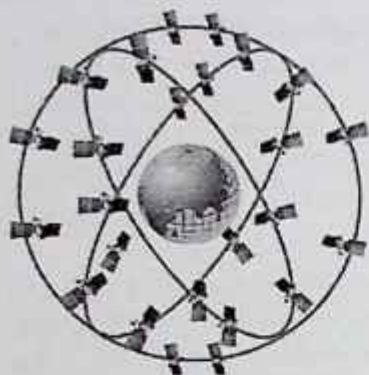


6.7-rasm. Ikkinchi avlod YRNT:

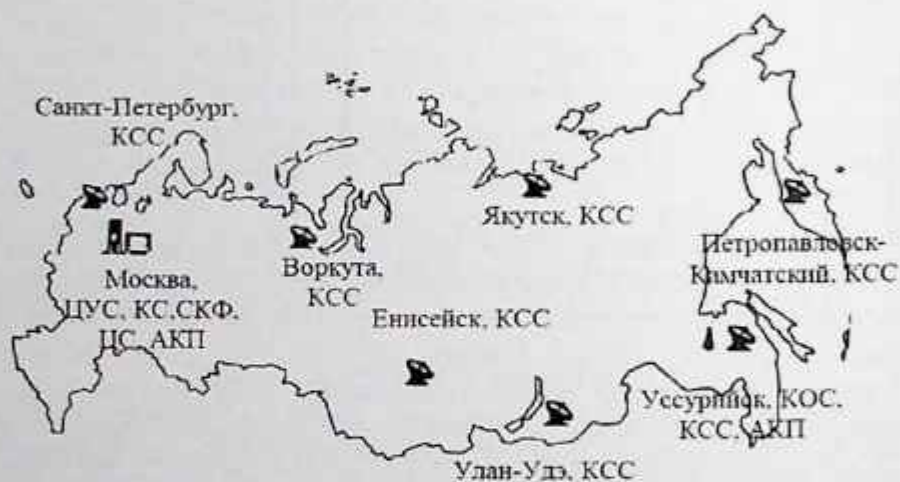
KS – NYESYni kuzatish stansiyasi; KHM – koordinatsion-hisoblash markazi; KO'S – komanda-o'lchov stansiyasi; NYESY – navigatsion YESY; XATS – xizmat axborotlari bilan ta'minlash stansiyasi; 1 – telemetriya va boshqaruv komandalari; 2 – yo'ldoshlarning navigatsion signallari; 3 – xizmat axborotlari.

2008 yil 25 dekabrda kelib, amaldagi (ishlaydigan) yo'ldoshlar soni 18 taga etdi, bu esa Rossiya hududini 100% li uzluksiz navigatsiya bilan ta'minlashga etarli edi. Hozirda tizimdagi yo'ldoshlar soni 24 taga etgan va bu butun Yer sharini uzluksiz navigatsiya qilish uchun etarli.

Yo'ldoshli RNTlaridan yana biri – GPS tizimi (Navigation System With Time and Ranging Global Positioning System (NAVSTAR GPS), AQSH) (6.9-rasm) 1970 yillarda ham harbiy soha ham fuqarolar uchun foydalanishdagi tizim sifatida yaratildi. Uning yaratilishi fan, texnika va texnologiya rivojlanishini e'tiborga olgan holda amalga oshirildi, va natijada ham harbiy va ham fuqarolar foydalanuvchilari uchun navigatsiyada joylashuv o'rnini aniqlash jahon standarti sifatida hamda vaqt va chastotani shakllantirish tizimida ishlatilib kelinmoqda.



a)



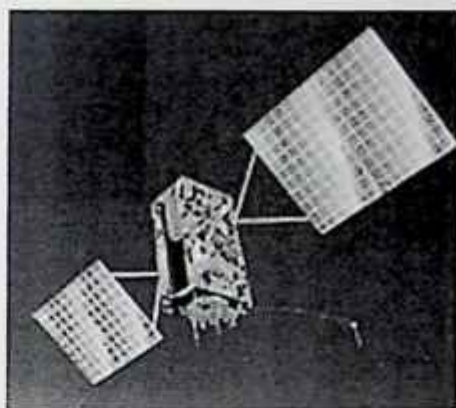
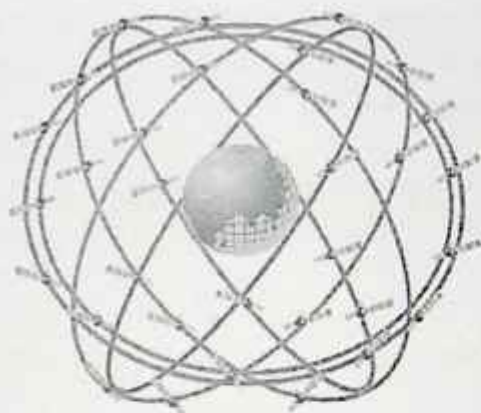
b)

6.8-rasm. *GLONASS* tizimi:

- a) – *GLONASS* yo'ldoshli navigatsiya tizimi va yo'ldoshi;
 b) – *GLONASS* tizimi nazorat va boshqaruv stansiyalarining joylashuvi.

GLONASS tizimi er usti segmentlarining statsionar elementlari:

- ЦУС – *GLONASS* tizimi boshqaruv markazi;
- ЦС – markaziy sinxronizator;
- КС – nazorat stansiyasi;
- СКФ – fazani nazorat qilish tizimi;
- КОС – kvant-optik stansiyasi;
- АКП – uchishni nazorat qilish apparaturasi;
- КСС – kuzatish komanda stansiyasi;
- Yo'ldosh bort qurilmalarining ishlashini kuzatuvchi boshqa stansiyalar.



a)



6.9-rasm. GPS tizimi:

a) – NAVSTAR/GPS yo‘ldoshli navigatsiya tizimi va yo‘ldoshi;
 b) – NAVSTAR/GPS tizimi nazorat va boshqaruv stansiyalarining joylashuvi:

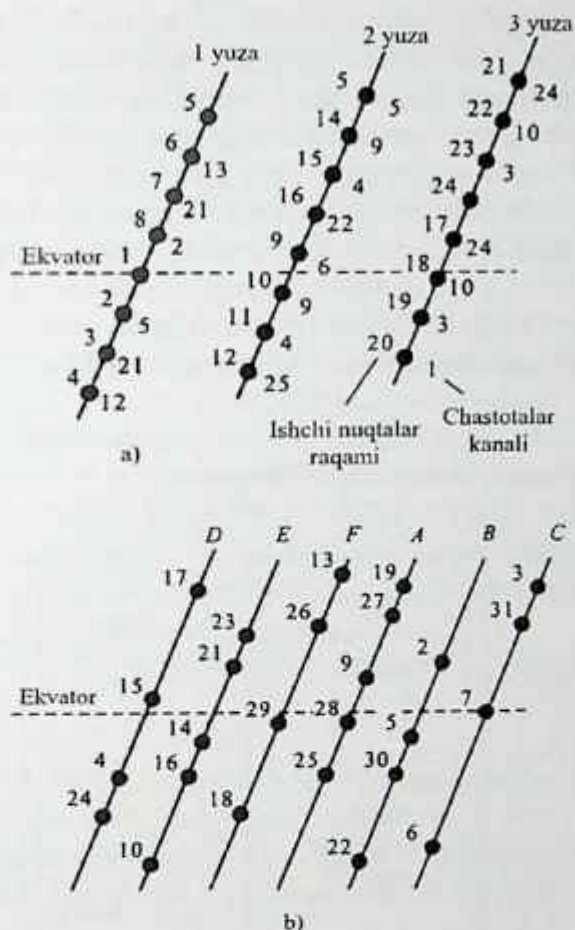
- – kuzatuv stansiyalari;
- – asosiy (bosh) kuzatuv stansiyasi;
- ▲ – er usti antennalari.

6.3-jadvalda GLONASS va GPS YRNTlarining asosiy umumtizim xarakteristikalari keltirilgan. 6.10-rasmda esa kosmik navigatsion apparatlarning orbitalar bo'yicha joylashuvi keltirilgan.

6.3-jadval

GLONASS va GPS YRNTlarining asosiy xarakteristikalari

Parametr, usul	GLONASS	GPS
Navigatsion yo'ldosh soni (zahira)	24(3)	32(3)
Orbitalar soni	3	6
Orbitadagi navigatsion yo'ldoshlar soni	8	4-6
Orbita turi	aylana	aylana
Orbita balandligi, km	19100	20200
Orbita qiyaligi, gradus	$64,8 \pm 0,3$	55 (63)
Navigatsion yo'ldoshning aylanish davri	11 soat 15 daq 44 soniya ± 5 soniya	11 soat 58 daq
Navigatsion yo'ldosh signallarini ajratish usuli	Chastota bo'yicha	Kod bo'yicha
Navigatsion radiosignallarning tashuvchi chastotasi, MHz:		
L ₁	1602,5625...1615,5	1575,42
L ₂	1246,4375...1256,5	1227,6
Tasodifiysimon xabar (masofaviy kod yoki uning segmenti) ning takrorlanish davri	1 ms	1 ms (C/A-kod) 7 kun (P-kod)
Tasodifiysimon xabarning takt chastotasi, MHz	0,511	1,023 (C/A-kod) 10,23 (P, Y-kod)
Raqamli axborotni uzatish tezligi, bit/s	50	50
Superkadr davomiyligi, min	2,5	12,5
Superkadrda kadr soni	5	25
Kadrda qatorlar soni	15	5
Vaqt hisoblash tizimi	UTC(SU)	UTC(USNO)



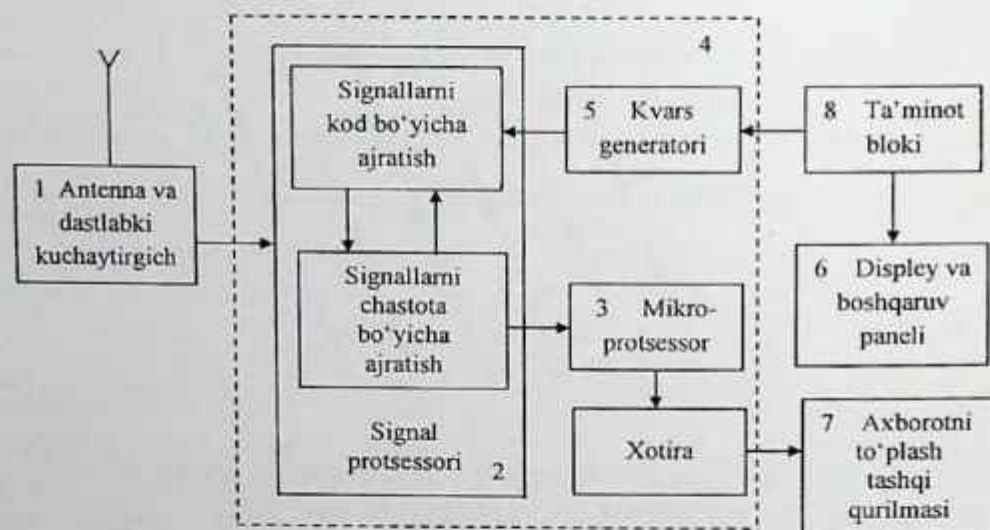
6.10-rasm. Navigatsion kosmik apparatlarning orbitalar bo'yicha joylashuvi: a) – GLONASS; b) – GPS.

6.6.3. YRNT foydalanuvchilari apparaturalarining tuzilish prinsipi

Ikkinchi avlod YRNTlarining foydalanuvchilari qatoriga yer usti ob'ektlari (harakatdagi va harakatsiz), uchish apparatlari va boshqalar kiradi. Foydalanuvchining aniqlik xarakteristikalariga bo'lgan talabiga, o'lchana-digan koordinatalar soniga, tezligiga, sinxronlashga kirishishning ruxsat etilgan vaqtiga, hamda tannarxiga bog'liq holda foydalanuvchi apparatlari turlicha bo'ladi. Yer usti va dengiz ob'ektlari uchun ikkita koordinata va tezlikning ikkita tashkil etuvchisini o'lchash bilan cheklanish etarli hisoblanishi mumkin. Uchish apparatlari uchun o'lchanadigan koordinatalar va tezlikning tashkil etuvchilari soni uchtagacha bo'lishi talab etiladi. Shu sababli bort apparaturalarining modifikatsiya nomenklaturasi etarlicha keng.

Foydalanuvchi apparaturasi echishi lozim bo'lgan asosiy masala quyidagilar hisoblanadi: YESYning ishchi yo'ldoshini tanlash, YESYning navigatsion signalini qidirish va tanish, kuzatish tizimining masofaviy signal tashuvchi chastotasining kechikish vaqti va fazasi bo'yicha sinxronlash holatiga kirishi, signallarning vaqt bo'yicha kechikishi va dopler siljishini o'lchash, navigatsion (axborot) xabarini ajratish va tarkibini rasshifrovkalash, navigatsion o'lchash momentida YESYning koordinatalarini hisoblash, navigatsion masalalarni (foydalanuvchilarning koordinatalari va tezlik vektorining tashkil etuvchilarini aniqlash, vaqt va chastota shkalasining siljishiga tuzatish kiritish) echish, hisoblangan axborotni ekranda aks ettirish.

Foydalanuvchi apparaturasi qabullash qurilmasining soddalashtgan strukturaviy sxemasi 6.11-rasmda keltirilgan.



6.11-rasm. Navigatsion tizim qabullagichining struktura sxemasi:

1 – antenna va dastlabki kuchaytirgich; 2 – signal identifikatori va chastotalarni kanallar bo'yicha taqsimlash; 3 – qabullagich ishlashini boshqaruvchi mikroprotssessor; 4 – qabul qilingan axborotni rasshifrovkalash, absolyut koordinatalarni hisoblash va qabullagich sifatiga tuzatish kiritish, faza o'lchashni amalga oshirish; 5 – barqaror kvars generatori; 6 – displey va boshqaruv paneli; 7 – axborotni yozish va saqlash uchun xotira bloki; 8 – ta'minot bloki.

GLONASS va GPS dan birgalikda foydalanishga mo'ljallangan dastlabki foydalanuvchi yo'ldoshli navigatori 2007 yil 27 dekabrda sotuvga chiqarilgan, va bu Glospace yo'ldoshli navigatori edi.

GLONASS yo'ldoshlarining gorizontdan ko'rinadigan soni 4 tadan ko'pni tashkil etadi. Glospace qurilmasi ob'ektning joylashuv o'rini aniqlay olishi uchun GLONASS tizimining kamida 3 ta yo'ldoshi ko'rinish hududida bo'lishi etarli. Bundan kelib chiqadiki, yer usti foydalanuvchilarining joylashuv o'rini aniqlash uchun tizim to'liq layoqatli.

Ishlab chiqarish hajmi oyiga bir yarim-ikki ming navigatorni tashkil etadi. GLONASSning muhim muammosi elektron kartalarning etishmasligi bo'lganligi sababli, GLONASSga ajratiladigan asosiy mablag'lar dasturning aynan ushbu yo'nalishiga qaratilgan.

Rossiyada navigatsion apparaturani o'nlab korxonalar ("КБ НАВИС" YoAJ, "ПИПБ" OAJ, "МКБ КОМПАС" FDUK, "НИИ КИТ" FDUK va boshqalar) ishlab chiqarmoqda. GLONASS/GPS professional qo'shma apparatura ko'plab ishlab chiqaruvchilar, shu jumladan chet el ishlab chiqaruvchilari tomonidan ishlab chiqarilmoqda.

Misol sifatida CH-3001 yo'ldoshli radionavigatsion apparaturani ko'rib chiqamiz.

CH-3001 apparaturasi:

- GLONASS va GPS tizimi NKAlari radiosignallari asosida Yer sharining istalgan nuqtasida, istalgan vaqt momentida, meteosharoitga bog'liq bo'lmagan holda ob'ektning joylashuv o'rni koordinatalarini, yo'nalish tezligining vaqti va vektorini uzluksiz aniqlash;
- navigatsion parametrlarni aks ettirish va ularni standart interfeys RS232 orqali tashqi foydalanuvchilarning avtomatlashtirilgan ish joyiga uzatish uchun mo'ljallangan.

CH-3001 apparaturasining asosiy xarakteristikalari 6.4-jadvalda keltirilgan.



6.12-rasm. CH-3001 qabullash indikatorining old ko'rinishi

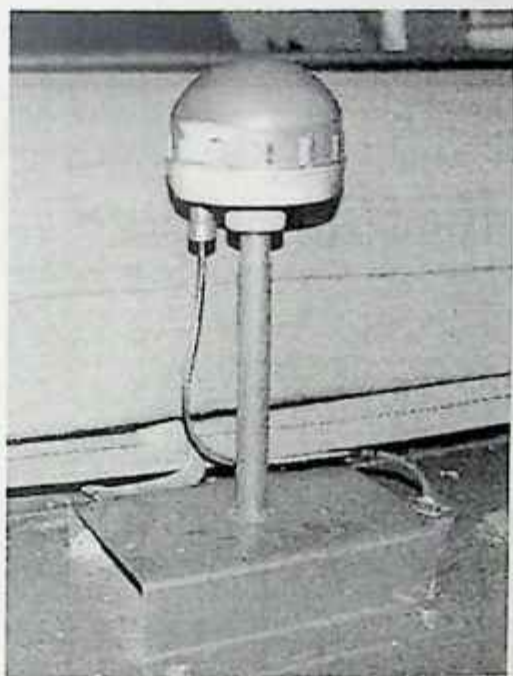
CH-3001 apparaturasining asosiy xarakteristikalar

Texnik xarakteristikalar	Qiymati
Navigatsion parametr joriy qiymatini aniqlashning o'rtacha kvadratik xatoligi	
- YNT bo'yicha ishlashda joylashuv o'rni koordinatalari, m:	
GLONASS;	40
GPS;	30
GPS/GLONASS;	20
- Balandlik bo'yicha, m	80
- YNT bo'yicha ishlashda tezlik vektori, m/s:	
GLONASS;	0,5
GPS;	0,1
GPS/GLONASS	0,1
Koordinatalarni olish vaqti, min	1,5...5 dan kichik
YRNT bilan tarmoqqa kirish vaqti, min	1 dan kam
24 dB gacha bo'lgan xalaqitda signalni qabul qilish ehtimolligi	0,9
Parametrlarni aniqlash sharti:	
- foydalanuvchining harakat tezligi, km/s	180
- aylanishlar burchak tezligi, ayl/s	5
- YNT signalini qabullashjoylashuv burchagi, grad	7

Apparatura butunjahon koordinatsiyalangan vaqt (UTC) bo'yicha yoki operator tomonidan kiritiladigan joriy vaqtga tuzatish kiritishni hisobga olgan holda ishlaydi. Ma'lumotlarni yangilash vaqti – 1s.

CH-3001 apparaturasining tarkibi:

1. Qabullash indikator (6.12-rasm).
2. Antenna bloki (6.13-rasm).
3. Tarmoq adapteri.
4. Akkumulyator bloki
5. Zaryadlash qurilmasi.
6. Kabellar komplekti.
7. Shtativ.
8. G'ilof.
9. Jild.
10. ZIP-0 (bitta komplekt).
11. Foydalanish bo'yicha xujjatlar kompleksi.
12. Jamlash qutisi.



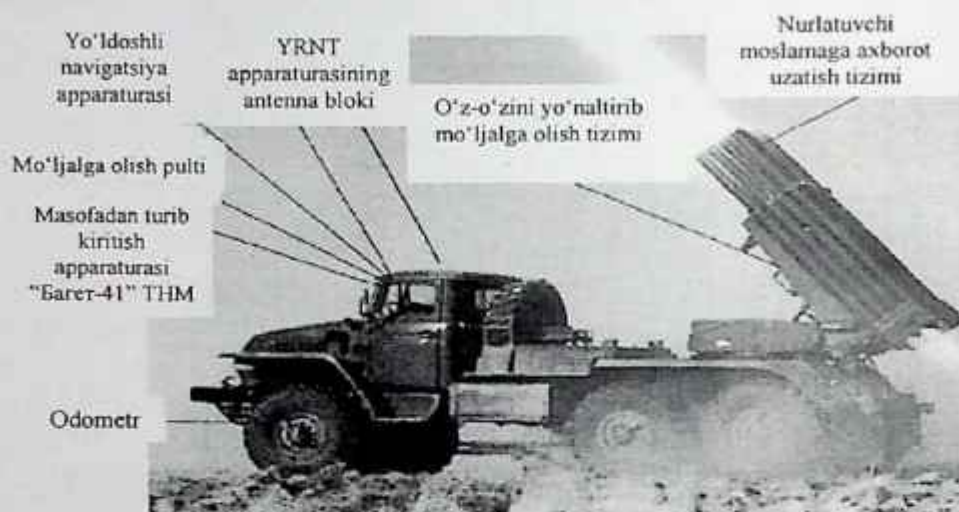
6.13-rasm. *Antenna bloki*

Apparaturaning tashish uchun mo'ljallangan jamlash qutisidagi (o'ralgan holdagi) to'liq og'irligi – 7kg.

CH-3001 apparaturasining ta'minoti 27 V kuchlanishli doimiy tok bilan amalga oshiriladi. Shuningdek ta'minot tarmoq adapteri orqali 110, 127...220 V kuchlanishli va 50, 400 Hz chastotali bir fazali o'zgaruvchan tok tarmog'i orqali amalga oshirilishi mumkin. 10...30 V kuchlanishli va 1 A dan kichik bo'lmagan doimiy tok tarmog'i orqali ta'minot ham ko'zda tutilgan.

CH-3001 apparaturasi turli ob'ektlarda o'rnatilishi mumkin, masalan, 122-mm li baravariga o't ochish reaktiv tizimi (BO'RT) 9K51 "Град" (BM-21) tizimida (6.14-rasm).

Masalan, "Тропа" kichik tashqi o'lchamli navigatsion-bog'lovchi kompleks (KO'NBK) jangchini shaylash uchun (6.15-rasm, 6.5-jadval), "Бор" komplekti (6.16-rasm) esa harakatdagi ob'ektlarni (inson, avtoashina, kichik kemalar) o'zining joylashuv o'rni to'g'risidagi axborotni dispetcherlik punktiga uzatish orqali real vaqt masshtabida avtonom navigatsiya va kuzatib borish masalasini echishga mo'ljallangan.



6.14-rasm. 122-mm li baravariga o't ochish reaktiv tizimi 9K51 "Grad" (BM-21)



6.15-rasm. "Tpona" kichik tashqi o'lchamli navigatsion-bog'lovchi kompleks

"Tpona" KO'NBKning asosiy texnik xarakteristikalar

Xarakteristikalar	Qiymat
Koordinatani aniqlash aniqligi, m	3
Navigatsion axborotning yangilanish chastotasi, Hz	1
Avtonom ishlash vaqti, soat	10
Harorat rejimi, °C	-10 dan +70 gacha
Og'irlik (komplekt), kg	0,5 (0,8)

Yechiladigan asosiy masalalar: navigatsion (marshrut (yo'nalish) o'tkazish va u bo'yicha harakat nazorati); radiostansiyaning ishlash hududida uzluksiz aloqani ta'minlash; sinliq (bo'lak) liniyalar bo'yicha yig'indi masofani o'lchash; yo'nalishda dasturiy-ovozli kuzatib borish; bosib o'tilgan yo'lni ko'rishni ta'minlash; kartaga ro'yxatda mavjud bo'lgan qo'shimcha ob'ektlarni kiritish imkoniyati.

"Tpona" komplektiga: portativ UQT-radiostansiyasi; navigatsion va telemetrik axborotlar registratori (NTAR) GPS-antenna bilan; elektron-kartografiya tizimiga ega personal cho'ntak kompyuteri; 10 soatga etadigan avtonom ta'minot manbai.

Navigatsion va telemetrik axborotlar registratorini radiostansiyaga ulanishi jangchining joylashuv o'rni g'aqidagi axborotni mikrokopyuterga va komanda punktiga efir orqali uzatishni ta'minlaydi.

Kichik tashqi o'lchamli navigatsion-bog'lovchi kompleks tarkibiga turli standart va protokollarga ega radiostansiyalar kirishi mumkin, bu esa qisqa to'lqin, sotali aloqa, "Globalstar" yo'ldoshli aloqa va ultra qisqa to'lqin, hamda tranking aloqasi bo'yicha ma'lumotlarni uzatish va so'zlashuvlarni amalga oshirishga imkon beradi.

"Bot" dengiz komplekti quruqlikda ham sumkaga yoki qutqaruv nimchasining tarkibiga joylashishi mumkin.

Yana bitta ishlanma GLONASS/GPS foydalanuvchi kichik o'lchamli navigatsion apparaturasi (FKO'NA) "Гпот-М" 14S822 6.17-rasmda keltirilgan. "Гпот-М" 14Q822 FKO'NA GLONASS va GPS kosmik navigatsion tizim signallari orqali foydalanuvchining joylashuv o'rni koordinatalari, harakat yo'nalishi tezligi va kursini aniqlash uchun mo'ljallangan.



6.16-rasm. "Бор" KO'NBK



6.17-rasm. "Грот-М" FKO'NA

Tarkibi:

- navigatsion antenna o'rnatilgan navigatsion qabullagich;
- tashqi navigatsion antenna;
- ta'minot tarmoq adapteri;
- zaryadlash qurilmasi;
- zahira akkumulyator bloki;
- g'ilof;
- xujjatlar.

14I822 apparaturasining asosiy xarakteristikalarini 6.6-jadvalda keltirilgan.

CK-42 va CK-95 koordinatalar tizimi 2021 yil 1 yanvargacha qo'llaniladi, undan keyin ПЗ-90, WGS-84 tizimlarga qo'shicha GSK-2011 tizimi qo'llaniladi.

"Ipom-M" FKO'NAsining asosiy texnik xarakteristikalar

Xarakteristikalar	Qiymatlar
1. Qabul qilinayotgan kanal chastotalar diapazoni, GHz	1,6
2. Qo'llaniladigan yo'ldoshli signallar turi	ИТ va BT-kod (GLONASS), C/A-kod (GPS)
3. Mustaqil (parallel) qabullash kanallari soni	12
4. Birinchi aniqlash vaqti; - sovuq start, min - issiq start, s	3 25
5. Koordinatalarni yangilash chastotasi, s	1
6. Koordinatalar sistemasi	ПЗ-90, WGS-84, CK-42, CK-95
7. To'xtab turganda (harakatda) GLONASS bo'yicha ishlashda aniqlashning chegaraviy xatoligi: - joylashuv o'rni koordinatalari, m - tezlik vektorining tashkil etuvchilari, s	10 (15) 0,05
8. Amalga oshiriladigan funksiyalar: - GLONASS va/yoki GPS NKAlar yulduzini (yo'ldoshini) avtomatik yoki operator ko'rsatmasi bo'yicha tanlash; - NKAdan uzatilayotgan xizmat axborotlarini avtomatik qabul qilish; - GLONASS va/yoki GPS NKA bo'yicha ishlash; - avtomatik hisob-kitob, ekranda aks ettirish va joylashuv o'rni koordinatalarini, joriy vaqt tezligi va qiymatini tashqi foydalanuvchilarga uzatish; - maxsus servis masalalari paketi.	
9. Tashqi foydalanuvchilar bilan axborot almashish interfeysining turi	RS-232 ning 2 ta porti
10. Differensial uzatmalarni qabullash va uzatish	
11. Bitta koplekt akkumulyator orqali uzluksiz ishlashvaqti, soat	8
12. Elektr ta'minot manbai	18 V li akkumulyator bloki, tarmoq adapteri
13. Iste'mol quvvati, Vt	3,5
14. FKO'NA og'irligi (akkumulyator bloki bilan birgalikda), kg	0,75/0,8
15. Tashqi o'lchamlari, mm	225x72x37

ИТ – standart kod; BT – yuqori aniqlikdagi kod.

6.7. GLONASS global navigatsion yo'ldoshli tizimi



GLONASS tizimining texnik xarakteristikalar

GLONASS tizimining xizmatlari

GLONASS tizimi foydalanuvchilarga ikki turdagi xizmatlarni taqdim etadi – standart va yuqori aniqlik.

Standart aniqlik xizmatlari foydalanuvchilarga L-diapazonida standart aniqlik signallarini uzatish orqali taqdim etadi. "GLONASS-M" ning har bir kosmik apparati chastota bo'yicha ajratilgan navigatsion radiosignallarni ikki diapazonda uzatadi: L1 (1,6 GHz) va L2 (1,25 GHz).

Oddiy fuqaro (noharbiy) foydalanuvchilari tomonidan foydalanishga mo'ljallangan, 0,511 MHz takt chastotali standart aniqlikdagi signaldan GLONASS tizimining yo'ldoshlari mavjud bo'lgan ko'rinish hududida tegishli foydalanuvchi apparaturasi bilan ta'minlangan barcha foydalanuvchilar foydalana olishlari mumkin.

Yo'ldoshlar turkumi

GLONASS orbitalar turkumi 24 ta yo'ldoshdan iborat bo'lib, balandligi – 19100 km, qiyaligi – $64,8^\circ$ va aylanish davri 11 soat 15 minut 44 soniyadan iborat bo'lgan aylanasi o'rta balandlikli orbitada joylashgan yo'ldoshlardan iborat. Aylanish davrining qiymati, GPS orbitalaridan farqli o'laroq, tizim aktiv ishlashining deyarli hamma muddatida to'g'rilovchi impulslarni talab qilmaydigan barqaror orbital tizimni yaratishga imkon berdi. Nominal qiyalik esa Rossiya Federatsiyasi hududini hattoki bir nechta KA ishdan chiqqan holda ham yuz foizlik navigatsiya bilan ta'minlashga imkon beradi.

Kosmik apparatlarning turlari



XARAKTERISTIKA	«GLONASS» KA	«GLONASS-M» KA	«GLONASS-K» KA	«GLONASS-K2» KA
Joylashtirish yillari	1982-2005	2003-2016	2011-2018	2017 dan keyin
Holati	Foydalanishdan chiqarilgan	Foydalanishda	Laboratoriya tadqiqoti asosida yaratilishda	Yaratilishda
Faol ishlash kafolatli muddati, yil	3,5	7	10	10
KA og'irligi, kg	1500	1415	935	1600
KA tashqi o'lchamlari, m		2,71x3,05x2,71	2,53x3,01x1,43	2,53x6,01x1,43
Energiya ta'minoti, Vt		1400	1270	4370
KAning bajarilish turi	germetik	germetik	nogermetik	nogermetik
Bort sinxronlash qurilmasining sutkalik nostabilligi, texnik topshiriq bo'yicha / haqiqatda	$5 \cdot 10^{-13} / 1 \cdot 10^{-13}$	$1 \cdot 10^{-13} / 5 \cdot 10^{-14}$	$1 \cdot 10^{-13} / 5 \cdot 10^{-14}$	$1 \cdot 10^{-14} / 5 \cdot 10^{-15}$
Signal turi	FDMA	asosan FDMA (KA da CDMA 755-761)	FDMA va CDMA	FDMA va CDMA
Ochiq foydalana olish signallari (FDMA signallari uchun markaziy chastota qiymati keltirilgan)	L1OF (1602 MHz)	L1OF (1602 MHz) L2OF (1246 MHz) №755 dan boshlab: L3OC (1202 MHz)	L1OF (1602 MHz) L2OF (1246 MHz) L3OC (1202 MHz) №17L dan boshlab: L2OC (1248 MHz)	L1OF (1602 MHz) L2OF (1246 MHz) L1OC (1600 MHz) L2OC (1248 MHz) L3OC (1202 MHz)
Ruxsat etilgan foydalana olish signallari	L1SF (1592 MHz) L2SF (1237 MHz)	L1SF (1592 MHz) L2SF (1237 MHz)	L1SF (1592 MHz) L2SF (1237 MHz) №17L dan boshlab: L2SC (1248 MHz)	L1SF (1592 MHz) L2SF (1237 MHz) L1SC (1600 MHz) L2SC (1248 MHz)
Yo'ldoshlararo aloqa liniyasining mavjudligi: radio optik	— —	+ —	+ —	+ +
Qidiruv va qutqaruv tizimining mavjudligi	—	—	+	+

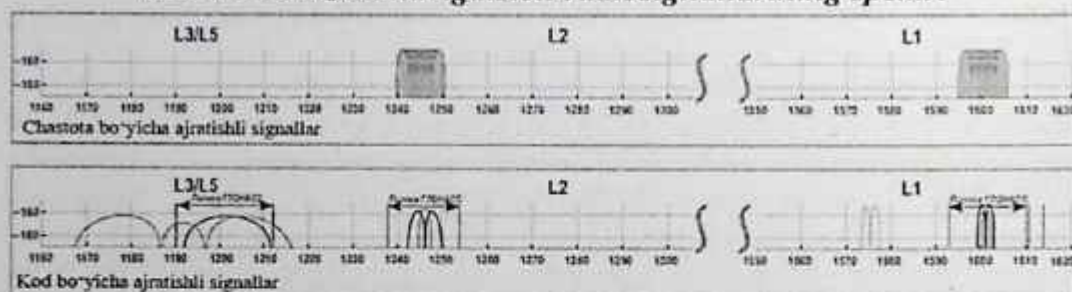
Navigatsion radiosignallar

Loyihalashtirish bosqichida GLONASS tizimi uchun turli kosmik apparatlar signallarini chastota bo'yicha ajratish qabul qilingan: ulardan har biri o'zining tashuvchi chastotalar juftligidan foydalanadi: bittasi L1 diapazonga tegishli, ikkinchisi L2 diapazonga tegishli.

Orbitaning diametr bo'yicha qarama-qarshi nuqtalarida joylashgan kosmik apparatlar uchun har bir chastotalar diapazonida bir xil literli chastotalardan foydalaniladi (Radioapparaturada dushmanning tomonidan bo'ladigan xalaqitdan saqlanish uchun uzatkich/qabullagichning chastotasi vaqti-vaqti bilan o'zgartirib turiladi. Bunda chastotalar ixtiyoriy ravishda o'zgartirilmaydi. Ma'lum bir qayd qilingan chastotalar mavjud bo'lib, ular qandaydir harfli kod bilan belgilanadi, va mana shu literli chastota deyiladi).

2011 yilda orbitaga chiqarilgan GLONASS-K kosmik apparati GLONASS-M signallari kabi chastota bo'yicha ajratishli L1 va L2 radiosignallari bilan birga qo'shimcha L3 diapazonida kod bo'yicha ajratishli ochiq foydalana olish radiosignallarini ham nurlatadi. "GLONASS-M" ning takomillashtirilgan apparatlari L3 diapazonida kod bo'yicha ajratishli navigatsion radiosignal ham nurlatadi.

GLONASS tizimi navigatsion radiosignallarining spektri



Koordinatalar sistemasi

GLONASS tizimining har bir kosmik apparati tomonidan uzatiladigan efemeridalar tezkor axboroti tarkibida mazkur kosmik apparatning Yer bilan bog'liq IJ3-90 geotsentrik koordinatalar sistemasida quyidagicha aniqlanadigan uzatish antenasi fazaviy markazining holati aks etgan bo'ladi:

- koordinatalar boshi Yerning og'irlik markazida joylashgan;
- Z o'qi Xalqaro Yer aylanish xizmati (IERS) tavsiyasiga asosan aniqlangan Yerning shartli qutbi tomonga yo'nalgan;

- X o'qi Xalqaro vaqt byurosi (BIH) tomonidan o'rnatilgan, boshlang'ich meridian va Yer ekvatori yuzasining kesishish liniyasi bo'yicha yo'nalgan;
- Y o'qi geotsentrik to'g'ri burchakli koordinatalar sistemasiga qo'shimcha kiritadi.

II3-90 UMUMER ELLIPSOIDINING GEODEZIK KONSTANTALARI VA PARMETRLARI	
Parametr	Qiymat
Er aylanishining burchak tezligi	$7,292115 \times 10^{-5}$ radian/s
Atmosfera hisobga olingandagi Yer gravitatsion maydonining geotsentrik konstantasi	398 $600,44 \times 10^9 \text{ m}^3/\text{s}^2$
Yer atmosferasi gravitatsion maydonining geosentrik konstantasi (fM_d)	$0.35 \times 10^9 \text{ m}^3/\text{s}^2$
Yorug'lik tezligi	299 792 458 m/s
Ellipsoidning katta yarim o'qi	6 378 136 m
Ellipsoid siqish koeffitsiyenti	$1/298,257\ 839\ 303$
Yer ekvatoridagi gravitatsion tezlanish ($1 \text{ Gal} = 1 \text{ sm/s}^2$)	978 032,8 mgal
Yer atmosferasining ta'siri tufayli, dengiz sathidagi gravitatsion tezlanishga tuzatish	-0,9 mgal
Geopotensialning ikkinchi zonal garmonikasi (J_2^0)	$1082625,7 \times 10^{-9}$
Geopotensialning to'rtinchi zonal garmonikasi (J_4^0)	$(-2370,9 \times 10^{-9})$
Umumer ellipsoidi yuzasidagi normal potensial (U_0)	62 636 861,074 m^2/s^2

Vaqt tizimi

GLONASS tizimi vaqt shkalasi sifatida tizim markaziy sinxronizatorining vaqt shkalasi asosida shakllantirilgan shartli uzluksiz vaqt shkalasi qabul qilingan. Markaziy sinxronizator vodorod chastota standarti bilan ta'minlangan.

GLONASS tizimi uchun tayanch vaqt shkalasi Rossiya milliy koordinatsiyalangan vaqt shkalasi – UTC(SU) hisoblanadi. GLONASS vaqt shkalasi va UTC(SU) orasidagi tafovut 1 ms dan oshmasligi kerak.

GLONASS tizimi vaqt shkalasi rejali tuzatish bilan bir vaqtda butundunyo koordinatsiyalangan vaqt shkalasi – UTC ning soniyaning butun sonigacha (qismigacha) tuzatish kiritiladi.

GLONASS tizimining foydalanish sohalari

Joylashuv o'rnini aniqlash sohasi bo'yicha:

Joylashuv o'rnini haqidagi ma'lumotlarga asoslangan xizmatlar:

- Maqsadli reklama;
- Axborot resurslaridan makon-mo'ljalli foydalana olish;
- Geomakon axborot tizimlari;
- O'rab turgan fazo haqida kompleks axborot.

Monitoring:

- Insonlar, hayvonlar va mulklarning joylashuv o'rnini monitoringi;
- Favqulodda vaziyatlar xizmati brigadalarini muvofiqlashtirish;
- Qimmatbaho yuklarning harakatini kuzatish;
- Temir yo'llarning holatini tezkor monitoringi.

Geodeziya va katografiya:

- Geodezik tadqiqot;
- Kadastr ishlari, chegaralarni ajratish;
- Muhandislik ishlari va qurilish olib borishda qo'llab-quvvatlash;
- Karta va rejalarini faollashtirish.

Qurilish:

- Qurilish texnikasini avtomatlashtirilgan boshqaruv;
- Yo'l qurilish ishlari;
- Kommunikatsiya, quvur liniyalari va boshqalarni yotqizish;
- Temir yo'l qurilishi va ta'mirlash.

Navigatsiya sohasi bo'yicha:

Turizm va hordiq:

- Piyoda turizm;
- Ov, baliq ovi;
- Kema sporti;
- Sayohat yo'nalishlarini belgilash;
- Shaxsiy favqulodda mayaklar.

Yer usti transporti:

- Harakat yoʻnalishini mustaqil tuzish;
- Intellektual transport tizimlari;
- Temir yoʻllar holatini tezkor monitoringi.

Qishloq xoʻjaligi:

- Ekish, sugʻorish va hosilni yigʻib olishni optimallashtirish;
- Ekinlarni changlatish samaradorligini oshirish;
- Qishloq xoʻjaligi texnikasiga xizmat koʻrsatish.

Aviatsiya:

- ICAO toifalari boʻyicha kirish va qoʻnish;
- Yoʻnalishli navigatsiya;
- Vertolyot haydash xavfsizligini oshirish;
- Uchuvchisiz uchish apparatlari navigatsiyasi.

Kosmos:

- Uchishga chiqarilayotgan (fazoga, orbitaga) vositalarni kuzatish;
- Kosmik apparatlar orbitalarini yuqori aniqlik bilan aniqlash;
- Kosmik apparatning Quyoshga nisbatan yoʻnalishini (joylashishini) aniqlash.

Suv transporti:

- Portlarda, ichki suv yoʻllarida yaqinlashish va manevrlar;
- Suv yoʻllarida navigatsiya;
- Flot monitoringi va qayd qilish.

Ilmiy tadqiqotlar va sinxronizatsiya yoʻnalishi boʻyicha:

Atrof-muhit:

- Erning deformatsiyasi monitoringi;
- Erning aylanish parametrlari monitoringi;
- Troposfera va ionosfera tarkibi va holati monitoringi;
- Suv va oʻrmon resurslari monitoringi;
- Foydali qazilmalarni qazib olish.

Aloqa va sinxronizatsiya:

- Elektr uzatish liniyalari ishlashini sinxronlashtirish;
- Aloqa va telekommunikatsiya vositalarini sinxronlashtirish;
- Fazodagi tarqoq foydalanuvchilarni vaqt boʻyicha sinxronlashtirish;
- Butundunyo koordinatsiyalangan vaqt (UTC).

6.8. GPS global navigatsion yo'ldoshli tizimi



GPS tizimining xizmatlari

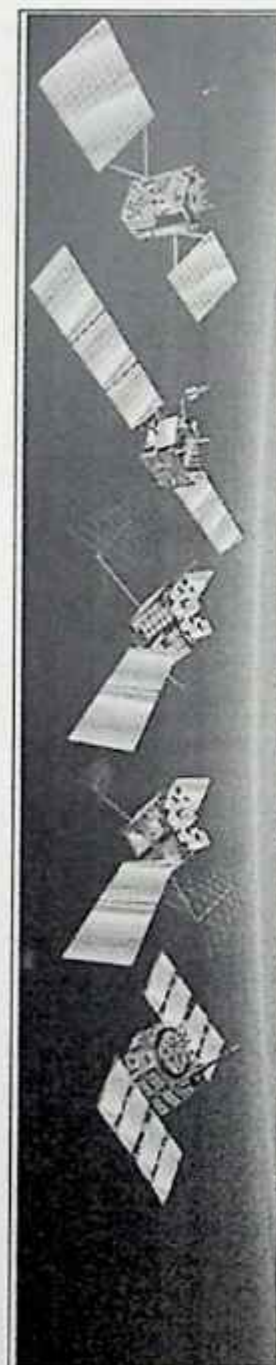
GPS tizimi ikkita xizmat turini taqdim etadi:

1. standart joylashuv xizmati (Standard Positioning Service – SPS), barcha foydalanuvchilar uchun ochiq;
2. aniq joylashuv xizmati (Precise Positioning Service – PPS), ruxsat etilgan foydalanuvchilar foydalanishi mumkin.

Har bir kosmik apparat bir nechta tashuvchi chastotalarda navigatsion signallarni nurlatadi. Tashuvchi chastotalarning har birida uzatiladigan signallarning kvadraturali tashkil etuvchisi turli masofaviy tasodifiysimon ketma-ketlik (TKK) bilan faza bo'yicha manipulyasiyalanadi. Ushbu tasodifiysimon ketma-ketlikdan ayrimlarining tarkibi e'lon qilingan, demak bunday signallarni barcha foydalanuvchilar qabul qilishi mumkin. Ko'pchilik TKKning tarkibi yopiq (maxfiy), shuning uchun bunday signalni faqatgina TKK tarkibini biladigan, ruxsat etilgan foydalanuvchilar qabul qilishi mumkin.

Standart joylashuv xizmati (SPS) hamda vaqtli sinxronizatsiya barcha toifadagi foydalanuvchilar uchun bepul ochiq va C/A (Coarse/Acquisition – xomaki (taxminiy) qabul) masofaviy kod bilan modulyasiyalangan navigatsion radiosignallarni barcha GPS kosmik apparatlari tomonidan nurlatilishi orqali amalga oshiriladi. C/A kod davomiyligi 1023 simvoldan iborat, takt chastotasi 1,023 MHz bo'lgan Gold tasodifiysimon ketma-ketligidan iborat. Shunday qilib, C/A kod tasodifiysimon ketma-ketligi 1 ms takrorlanish davriga ega bo'lib, 300 km atrofidagi masofani bir qiymatli o'lchash oralig'iga mos keladi. GPS ni rivojlantirish dasturida fuqaroviy foydalanuvchilarga L2C, L5 va L1C signallaridan foydalanib SPS xizmatini taqdim etish nazarda tutilgan.

Aniq joylashuv xizmati (PPS) P(Y) masofaviy kod bilan modulyasiyalangan navigatsion radiosignallarni L1 va L2 diapazonlarda barcha GPS kosmik apparatlari tomonidan nurlatilishi orqali amalga oshiriladi. PPS xizmati faqat AQSH qurolli kuchlari, AQSH federal agentliklari foydalanishlari uchun mo'ljallangan.



XARAKTERISTIKA	GPS BLOCK IIA KA	GPS BLOCK IIR KA	GPS BLOCK IIR-M KA	GPS BLOCK IIF KA	GPS BLOCK III KA
Bosh pudratchi	Rockwell International	Lockheed Martin	Lockheed Martin	Boring	Lockheed Martin
Faol ishlash muddati	7,5 yil	10 yil	10 yil	12 yil	15 yil
Og'irligi, kg	985	1126,7	1126,7	1465,1	2161
Tashqi o'lchamlari, m			1,58×1,96×2,21	2,49×2,03×2,24	2,46×1,78×3,40
Quyosh batareyalari	710 Vt quvvatga ega 2 ta kremniyli panelar	1040 Vt quvvatga ega 2 ta kremniyli panelar	1040 Vt quvvatga ega 2 ta kremniyli panelar	1900 Vt quvvatga ega 3 ta ucho'ishli arsend-galliy	4480 Vt quvvatga ega 2 ta ultra ucho'ishli (UTD)
Akkumulyator batareyalari	3 ta nikel-kadmiyli	2 ta nikel-vodorodli qayta zaryadlanuvchi	2 ta nikel-vodorodli qayta zaryadlanuvchi	nikel-vodorodli qayta zaryadlanuvchi	2 ta nikel-vodorodli qayta zaryadlanuvchi
Signalilar	L1 C/A L1/2 P(Y)	L1 C/A L1/2 P(Y)	L1 C/A L1/2 P(Y) L2C L1/2 M-Code	L1 C/A L1/2 P(Y) L5I L5Q L1M L2M L5 L1/2 M-Code	L1 C/A L1P(Y) L1C L2C L2M L5 L1/2 M-Code

Orbitalar guruhi

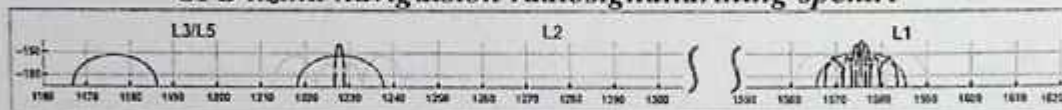
GPS orbitalar turkumi 32 ta asosiy kosmik apparatlardan tashkil topgan bo'lib, A dan F gacha lotin harflari bilan belgilangan 6 ta doiraviy orbitalarda joylashgan. Ba'zi orbitalarda qo'shimcha bir yoki ikkita zahira kosmik apparati bo'lishi mumkin, ular asosiy KAlarning ish faoliyati buzilganda tizim parametrlarini saqlash uchun mo'ljallangan. Orbitalar tekisligining qiyaligi – 55° . 20200 km orbita balandligida aylanish davri 11 soat 58 minut bo'lib, ya'ni GPS kosmik apparatlarining orbitalari sinxron hisoblanadi.

Kosmik apparatlarning turlari

Hozirda orbitalar guruhini to'ldirish Block IIF («F» – follow on – davom ettirish) kosmik apparatini uchirish orqali amalga oshirilmoqda. Rejaga muvofiq Block IIF kosmik apparati orbitada Block IIA kosmik apparatini almashtirishi kerak, Block III kosmik apparati Block IIR («R» – replacement – almashtirish) kosmik apparatini almashtiradi.

Block III kosmik apparatining asosiy vazifasi L1C yangi navigatsion radiosignal yordamida navigatsion xizmatlarni taqdim etish va efemerid-vaqti axborot aniqligini oshirish, navigatsion radiosignaldan foydalana olishni kengaytirish, nurlatish quvvatini oshirish, shuningdek faol ishlash muddatini oshirish hisoblanadi.

GPS tizimi navigatsion radiosignallarining spektri



Koordinatalar sistemasi

GPS tizimida 1984 yilga Butundunyo geodezik tizimi qo'llaniladi (World Geodetic System – WGS-84). WGS-84 (G1678) tizimi parametrlarining navbatdagi aniqligi 2012 yilda amalga oshirildi, bunda amaldagi WGS-84 tizimi va ITRF 2008 tizimining farqlanishi 1 sm ni tashkil etdi, ya'ni ikkila tizim deyarli identik hisoblanadi.

WGS-84 TIZIMI ER ELLIPSOIDINING PARAMETRLARI

Parametr	Qiymat
Katta yarim o'q, m	6 378 137, 0
Ellipsoid siqish koeffitsiyenti	1/298,257223563
Yer aylanishining burchak tezligi ω , rad/s	$7\,292\,115 \cdot 10^{-11}$
Yerning gravitatsion doimiysi, m^3/s^2	$2\,986\,004,418 \cdot 10^{-8}$

Vaqt tizimi

GPS tizimining vaqti AQSH dengiz observatoriyasining (USNO) kuzatishlariga muvofiq butundunyo koordinatsiyalangan vaqt (UTC) bilan bog'langan. Nominal ravishda GPS vaqt shkalasi TAI halqaro atom vaqtdan 19 soniyaga teng doimiy tafovutga ega. Vaqt sanog'i GPS haftalari va joriy hafta doirasida soniyalarda olib boriladi, sanoq boshi – 06.01.1980 yil 00 soat 00 daqiqa hisoblanadi. GPS tizimida hafta raqami 10 bitli ikkilik son bilan yoziladi, hafta raqami raqamining maksimal qiymati 1023 ga teng. Nolinchi hafta raqami 1999 yil 21 avgustdan 22 chi avgustga o'tar kechasi yarim tunda takrorlandi.

Yer usti boshqaruv kompleksi

GPS orbitalar guruhini boshqarish AQSH kosmik kuchlarining 2-chi tezkor kosmik otryadi tomonidan amalga oshiriladi.



Hozirda GPS orbitalar guruhini boshqarish 2-avlod yer usti boshqaruv komlpeksi (Operational Control Segment - OCS) orqali amalga oshiriladi, u quyidagilarni o'z ichiga oladi:

■ GPS tizimini boshqarish Bosh markazi (Shriver harbiy-havo kuchlari bazasida);

□ GPS tizimini boshqarish zahira markazi;

● Geomakon razvedka Milliy agentligining monitoring stansiyasi;

◆ To'lg'azma-o'lchov stansiyalarining global tarmog'i;

▲ AQSH HHKning GPS monitoringi stansiyalari;

▲ GPS so'rov (talab) stansiyalari L-diapazonida.

GPS yer usti boshqaruv kompleksi efemerid-vaqtli ta'minlashning so'rovsiz texnologiyasi orqali amalga oshiriladi. Komanda-o'lchov stansiyalarining global tarmog'i borda 4-6 soat davr bilan axborot to'lg'azmasini amalga oshirishga imkon beradi.

6.9. GALILEO global navigatsion yo'ldoshli tizimi

GALILEO tizimining xizmatlari



GALILEO orbitalar guruhi navigatsion xizmat ko'rsatishning uchta ish rejimini ta'minlaydi va quyidagi navigatsion xizmatlarni taqdim etadi:

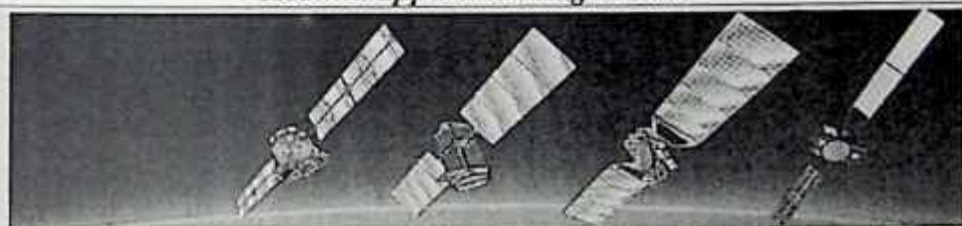
- ochiq xizmat (Open Service) – ochiq signallar, abonent va boshqa to'lovlarsiz, barcha foydalanuvchilar uchun ochiq;
- tijorat xizmati (Commercial Service) – shifrlangan signal, qo'shimcha ikkita signaldan foydalana olish, nisbatan yuqori ma'lumotlar uzatish tezligi. Tijorat xizmati ikkita funksiyani ta'minlaydi – global yuqori aniqlikdagi navigatsiya va navigatsion signal autentifikatsiyasi. Tijorat xizmatini texnik amalga oshirish uchun ochiq xizmat signallari hamda ikkita E6 diapazonidagi (GALILEO signallari) shifrlangan signaldan foydalaniladi;
- ruxsat etish davlat tomonidan boshqariladigan xizmat (Public Regulated Service – PRS) – qat'iy belgilangan foydalanuvchilarni koordinata-vaqtli ta'minlash uchun (PRS ning masofaviy kod bilan shifrlangan ikkita signali).

Orbitalar guruhi

GALILEO tizimi orbitalar guruhining tuzilishi balandligi 23229 km, aylanish davri 14 soat, qiyaligi 56° bo'lgan uchta doiraviy orbitada 27 ta kosmik apparatdan iborat. 24 ta kosmik apparat maqsadli foydalanish uchun, har bir orbita tekisligida 1 tadan zahira kosmik apparati mavjud. Guruhning bunday konfiguratsiyasi kosmik apparatning mavjudlik (ishlash) davri davomida orbitaga tuzatish kiritishning minimal sarf-xarajatida aniqlik va foydalana olish talablarini kafolatlangan ta'minlashidan kelib chiqib tanlangan.

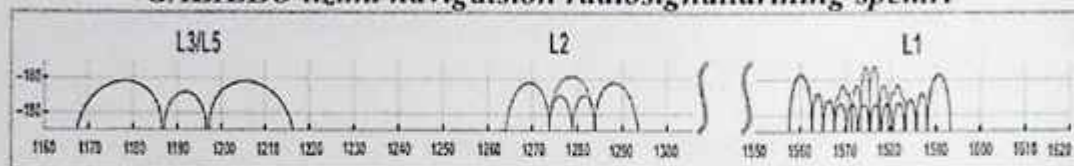
ORBITALAR GURUHI	
Kosmik apparatlar soni	27 (+ 3 zahira)
Orbitalar balandligi	23 222 km
Tekisliklar soni	3
Katta yarim o'q	29 640 km
Davri	14 ch 4 min 45 s
Qiyaligi	56°

Kosmik apparatlarning turlari



XARAKTE- RISTIKA	GALILEO GIOVE-A KA	GALILEO GIOVE-V KA	GALILEO IOV KA	GALILEO FOC KA
Bosh pudratchi	SSTL	EADS Astrium GmbH	EADS Astrium GmbH	OHB AG (22 KA)
Faol ishlash muddati	2 yil	2 yil	12 yil	12 yildan ko'p
Og'irligi, kg	600	630	700	730
Tashqi o'lchamlari, m	1,3×1,8×1,65	0,95×0,95×2,4	3,02×1,58×1,59	2,74×1,58×1,59
Quyosh bataeyalar quvvati, Vt	667	1100	1420	1420
Signallar	Faqat ikkita chastotada (L1+E5 yoki L1+E6)	L1, E5, E6	L1, E5, E6	L1, E5, E6

GALILEO tizimi navigatsion radiosignallarining spektri



Koordinatalar sistemasi

GALILEO tizimida Galileo Terrestrial Reference Frame (GTRF) deb nom olgan an'anaviy geotsentrik dekart koordinatalar sistemasi qo'llaniladi. Ushbu koordinatalar sistemasi ITRF Halqaro yer koordinatalar sistemasi bilan bog'langan bo'lib, uning ITRF dan tafovuti 0,95 ehtimollik bilan 3 sm dan oshmaydi. GTRF ni qo'llab quvvatlash uchun maxsus GALILEO geodeziya xizmati tashkil qilingan bo'lib, bu shuningdek halqaro hamjamiyatning GTRF koordinatalar sistemasini aniqlash va qo'llab-quvvatlashda ishtirokini ta'minlaydi.

Vaqt tizimi

GALILEO tizimining vaqt shkalasi (Galileo System Time – GST) – TAI halqaro atom vaqtiga nisbatan soniyaning butun soniga doimiy siljitiluvchi uzluksiz atomli vaqt shkalasidir. UTC vaqt shkalasi bilan GST shkalasi soniyaning butun soniga (qiymatiga)cha o'zgaruvchan tafovutga ega.

GST shkalasi aktiv vodorod generatori asosidagi atom chastota standartlari etalon sistemasi bilan qo'llab-quvvatlanadi. GST shkalasiga tuzatish kiritish uchun GALILEO yer usti boshqaruv kompleksining sinxronizatsiya tizimi Halqaro og'irlik va o'lchov byurosidan TAI vaqt shkalasi haqidagi axborotni oladi. Tizimga qo'yilgan texnik talablarga asosan GST va TAI lar orasidagi tafovut 95% ehtimollik bilan 50 ns dan oshmasligi lozim.

GST vaqt shkalasining TAI va UTC shkalalariga nisbatan tafovut qiymati haqidagi axborot foydalanuvchilarga uzatish uchun navigatsion xabar tarkibiga kiritilgan. Navigatsion xabarda vaqt GPS tizimidagiga o'xshash, hafta raqamlari va joriy haftadagi soniyalar soni ko'rinishida uzatiladi. Navigatsion xabarda GPS tizimi bilan taqqoslaganda, hafta raqami haqidagi axborotni uzatish uchun mo'ljallangan bitlar (razryadlar) soni ko'paytirilgan. Bu 4096 hafta (78 yildan ko'p) davr mobaynida vaqtni o'lchashni ta'minlaydi, bu GPS tizimi parametrlari: 1024 hafta yoki 19,5 vilga qaraganda ancha ko'p. GST tizimi vaqtining sanog'i (hisoblash

boshlangan vaqt) 1999 yil 22 avgust, GPS vaqtining haftasi 1024 qiymatga erishgan vaqtga to'g'ri keladi.

GALILEO signallari bo'yicha vaqtli sinxronizatsiyaning aniqligi har qanday sutkalik intervalda 95% ehtimollik bilan 30 ns ni tashkil qiladi. GPS va GST vaqt shkalalari orasidagi tafovut GLONASS tizimidagi kabi alohida parametr bilan uzatiladi.

Yer usti boshqaruv kompleksi

GALILEO tizimi yer usti boshqaruv kompleksining tarkibi ikkita mustaqil kontur (segment)dan iborat:

- kosmik apparatlarni boshqarish konturi (Ground Control Segment - GCS);
- efemerid-vaqtli ta'minlash konturi (Ground Mission Segment - GMS).

GCS boshqaruv konturi GALILEO kosmik apparati bortidan telemetrik axborotlarni qabul qilish va ishlov berish, KA nimitizimlarining ishlashini nazorat qilish, konmanda (buyruq) axborotlarini shakllantirish va ularni KAga uzatish vazifalarini amalga oshiradi. Kosmik segment va GCS boshqaruv konturi orasidagi interfeys kuzatuv, telemetrik axborotlarni qabullash va boshqaruv komanda (Telemetry Tracking & Command - TT&C) larini S-diapazonida uzatish orqali amalga oshiriladi.

GMS konturi so'rovsiz o'lchov staniyalari (Ground Sensor Stations - GSS) global tarmog'ining ma'lumotlarini yig'ish, olingan axborotlarga ishlov berish, efemerid-vaqtli axborotni shakllantirish va joylashtirish (belgilash), shuningdek KA bortida yaxlitlik (butunlik) haqidagi axborotlarni yig'ish masalalarini hal etadi.

GALILEO tizimi ishga tushirilishining birinchi bosqichida GCS boshqaruv konturi muvofiqlashtirish markazining vazifasini Oberpfafenxofene (Germaniya) dagi boshqaruv markazi bajaradi, GMS konturi markazining vazifasini Fuchino (Italiya) dagi boshqaruv markazi bajaradi.

Tizim foydalanishga to'liq tayyor bo'lganda esa yer usti boshqaruv kompleksining barcha vazifasi har ikkala markaz tomonidan muvofiqlashtiriladi.

Shunday qilib, GALILEO yer usti boshqaruv kompleksining tarkibiga quyidagilar kiradi:

- Fuchino (Italiya) va Oberpfafenxofene (Germaniya) dagi tizim boshqaruv Markazi;
- ma'lumotlarni belgilash stansiyalari;
- so'rovsiz o'lchov stansiyalarining global tarmog'i;

- kuzatuv, telemetrik axborotlarni qabullash va boshqaruv komandalarini uzatish stansiyalari;
- GALILEO KAlari tomonidan retranslyasiya qilinuvchi falokat signallarini qabul qiluvchi qidiruv va qutqaruv o'rta orbitali tizim stansiyalari.



Bundan tashqari, GALILEO tizimi xizmatlarini taqdim qilish uchun bir qator ta'minot markazlari tashkil etilgan va faoliyat ko'rsatmoqda:

- Foydali yuklar parvoz sinovlari markazi (In-Orbit Testing - IOT) Redu (Belgiya) da joylashgan;
- Ishga tushirish va boshlang'ich opreatsiyalarni nazorat qiluvchi ikkita markaz Tuluza (Fransiya) va Darmshtadt (Germaniya) da joylashgan;
- Xarakteristikalar monitoring markazi (Galileo Reference Center - GRC) Nordvike (Niderlandiya) da joylashgan;
- Geodeziya va vaqtli ta'minlash markazi (Time and Geodesy Verification Facility - TGVF) Nordvike (Niderlandiya) da joylashgan;
- PRS boshqariladigan foydalana olish xizmati uchun xizmatdan foydalanish xavfsizligi nazoratining ikkita markazi Fransiya va Buyuk Britaniyada joylashgan;

- GALILEO xizmat markazi (Galileo Service Centre - GSC) Madridda joylashgan, GALILEO tizimining ochiq va tijorat xizmatlari, shuningdek EGNOS xizmati to'g'risidagi axborotlar bilan foydalanuvchilarni ta'minlash vazifasini bajaradi.

Nazorat savollari

1. Radionavigatsiya deganda nimani tushunasiz, radionavigatsiya tizimlar deb qanday tizimlarga aytiladi?
2. Radionavigatsiya tizimlarining tarkibi haqida tushuncha bering.
3. Radionavigatsiya tizimlari qanday turlarga bo'linadi?
4. Radionavigatsiyada qo'llaniladigan koordinatalar tizimlari haqida tushuncha bering.
5. Impulsli radionavigatsiya tizimlarining ishlash prinsipini tushuntiring.
6. Fazaviy radionavigatsiya tizimlarining ishlash prinsipini tushuntiring.
7. Impuls-fazaviy radionavigatsiya tizimlarining ishlash prinsipini tushuntiring.
8. LORAN-C va "CHAYKA" radionavigatsiya tizimlarining xarakteristikalarini aytib bering.
9. Yo'ldoshli radionavigatsiya tizimlarining o'ziga xos jihatlari nimada?
10. Yo'ldoshli radionavigatsiya tizimlarining tarkibi nimalardan iborat va har bir nimitizimning vazifalarini aytib bering.
11. GLONASS yo'ldoshli navigatsiya tizimi to'g'risida ma'lumot bering.
12. GPS yo'ldoshli navigatsiya tizimi to'g'risida ma'lumot bering.
13. GLONASS va GPS yo'ldoshli navigatsiya tizimining kosmik apparatlari joylashuvi to'g'risida ma'lumot bering.
14. Navigatsion tizim qabullagichining strukturaviy sxemasini chizing va ishlash prinsipini tushuntiring.
15. CH-3001 apparaturasining tarkibi va asosiy xarakteristikalarini aytib bering.
16. "Tpona" kichik tashqi o'lchamli navigatsion-bog'lovchi kompleks to'g'risida ma'lumot bering.

7. RADIOBOSHQARUV TIZIMLARI

Ushbu bobda radioboshqaruv tizimlarining turlari, asosiy texnik ko'rsatkichlari, uchish apparatini radioboshqarish, radioteleyo'naltirish, radionurlanish bo'yicha yo'naltirish, radionurlanish hududida boshqarish, yo'nalishini o'zi boshqarish tizimi, komanda orqali radioboshqarish, kosmik apparatlarni boshqarishni tashkil etish masalalari bayon etilgan.

7.1. Radioboshqaruv tizimlarining turlari va asosiy texnik ko'rsatkichlari

Turli jarayon va obyekt (qurilma)larni radiotexnik vositalar yordamida boshqarish **radioboshqarish** deb, uni amalga oshiruvchi radiotexnik tizim **radioboshqaruv tizimi** (RBT) deb ataladi. Bajaradigan vazifalari soniga qarab boshqaruv bir maqsadli, ikki maqsadli va ko'p maqsadli bo'lishi mumkin. Misol uchun, ko'p sonli Yer sun'iy yo'ldosh (YeSY) lari odatda uchishlarni boshqarish markazi (UBM) orqali boshqariladi. Ko'p sonli YeSYlarini boshqarish tizimi bir vaqtda quyidagi vazifalarni bajarish uchun loyihalanishi mumkin:

1. Bir guruh YeSYlarining uchish harakatlarini boshqarishni ta'minlash (misol uchun, global radioaloqa yoki teleradioeshittirishlarni tashkil etishda) uchun;

2. YeSY ma'lum vazifalarni bajarishi uchun uning bortidagi turli apparaturalarning ish holatini ta'minlovchi ulab-uzishlarni bajarish uchun.

Bir vaqtda boshqariladigan obyektlar soniga qarab RBT: **bir obyektli** va **ko'p obyektli** bo'lishi mumkin. Ko'p sonli YeSY larini boshqarish tizimi ko'p obyektli RBTga misol bo'la oladi, chunki bir vaqtda bir necha YeSYlari boshqariladi.

Obyekt (misol uchun YeSY) ni boshqaradigan (komanda beradigan) punktlarning soniga qarab, boshqarish **bir punktli** yoki **ko'p punktli** bo'lishi mumkin. Ikki punktli boshqaruv tizimiga kosmik kema (KK)ni Yerdan yoki kosmik kemadagi kosmonavt (kosmik kema bortidagi boshqaruv punkti) orqali boshqarish misol bo'lishi mumkin.

Bundan tashqari boshqarish jarayoni oddiy **bir bosqichli** yoki **ko'p bosqichli** (ierarxik) bo'lishi mumkin. Ko'p bosqichli – ierarxik boshqaruv tizimlarida obyektни boshqarish bir emas, bir necha mutaxassislar yoki bir necha boshqarish qurilmalari tomonidan, shu bilan birga ma'lum bir ketma-ketlikda – ierarxik tartibda amalga oshirilishi mumkin.

Ierarxik – ko‘p bosqichli RBTiga misol sifatida fuqarolarni tashishga mo‘ljallangan samolyotlarning uchishini boshqarish tizimini ko‘rsatish mumkin. Samolyot uchishini boshqarish birinchi bosqichda uchuvchi (pilot) tomonidan, ikkinchi – nisbatan yuqori bosqichda ekipaj komandiri tomonidan, uchinchi bosqichda esa dispatcher tomonidan va so‘nggi bosqichlarda samolyotni avtomatik boshqarish tizimi orqali va h.k. amalga oshiriladi. Ko‘p bosqichli – ierarxik boshqaruv bir punktli va ko‘p punktli bo‘lishi mumkin. Misol uchun, planetalarga uchadigan kosmik kema faqat uning bortidan ikki kosmonavt (astronavt) tomonidan: kosmonavt kema komandiri va kosmonavt uchuvchi tomonidan boshqariladigan bo‘lsa, bunday boshqaruv bir punktli, ammo ierarxik (ikki bosqichli) bo‘ladi. Xuddi shunga o‘xshash ko‘p punktli boshqaruv ierarxik yoki oddiy usulda boshqaruv bo‘lishi mumkin. Misol uchun, planetalararo avtomatik stansiyaning uchish koordinatalarini boshqarish bir komanda berish punktidan amalga oshirilsa, uni yerga qo‘ndirish boshqa komanda berish punkti orqali amalga oshiriladi. Bunday boshqarish tizimi ko‘p punktli hisoblanadi, ammo ierarxik bo‘lmaydi.

7.2. Uchish apparatini radioboshqarishning umumiy xarakteristikalar.

Uchishni boshqarishning asosiy turlari

Turli uchish apparatlaridan boshqarish usuli va vositalari o‘ziga xos bo‘lganlarini, ya‘ni quyidagilarini ko‘rib chiqamiz:

1. Yaqin masofada harakatlanuvchi reaktiv snaryadlar: “Yer-Havo”; “Havo-Havo”; “Havo-Yer”; “Dengiz-Havo”; “Havo-Dengiz” va “Yer-Yer”;
2. Uzoq masofaga uchuvchi ballistik raketalar va kosmik apparatlarni tashuvchi raketalar;
3. Kosmik apparatlar (KA) – Yer sun‘iy yo‘ldoshlari, kosmik kemalar, planetalararo uchuvchi avtomatik stansiya va boshqalar;
4. Samolyotlar va vertolyotlar.

Yaqin masofa raketa (reaktiv snaryad) lari maqsadlarni yo‘q qiluvchi vositalar hisoblanadilar. Bunda raketa (snaryad)larning radioboshqaruv jarayoni asosiy uch bosqichdan iborat bo‘ladi:

1. Raketani chiqarishni boshqarish;
2. Raketa uchishini boshqarish;
3. Raketa jangovar zaryadining portlashini boshqarish.

Kosmik apparatlar Yerdan qanday masofada bo‘lishiga qarab quyidagi turlarga ajratiladi:

- yaqin kosmos (Yer atrofi) apparatlari;
- o'rta kosmos (Oy) apparatlari;
- uzoq kosmos (planetalararo) apparatlari.

Yer atrofi kosmik apparatlariga: radioaloqa, radionavigatsiya, ilmiy-tekshirish, harbiy va boshqa YeSYlari hamda boshqa Yer atrofida uchuvchi kosmik apparatlar kiradi. Ba'zi YeSYlarini boshqarishda ularni orbitaning belgilangan nuqtasiga juda yuqori aniqlik bilan joylashtirish va uni shu orbitada uzoq muddat davomida turishini ta'minlash talab etiladi. Shu bilan birga bir necha YeSYlarining bir-biri bilan ma'lum masofada – orbitada uchishini boshqarish ham talab qilinadi.

Kosmik kemalarni boshqarishda uni nafaqat uchirish, ma'lum bir orbitadagi belgilangan nuqtada joylashishini, shu bilan uni Yerning ma'lum bir belgilangan hududiga qayta tushirish vazifasi ham amalga oshirilishi talab etiladi. Bundan tashqari ko'p hollarda orbitada ikki yoki bir necha kosmik apparatlarni bir-biriga biriktirishni avtomatik yoki yarim avtomatik usulda bajarish, ularning orbitada Quyoshga nisbatan joylashish holatini, ba'zi hollarda KA orbitasini o'zgartirish vazifalarini avtomatik ravishda boshqarish ishlarini ham bajarish talab etiladi.

Boshqarishning asosiy turlarini quyidagilarga ajratish mumkin.

1. **Avtonom (mustaqil) radioboshqaruv**, bunda maqsad va obyektini boshqarish boshqaruv punkti bilan axborot almashtirilmasdan amalga oshiriladi (maqsad koordinatalari avvaldan xotirasiga kiritilgan qanotli raketalar).

2. **O'z-o'zini – raketani maqsadga avtomatik yo'naltirishni boshqarish**. Bunda raketa va maqsad orasida albatta axborot almashish tizimi bo'ladi va aloqa issiqlik, yorug'lik nurlari yoki radioto'lqinlar vositasida amalga oshiriladi, ya'ni:

- radionurlanish;
- issiqlik nurlanishi;
- yorug'lik nurlanishi;
- akustik – tovush tarqalishi.

O'z-o'zini yo'naltirish (samonavedenie) vositasi quyidagi holatlarda ishlashi mumkin:

- passiv – energiya sarflamasdan;
- aktiv – energiya sarflash hisobiga;
- yarim aktiv – qisman energiya sarflash hisobiga.

Passiv ish holatida o'z-o'zini yo'naltirishga sarflanadigan energiya maqsaddan raketaga, maqsadda joylashgan energiya manbai hisobiga amalga oshiriladi. Aktiv o'z-o'zini yo'naltirishda maqsad raketada joylashgan manba

hisobiga nurlantiriladi. Yarim aktiv o'z-o'zini yo'naltirishda – maqsadni nurlatish raketa va maqsadda joylashmagan birlamchi manba hisobiga amalga oshiriladi.

3. **Komanda orqali radioboshqaruvning** quyidagi uchta turini bir-biridan farqlash mumkin: KORB-1; KORB-2 va KORB-3. Komanda orqali radioboshqarishni amalga oshirish uchun albatta uchish apparati bortiga komanda berish radioliniyasi bo'lishi shart. Yuqorida keltirilgan uch tur KORB tizimlaridan foydalanish sohalarini qisqacha ko'rib chiqamiz. KORB-1 snaryad va maqsadning koordinatalari komanda punktida o'lchanadi va komanda berish radioliniyasi orqali raketa bortiga uzatiladi. KORB-2 maqsadning vizirlari raketada joylashtirilgan. Maqsadning snaryadga nisbatan koordinatalari haqidagi axborot (ma'lumot)lar komanda punkti (KP)ga uzatiladi. KPda tegishli boshqaruv komandasi tanlanadi va raketa bortiga uzatiladi. KORB-3 maqsad va maqsadning viziri bir yerda joylashgan. Samolyotni "ko'rlarcha" qo'ndirishda foydalaniladi. Yuqorida keltirilgan KORB tizimlaridan eng ko'p foydalaniladigani bu KORB-1.

4. **Radioteleyo'naltirish.** Bu usuldan foydalanilganda boshqaruv punktida parametrlari yoki parametrlaridan biri maqsadga yo'naltirilgan maxsus shakllantirilgan elektromagnit maydon maqsadga yo'naltiriladi. Amaliyotda radioteleyo'naltirish (RTY)ning quyidagi turlaridan foydalaniladi: bir xil kechikish yuzasi orqali RTY; radionur orqali RTY; radiozona (radiohudud) orqali RTY.

7.3. Maqsad va radioboshqaruvli snaryadlarni vizirlash

Maqsad va snaryadning parametrlarini o'lchash maqsad va snaryadning qurilmasini vizirlashni ta'minlaydi, xususiyl holda esa ulardan birini snaryadni vizirlash (ikki nuqtadan yo'naltirishda) yoki maqsadni vizirlashni ta'minlaydi.

Boshqarilish snaryadlarini vizirlashda ushbu snaryadning bortida joylashgan "javob beruvchi"dan foydalaniladi. Bunday tizim aktiv "javob beruvchi" tizim deb ataladi. "Javob beruvchi" signallarini olish uchun boshqaruv tizimida maxsus "so'rov" kanali bo'lishi kerak, bu esa tizimning asosiy kamchiligi hisoblanadi. Boshqariladigan snaryad bortiga radiomayoq o'rnatish hisobiga yuqorida keltirilgan kamchilikni yo'qotish mumkin. Radiomayoq va javob qaytaruvchilardan foydalanish snaryadgacha masofani o'lchash oraliqini, harakati parametrlarini aniqlash va o'lchashlarning aniqligini oshiradi. Tizim xalaqitbardoshligini oshirish uchun teskari bog'lanishdan foydalanishga imkoniyat yaratiladi.

Maqsad radiovizirlari to'rt guruhga bo'linadi.

1. Millimetr, santimetr, detsimetr va metrlar diapazonining qisqa to'liq diapazonida ishlovchi maqsad radiovizirlari.

Radiovizirlar uchun bu chastotalar diapazonidan foydalanishning asosiy sababi nisbatan tor yo'naltirilgan diagrammali antennalardan foydalanish asosida o'lchashlar aniqligini oshirish hisoblanadi. Nisbatan past chastota diapazonlaridan foydalanilganda o'lchash aniqliklari yomonlashadi, chunki bu chastotalar diapazonidan foydalanilganda ionosfera qatlamidan radionurlarning aks etib tarqalishi va atmosferaning turli zichlikdagi qatlamlaridan qaytgan radionurlanishlar qo'shimcha radioxalaqitlar hosil bo'lishiga sabab bo'ladi. Ammo bu chastotalar diapazonidan foydalanib gorizont ortidagi obyektlarni ham radiolokatsiyalash mumkin. RBTda foydalaniladigan radiotexnik vizirlar odatda maqsad parametrlarini sferik koordinatalar tizimida aks ettiradi, bunda maqsadning burchak koordinatalari va xosilalari o'lchanadi.

2. Infraqizil (issiqlik) vizirlari.

Bu tur vizirlar qizitilgan jismlar, ya'ni uchish apparatlari tomonidan 1...15 mm diapazonidagi to'liqlarni aniqlashga va uning parametrlarini o'lchashga asoslangan. Bu tur vizirlar maqsadgacha bo'lgan masofani o'lchash imkoniyatini bermaydi, ammo maqsadning raketaga nisbatan joylashganlik koordinatalarini juda yuqori aniqlik bilan aniqlash imkonini beradi. Bu tur vizirning asosiy kamchiliklari o'lchash natijalarining ob-havoga va sutkadagi vaqtga bog'liqligi hamda o'lchash masofasi cheklanganligidir.

3. Optik (aktiv, lazer) qurilmalari.

Elektromagnit energiya manbai sifatida lazer generatoridan foydalaniladi. Optik diapazon vizirining maqsad parametrlarini o'lchash masofasi bir necha o'n kilometrdan katta emas. Optik lazerli vizir qurilmasining asosiy kamchiligi o'lchash natijasining ob-havoga, sutkaning qaysi vaqtida o'lchashlar o'tkazishga bog'liq bo'lib, undan faqat maqsad optik vizirga to'g'ridan-to'g'ri ko'rinish masofasida foydalanish mumkin.

4. Televizion vizirlar.

Televizion vizirlar komanda punktlarida va snaryad bortida o'rnatilgan bo'lishi mumkin. Bu qurilmaning afzalligi obyektни maqsadli vizirlash mumkinligidir.

RBTlarning vizirlash qurilmalarini ishlash holatiga qarab quyidagilarga bo'lish mumkin:

- qidiruv holatida ishlovchi;
- aniqlash holatida ishlovchi;

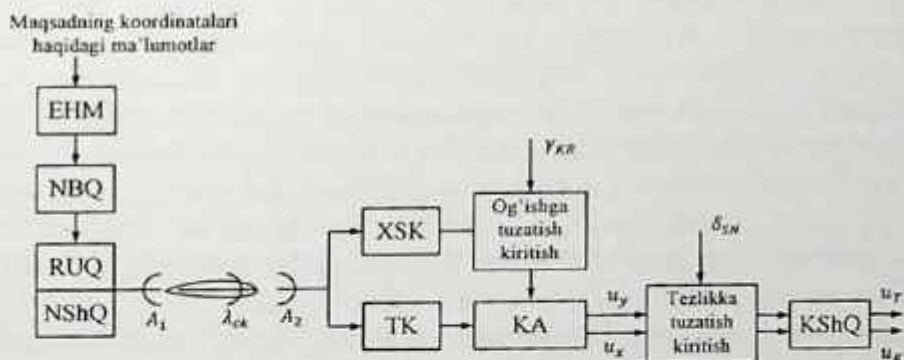
– kuzatish holatida ishlovchi.

Ko'p hollarda bitta RBTning o'zi dastlab izlash va aniqlash ish holatida, so'ngra esa kuzatish ish holatida ishlashi mumkin.

7.4. Radioteleyo'naltirish. Radionurlanish bo'yicha yo'naltirish

Asosiy xossalari. Komandalar uchish apparati bortida shakllantiriladi. Komanda punktida joylashgan radiouzatkich ma'lum tarkibli elektromagnit maydonini shakllantiradi. Elektromagnit maydonning tarkibida maqsadning koordinatalari (amplituda, chastota, faza, vaqt bo'yicha kechikishi) ga bog'liq. Bortdagi qabullash qurilmasi uning kirishiga ta'sir etayotgan elektromagnit maydon tarkibini tahlil etish natijasida boshqarish komandasini shakllantiradi. Amaliyotda radioteleyo'naltirishning uch turli tizimidan foydalaniladi. Bular: radionur bo'yicha yo'naltirish tizimlari; radiozonada yo'naltirish; bir xil kechikishli elektromagnit maydonda yo'naltirishlar.

Radionurlanish bo'yicha yo'naltirish tizimi strukturaviy sxemasi 5.1-rasmda keltirilgan bo'lib, quyidagi qurilma va funksional qismlardan iborat: EHM – elektron hisoblash mashinasi; NBQ – nurni boshqarish qurilmasi; RUQ – radiouzatish qurilmasi; NShQ – nurni shakllantirish qurilmasi; XSK – xatolik signali kanali; TK – tayanch kanali; KA – koordinatalarni almashtirish; KShQ – komandani shakllantirish qurilmasi.



7.1-rasm. Radionurlanish bo'yicha yo'naltirish tizimining strukturaviy sxemasi

Radionurlanish bo'yicha yo'naltirish tizimi kirishidagi EHMga maqsad koordinatalari haqidagi ma'lumotlar beriladi. EHM tegishli komandani tanlaydi va nurni boshqarish qurilmasi nurni maqsadga yo'naltiriladi. Radiouzatkichning NShQsi o'zgarmas amplituda va davomiylikdagi

radioimpulslar davriy ketma-ketligini shakllantiradi. Uzatish antenasi yo'naltirilganlik diagrammasi skanerlash chastotasi λ_{sk} bilan konus shaklida skanerlashni amalga oshiradi. Agar boshqarilayotgan snaryad radionur yo'nalishida harakatlansa, u holda qabullash antenasi A_2 dan amplitudasi modulyatsiyalanmagan (o'zgarmagan) radioimpuls qabullash qurilmasi kirishiga TK va XSKlarga beriladi.

Amalda A_2 antennaga ta'sir etayotgan radioimpuls qurilma ichki shovqinlari va snaryad dvigatelidagi mash'ala hisobiga biroz modulyatsiyalangan, amplitudasi tasodifiy o'zgargan bo'ladi.

Agar snaryad radionurdan chetlansa, u holda antenna A_2 chiqishidagi radioimpuls amplitudasi modulyatsiyalangan bo'ladi, modulyatsiya chuqurligi quyidagi ifoda orqali aniqlanadi:

$$m_{AM} = \mu \frac{|\bar{r}_h|}{|\bar{R}_{sn}|}, \quad (7.1)$$

bunda, $\bar{r}_h$ – radionurdan snaryadgacha bo'lgan masofa; $\bar{R}_{sn}$ – radiouzatkich antenasi A_1 dan boshqariladigan snaryadgacha bo'lgan masofa; λ_{sk} – radioimpuls o'rovchisi chastotasi; μ – antenaning burchak o'zgarishiga nisbatan sezgirliigi – bu antenaning pelengatsiyalash xususiyatini baholaydi. Tasvir yuzasi deganda radionurga perpendikulyar yuza tushuniladi.

Qabul qilinayotgan radioimpulslar o'rovchisi fazasi snaryadning radionurga nisbatan qanday joylashganligiga bog'liq. Bortdagi radioqabullagichning vazifasi bu uchish apparatining radionurga nisbatan burilishi (og'ishi)ni va radioimpuls amplituda modulyatsiyasi chuqurligini aniqlash hisoblanadi. Snaryadning radionurga nisbatan qaysi masofada va qanday burilish bilan joylashganligini aniqlash uchun radiouzatkichda maxsus shakllantirilgan radionurni qabullash orqali snaryadni boshqarayotgan signal fazasini qayta tiklash qurilmasi mavjud. Buning uchun nurlantirayotgan boshqaruv signaliga ma'lum vaqt oraliqlarida maxsus belgi kiritiladi. Ushbu belgilar asosida raketa bortidagi asosiy tayanch signali tiklanadi, bu signal yordamida A_1 antenna skaneri harakatga keltiriladi. Xatolik signali va tayanch signalini taqqoslash natijasida snaryadning uchishini yo'naltiruvchi boshqaruv komandalari shakllantiriladi.

Raketaning radionurga nisbatan joylashish nuqtasi haqidagi ma'lumot A_2 antenna qabul qilgan signal o'rovchisi amplitudasi modulyatsiyasi koefficientida va fazasining qutb koordinatalari tizimida o'zgarishini aniqlash asosida boshqaruv signali shakllantiriladi. Qutb koordinatalari tizimidan dekart koordinatalari tizimiga o'tkazishda KA qurilmasidan foydalaniladi.

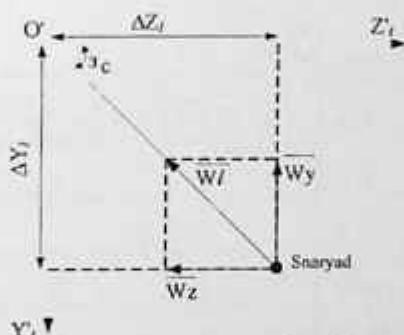
A_2 antennaga ta'sir etayotgan radiosignalda hosil bo'ladigan amplituda modulyatsiyasining chuqurligi va faza o'zgarishi burchak η_s qiymatiga bog'liq. Komanda signali kuchlanishining tashkil etuvchilari Δy_l va Δz_l ga proporsional bo'lishi shart.

$$\operatorname{tg} \eta_s = \frac{\Delta y_s}{\Delta z_l};$$

$$\left. \begin{aligned} U_{ky} &= k_y \cdot \Delta y_l = k_{ny} \cdot m_{AM} \cdot \sin \eta_s; \\ U_{kz} &= k_z \cdot \Delta z_l = k_{nz} \cdot m_{AM} \cdot \cos \eta_s; \end{aligned} \right\} \quad (7.2)$$

bunda, k_y va k_z – mos ravishda radioqabullash kanalining tangaj va kurs bo'yicha uzatish koeffitsiyentlari.

(7.2) ifoda qutb koordinatalar tizimidan dekart koordinatalar tizimiga o'tishni belgilaydi. Agar (7.2) formula asosida boshqaruv komandasi shakllantirilsa va komandani amalga oshiruvchi mexanizmga berilsa, snaryad y va z o'qlari yon tomonga siljishni asta-sekin yo'qqa chiqaradi va radionurga yaqinlashadi (7.2-rasm).



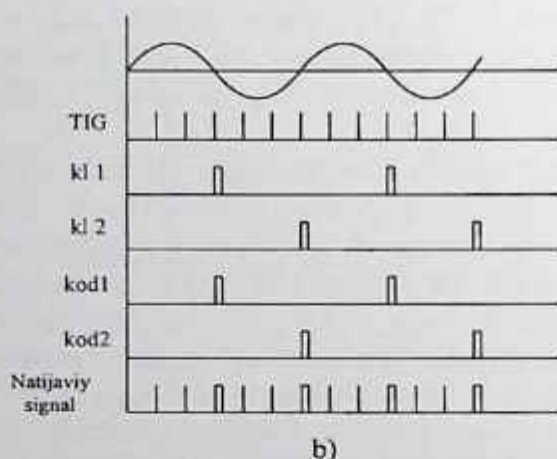
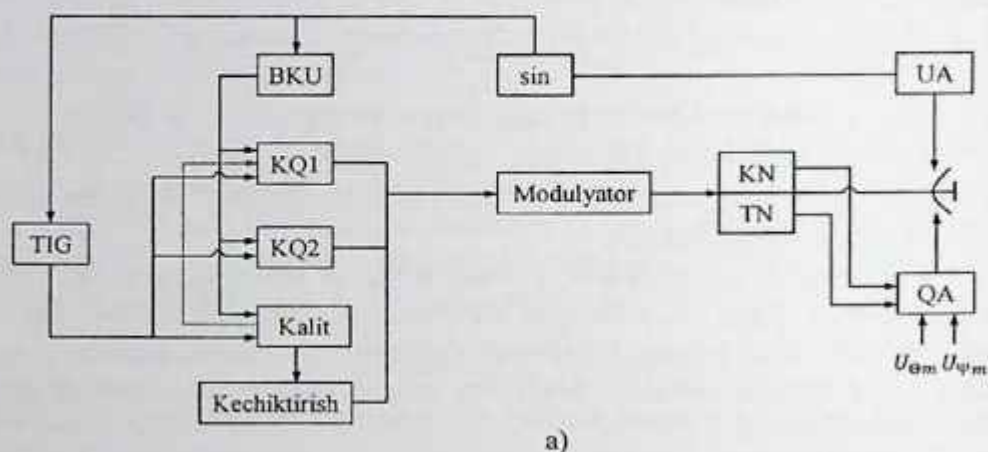
7.2-rasm. Snaryadni boshqaruv nuri yordamida maqsadga yo'naltirish

7.5. Radionur asosida boshqaruvchi radioliniyaning uzatish qismi

7.3a-rasmda radionur asosida boshqarishga asoslangan radioliniya uzatish qismining funksional sxemasi keltirilgan va 7.3b-rasmda koordinata qurilmasiga tegishli vaqt diagrammalari keltirilgan.

Uzatish antenasi A_1 va uni boshqaruvchi generator chastotasi bir-biriga teng va fazalar farqi ham nolga teng – sinfaz. Takt impulsleri generatori (TIG) shakllantirgan kuchlanishlar tizim radiouzatish qurilmasi hamma qurilmalarining sinxron ishlashini ta'minlaydi. Sinusoidaning noldan o'tish onlarida koordinata qurilmalari chiqishida impuls-vaqt kodi (IVK) shakllanadi. Tayanch signalini uzatish IVK orqali amalga oshiriladi. Bu

kodlar turlicha bo'lib, ularni radioimpulslar ketma-ketligi bilan birlashtirish natijasida radiouzatish qurilmasi modulyatori kirishiga beriladigan signal shakllantiriladi.



7.3-rasm. Radionur asosida boshqarishga asoslangan radioliniya uzatish qismining funksional sxemasi (a) va tegishli vaqt diagrammalari (b)

Radiouzatish qurilmasining ish holati optimal bo'lishini ta'minlash uchun kechitirish liniyasi (KL) yordamida nurlatiladigan radiosignallar orasidagi masofa o'tish jarayoni davomiyligidan katta bo'lishi talab qilinadi.

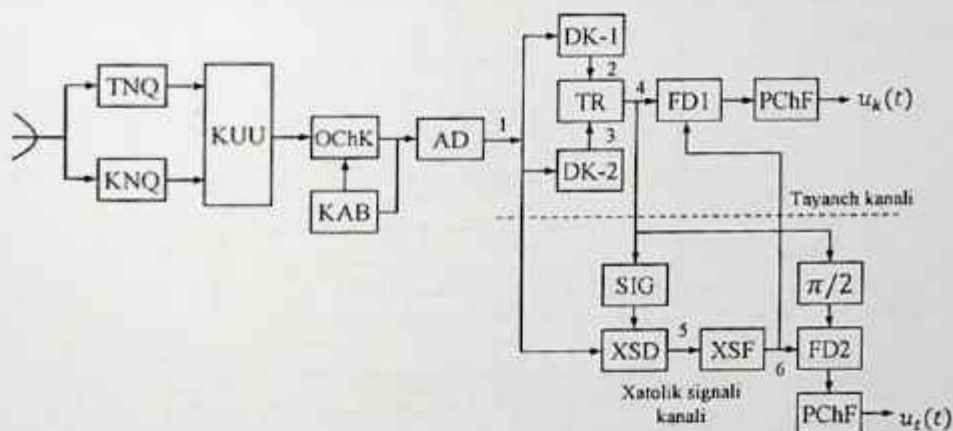
Radiouzatkich ikki xil ish holatiga ega:

- tor nur – kichik burchak oralig'ida nurlatish holati;
- keng nur – katta burchak oralig'ida nurlatish holati.

Radionurlatish qurilmasi dastlab keng burchak oralig'ida nurlatish ish holatida ishlaydi. O'tish apparatida boshqarish komandasi asosida antenna A_1 ni maqsadga yo'naltirish mexanizmi mavjud.

7.6. Radionur asosida radioboshqaruv tizimining qabullash qismi

Radionur asosida radioboshqaruv tizimining qabullash qismi funksional sxemasi 7.4-rasmda keltirilgan. Radioqabullash qismi quyidagi asosiy funksional bloklardan tashkil topgan: TNQ/KNQ – tor va keng nurni qabullash bloki; KUU – kanallarni uzib-ulash bloki; DK-1 va DK-2 dekodlash bloklari; TR – trigger bloki; SIG – stroblovchi impulslar generatori; XSD – xatolik signali detektor; XSF – xatolik signali filtri; $\pi/2$ – fazani $\pi/2$ ga surish bloki; PChF1, PChF2 – past chastota filtrlari; AD – amplituda detektor; OChK – oraliq chastotali signallarni kuchaytirish bloki; KAB – kuchaytirishni avtomatik boshqarish bloki; FD1, FD2 – faza detektorlari.



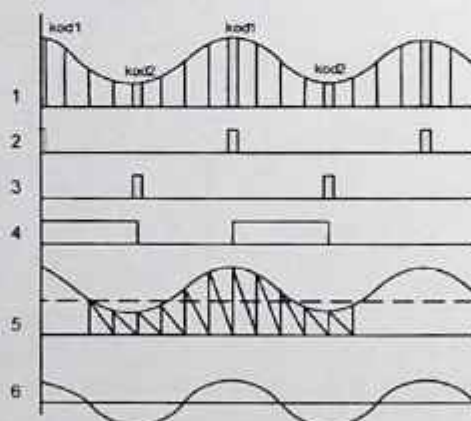
7.4-rasm. Radionur asosida radioboshqaruv tizimi qabullash qismining funksional sxemasi

Tor nurli signalni qabullash ish holatida KUU bloki OChK kirishiga amplitudasi modulyatsiyalangan tor sektorda nurlantirilgan signalni beradi. OChKda AD chiziqli ish holatida ishlashini ta'minlovchi sathgacha kuchaytirilgan signal, amplituda bo'yicha detektorida detektorlangandan so'ng dekodlash bloklari DK1 va DK2 larga va xatolik signali detektor (XSD)ga beriladi. Trigger o'zining kirishlaridagi DK1 va DK2 chiqishlaridagi signallarni taqqoslash asosida olingan kuchlanishni FD1ga beradi. FD1 ning ikkinchi kirishiga stroblovchi impulslari generatori (SIG)dan tayanch signali beriladi va uning chiqishida kurs (yo'nalish)ni boshqarish

signali $u_k(t)$ shakllanadi. Ikkinchi detektor FD2 chiqishida esa xatolik signali asosida tangaj kuchlanishi $u_t(t)$ shakllanadi.

Qabullash qurilmasi AD chiqishida videoimpulslar ketma-ketligi shakllanadi. Bu impulslar ketma-ketligiga tizim uzatish qismi koordinatalar qurilmasida shakllantirilgan vaqt impulslari kodi (VIK) elementlari qo'shilgan. Dekodlash qurilmasi DK1 va DK2 larda VIK signal dekodlanadi. Trigger bloki chiqishida uzatish qismi antenasi nurlatkichni harakatga keltiruvchi kuchlanish bilan sinfaz (bir xil fazada) bo'lgan kuchlanish ajratib olinadi. Bortdagi qabullash qurilmasi chiqishida antenna nurlatkichini harakatga keltirish signali bilan sinxron va sinfaz bo'lgan tayanch signali shakllanadi.

Xatolik signalini detektorlash turlicha, misol uchun cho'qqi (pik) detektori yordamida amalga oshirilishi mumkin. Videoimpulslar orqa fronti-ning cho'zilishi ω_{sk} chastota atrofidagi spektr tashkil etuvchilarining amplitudasi kattalashishiga sabab bo'ladi. Xatolik signali filtri (XSF) chiqishidan chastotasi ω_{sk} bo'lgan sinusoidal ko'rinishdagi xatolik kuchlanishi ajratib olinadi.



7.5-rasm. Radionur asosida radioboshqaruv tizimi qabullash qismining ishlashiga oid

Tangaj va kurs (yo'nalish) faza detektorlari FD2 va FD1 lar chiqishidan $u_t(t)$ va $u_k(t)$ tangaj va kurs kuchlanishlari olinadi:

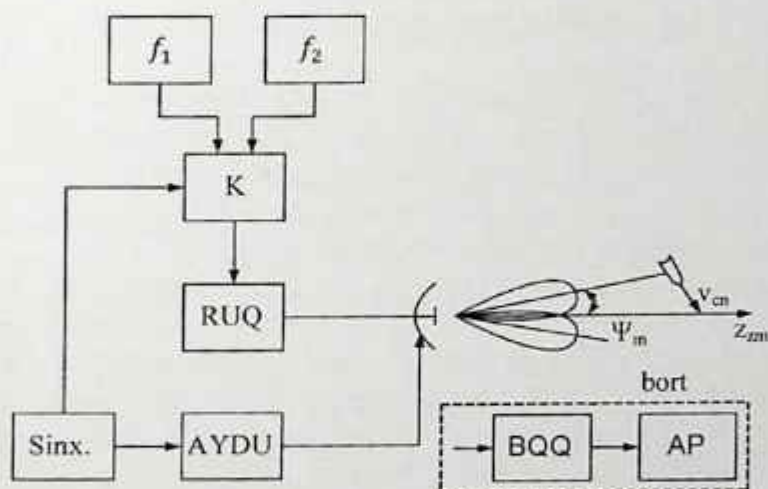
$$\begin{cases} u_k = k_{FD1} \cdot U_{so} \cdot \sin \eta_s; \\ u_t = k_{FD2} \cdot U_{so} \cdot \cos \eta_s; \end{cases} \quad (7.3)$$

bunda, U_{so} – faza detektori kirishidagi kuchlanishning effektiv qiymati bo'lib, uning qiymati modulyatsiya chuqurligi m_{AM} ga proporsional hisoblanadi.

Xatolik signali detektor (XSD) faqat uzatish tomonida – komanda punktida joylashgan uzatish qurilmasidan signal kelgan vaqtdagina ochiladi. Buning uchun tizim ishlashidan oldin XSD stroblovchi impulsar generatoridan berilgan signal asosida sozlanadi, natijada sinxronlovchi signal-larning xalaqit sifatida ta'siridan himoyalanaadi. XSD uning kirishiga uzatish tomonidan yo'naltirilgan signal ta'sir etmasa yopiq ish holatida bo'ladi.

7.7. Radionurlanish hududida boshqarish tizimi

Radionurlanish hududida boshqarishni amalga oshirish tizimining funksional sxemasi 7.6-rasmda keltirilgan bo'lib, quyidagi asosiy bloklardan tashkil topgan: f_1 va f_2 – ikkilamchi tashuvchi chastotalar generatori; K – kommutator; RUQ – radiouzatish qurilmasi; AYDUU – antenna yo'naltirilganlik diagrammasini uzib-ulash qurilmasi.



7.6-rasm. Radionurlanish hududida boshqarishni amalga oshirish tizimining funksional sxemasi

Radionurlanish hududida boshqarish tizimidan radiosignal nurlanishi yo'nalishida uchish apparati (UA)ni bitta yuzada uchishini ta'minlashda foydalaniladi. Bu qurilmada UAning uchish yo'nalishini balandlashtirish uchun RUQsi f_1 chastotali va yo'nalishini past tomonga og'dirish uchun esa f_2 chastotali signalni antenna orqali UAga yuboradi.

UA bortidagi qabullash qurilmasi (BQQ) f_1 va f_2 chastotali signallarni bortdagi avtopilot (AP) uchishni boshqarish punktidan yuboriladigan signal

asosida boshqarish bloki kirishiga beradi. Avtopilot bloki shakllantiradigan signallar asosida UA harakati boshqariladi.

7.8. Yo'nalishini o'zi boshqarish tizimi

Yo'nalishini o'zi boshqarish tizim (YO'BT)larida radiovizir snaryadda joylashgan bo'ladi. Bu tur boshqarish tizimlarida oraliq masofa o'lganmaydi. Boshqarish signali sifatida maqsad va snaryad orasidagi uchish burchagining farqlanishidan foydalaniladi. Bunday boshqaruv tizimi yuqori aniqlikni ta'minlaydi, ammo uning asosiy kamchiligi bu UA radioelektronika boshqaruv tizimi texnik xarakteristikalarini, hajmi va og'irligiga qo'yiladigan talablarni amalga bajarishda yuzaga keladigan turli qiyinchiliklar hisoblanadi. Yuqorida keltirilgan kamchiliklarni qisman bartaraf etish uchun YO'BTlarda boshqa boshqaruv tizimlari bilan birga, uning maqsadga yaqinlashtirishning ohirgi bosqichida foydalaniladi.

YO'BTdan foydalanishda snaryad harakati quyidagi bosqichlardan o'tadi:

1. snaryadni YO'BT komandasi asosida ishlashga tayyorlash, maqsad tomon uchishidagi dastlabki xatoliklarni yo'qotish (tuzatish kiritish);
2. snaryadni maqsad tomon uchishini kuzatib borish;
3. snaryadni "o'lik" zonada harakatini ta'minlash.

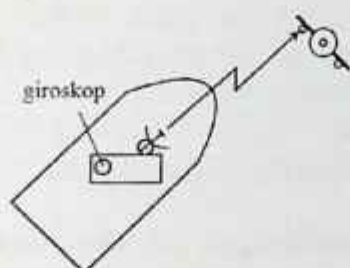
Boshqarishning boshlang'ich bosqichlari.

Snaryadni o'z-o'zini boshqarish ish holatiga tayyorlash bu snaryadni start holatida bo'lishini boshqarish yoki snaryadni u harakatlanadigan fazo hududiga chiqishini amalga oshirish ham bo'lishi mumkin. Snaryadni ish holatiga tayyorlash quyidagi bosqichlardan iborat: 1) maqsadni topish optik infraqizil kuzatish radiolokatsiya tizimi yordamida amalga oshiriladi; 2) maqsadni o'zimizniki – begona prinsipi asosida topish; 3) maqsadning snaryadni yo'naltirishga tegishli ko'rsatkichlarini aniqlash; 4) maqsadni tanlash; 5) snaryadni otishga tegishli hisoblashlarni bajarish, bunda uchirish (otish) yo'nalishini snaryadning maqsadga yaqinlashishidagi xatolikning iloji boricha kichik bo'lishini ta'minlash talab etiladi.

Kosmik uchish apparatini fazodagi kosmik stansiya o'zini-o'zi boshqarish asosida yaqinlashishini sxematik ko'rinishi 7.7-rasmda keltirilgan.

YO'BTdagi giroskopli AP kosmik apparat kosmik stansiya tomonga belgilangan yo'nalishda uchishini uning dvigatellarini boshqarish natijasida amalga oshiradi. KAning radiolokatori uning kosmik stansiya tomonga uchib borayotganligi haqida uzluksiz ma'lumotni – radiosignalni shakllantirib

boradi va yo'nalish koordinatalariga uzluksiz tuzatish kiritib boradi. KAning maqsad tomonga optimal traektoriya bo'yicha uchishini ta'minlovchi signallar uning kinematik va dinamik bloklarida hisoblashlar asosida amalga oshiriladi.



7.7-rasm. KAni kosmik stansiyaga o'zini-o'zi boshqarish asosida yaqinlashishini tushuntirishga tegishli chizma

KA yoki snaryad uchishining dastlabki bosqichidagi xatolik shu qadar kattaki, uni maqsad tomonga yo'naltirish uchun iloji boricha ko'ndalangiga eng katta tezlanish bilan harakatlanish talab etiladi. Bunda snaryad (KA) radiusi eng kichik yoy bo'yicha harakatlanadi. Dastlab boshqarish tizimi nochiziqli rejimda ishlaydi, boshlang'ich xatolik ma'lum bir belgilangan qiymatga yaqinlashgandan so'ng chiziqli ish rejimiga o'tadi va ushbu ish rejimida boshlang'ich xatolikni tizim ta'minlashi mumkin bo'lgan, imkoniyat darajasidagi aniqlikni ta'minlash darajasigacha bo'lgan xatolikni tuzatib boradi.

O'z-o'zini boshqarish tizimi (O'O'BT)dan foydalanishning eng kichik masofasi ikki kattalik R_1 va R_2 lar yig'indisiga teng bo'lib, bunda R_1 – O'O'BT nochiziqli ish rejimida ishlash masofasi; R_2 – xatolikning talab darajasida kichik bo'lishini ta'minlovchi masofa.

O'z-o'zini boshqarish tizimi kallagining maqsad vizirlari ikki turli bo'ladi:

- radioimpulslarni nurlatishga asoslangan radiovizirlar;
- uzluksiz signallarni nurlatishga asoslangan radiovizirlar.

Aerodinamik maqsadlar turli shakldagi uchish apparatlari murakkab geometrik shaklga egaligi uchun bunday apparatlar qaytaradigan nurlatishlar murakkab ko'rinishga ega bo'ladi. Odatda aerodinamik maqsadlar bir necha nurlatishlarni qaytaruvchi nuqtalarga ega bo'ladilar. Bu har bir radioto'l-qinlarni qaytaruvchi nuqta maqsadning ma'lum bir qismlarida joylashgan bo'lib, natijaviy qaytgan signal ushbu har bir alohida qaytgan nurlarning superpozitsiya (chiziqli yig'indisi)ga teng bo'ladi. Agar O'O'BT santimetrli

chastotalar diapazonida ishlashini e'tiborga olsak, u turli uch burchak bo'yicha tarqalishi natijasida signal amplitudasi bo'yicha fluktuatsiyalangan, tasodifiy miqdorda o'zgaruvchan bo'ladi.

Ko'rib chiqilayotgan O'O'BT radiovizirlarida foydali ma'lumot yakuniy signalning amplitudasi o'zgarishi orqali aks etishini e'tiborga olsak, bu hodisa maqsadni pelengatsiya qilish sifatini yomonlashtiradi. Qaytgan signal fluktuatsiyasini uch tashkil etuvchiga bo'lish qabul qilingan, bular: burchak bo'yicha taqsimlanish; amplituda bo'yicha taqsimlanish va shovqin-simon tashkil etuvchilar. Burchak shovqinining tasodifiy o'zgarishini kamaytirishning texnik yechimlari hozircha ma'lum emas.

7.9. Faol bo'lmagan (passiv) issiqlik vizirlari

Issiqlik vizirlari maqsadning infraqizil chastotalar diapazonida nurlantirishlaridan foydalanishga asoslangan. Issiqlik vizirlari foydalaniladigan to'lqin uzunligiga bog'liq ravishda ikki turga bo'linadi: issiq maqsadlar (to'lqin uzunligi 1,5...5 mikron); sovuq maqsadlar (to'lqin uzunligi 5...13 mikron).

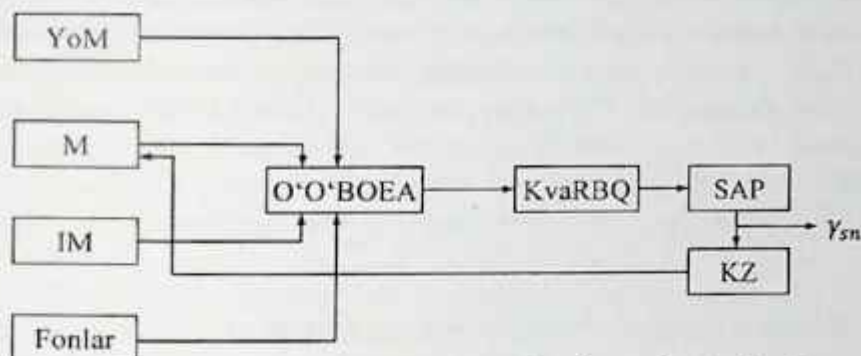
Passiv issiqlik vizirlarining ishlash prinsipini unda foydalaniladigan infraqizil diapazonidagi nurlanishlar belgilaydi.

Porshinli samolyotlarning asosiy nurlatuvchi elementi bu ularning yonish qoldig'i – tutun chiqarish trubalari bo'lib, samolyotning 30...40% nurlanish energiyasi uning dvigateli chiqaradigan tutunlar hisoblanadi. Reaktiv samolyotlarning asosiy infraqizil diapazonidagi nurlanishlarini uning dvigatelining orqa tomonidan chiquvchi va undagi 2000 C° gacha qizigan gazlar hosil qiladi. Tovushdan tez uchuvchi apparatlarning nurlatuvchi qismlari ularning ustki qobiqlari hisoblanadi. Ballistik raketalarining kallaklari atmosferaning issiq qavatlariga kirganda qizil yoki oq ko'rinishda qizigan holatda bo'ladi va infraqizil nurlanishlar chiqaradi. Yuqorida keltirilganlarning hammasi aerodinamik maqsadlar infraqizil diapazonda nuqtasimon nurlatkich deb hisoblanishi mumkin.

7.10. Optik-elektron o'z-o'zini boshqarish tizimlarining umumlashgan sxemasi

Optik-elektron (OE) o'z-o'zini boshqarish tizimlarining umumlashgan strukturaviy sxemasi 7.8-rasmda keltirilgan bo'lib, u quyidagi qism va bloklardan iborat: YoM – yolg'on maqsad; M – maqsad; IM – ikkilamchi maqsad; Fonlar – optik qismdagi fon nurlatishlari; O'O'BOEA – o'z-o'zini

boshqarish optik-elektrik apparati; KvaRBQ – kuchaytirgich va rulni boshqaruvchi qurilma; SAP – snaryad avtopiloti; KZ – kinematik zveno.



7.8-rasm. Optik-elektron o'z-o'zini boshqarish tizimlarining umumlashgan strukturaviy sxemasi

To'g'ridan-to'g'ri o'z-o'zini boshqarish tizimlari va maqsad orasida ma'lumotlar ayriboshlash maqsad passiv nurlatkichining nur oqimi orqali amalga oshiriladi. Boshqaruvchi obyekt harakat traektoriyasiga bog'liq bo'lmagan holda OE o'z-o'zini boshqarish tizimi kuchaytirish qurilmasi kirishiga boshqaruvchi ma'lumotlar signali beriladi.

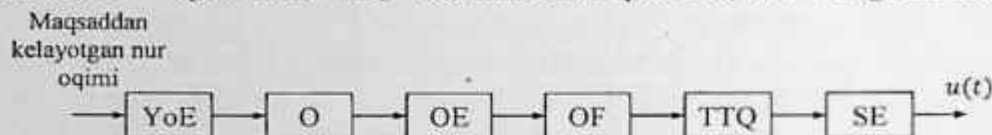
OE o'z-o'zini boshqarish tizimi optik o'qi hamma vaqt maqsad tomonga yo'naltirilgan bo'lishi shart. Eng oddiy pelengator snaryad koordinatalarini uning qobig'iga bog'liq holda aniqlaydi, ya'ni pelengatorning yo'nalishi bo'yicha o'tkazilgan o'q chizig'i boshqarilayotgan obyekt uchish o'qining davomini tashkil etadi. Bunday pelengatorlardan harakatsiz (ham harakatli) maqsadlarga nisbatan o'q otishda foydalaniladi.

Kuzatuvchi pelengatordan foydalanilganda uning bosh o'qi fazoda muqim holatni egallaydi va boshqarish jarayonida o'z bosh o'qidan sezilarli darajada og'ishi mumkin. O'z-o'zini boshqarish tizimi ikki asosiy qismlardan tashkil topgan bo'ladi: maqsadni topish va uni kuzatish; boshqarish signallarini o'zgartirish.

Maqsadni topish tizimining asosiy qismi bu uning optik-elektron tizimidir. OE qism nurlanish energiyasini qabul qilib, maqsadning tasvirini shakllantirish va tahlil etish asosida uning nurlatishlarini ajratadi. Ushbu o'lchash va tahlillar asosida maqsadning boshqarilayotgan obyektga ma'lum bir koordinatalari tizimiga nisbatan holati haqidagi ma'lumotlarni beruvchi elektr signalini shakllantiradi.

7.11. O'z-o'zini boshqarish tizimi kallagi optik qismi

O'z-o'zini boshqarish tizimi kallagi optik qismining tarkibiy tuzilish sxemasi 7.9-rasmda keltirilgan bo'lib, u quyidagi qism va elementlardan iborat: YoE – nurni yoyuvchi element; O – obyektiv; OE – og'diruvchi element; OF – optik filtr; TTQ – tasvirni tahlil qiluvchi; SE – sezgir element.



7.9-rasm. O'z-o'zini boshqarish tizimi kallagi optik qismining tarkibiy tuzilish sxemasi

O'z-o'zini boshqarish tizimi optik qismi signal-fon nisbatini kattalashtirishga xizmat qiladi. Fonni birlamchi filtrlash uchun yorug'likni obyektiv yuzasiga bir xil yoyuvchi moslama – blendadan foydalaniladi. Obyektiv kallakning eng asosiy qismi hisoblanadi, u parallel nursimon oqimni obyektiv ichki tekis yuzasiga tushishini kuchaytiradi. Unga bo'lgan asosiy talab bu uning o'lchamlari iloji boricha kichik bo'lishi, vazni kichik va fonni yo'qotishni ta'minlash hisoblanadi. Obyektivlar linza va ko'zgusimon bo'lishi mumkin. Linzasimon obyektivlar ko'zgusimonga nisbatan og'ir va o'zining xususiyatini u orqali o'tayotgan nurlanish energiya oqimiga bog'liq ravishda o'zgartiradi. Ko'zgusimon obyektivlar nurlanish energiya oqimi ta'sirida o'z xususiyatlarini o'zgartirmaydi, bu esa uning afzalligi hisoblanadi, ammo ularning kamchiligi nurlanish energiyasi dastlab foto qabullagichga, so'ngra esa ko'zguga tushadi.

Og'diruvchi element maqsaddan aks etayotgan nurlanish oqimini hamma vaqt optik tizim o'qi bo'yicha yo'nalgan bo'lishini ta'minlaydi. Optik tizim fokusida optik filtr joylashgan bo'lib, u fonni yo'qotishga xizmat qiladi. Optik filtrdan o'tgan tasvir yorug'ligiga mos nurlanish oqimi ajratiladi va u optik chastotalar diapazonida bo'lgan boshqarish signalini shakllantiradi. Yorug'likni sezuvchi element – fotoelement optik signalni elektr signaliga o'zgartirib beradi.

7.12. Komanda orqali radioboshqaruv tizimi

Uzoq masofadan turib obyektlarni boshqarishda komanda orqali radioboshqaruv tizimidan foydalaniladi. Komanda orqali radioboshqaruvni amalga oshirish uchun qo'shimcha komanda berish radioliniyasini tashkil

etish kerak. Komanda orqali radioboshqaruvda obyekt (raketa) va maqsadning bir-biriga nisbatan joylashish holati Yerda yoki raketada o'rnatilgan radiovizir orqali aniqlanadi. Komanda orqali boshqarish ikki turli bo'ladi. Komanda orqali radioboshqaruv tizimining turidan qat'iy nazar boshqarish komandalari komanda berish punktida shakllantiriladi.

Komanda radioliniyalarining ko'pgina turlari yaratilgan bo'lib, ularning aksariyati ko'p kanallidir. Ko'p kanalli radioliniyalarni zichlashda chastota va vaqt bo'yicha zichlash usulidan foydalaniladi. Radioliniyalar xalaqitbardoshligini oshirish uchun shakl bo'yicha ajratish usulidan ham foydalaniladi.

Radioliniyalardan foydalanish umumiy – ochiq yoki cheklangan (maxsus ruxsatnoma orqali kiriladigan) bo'lishi mumkin. Hamma ko'p kanalli radioliniyalarda ko'p bosqichli modulyatsiya turlaridan foydalaniladi. Ko'p bosqichli modulyatsiyadan foydalanish radioliniyaning xalaqitbardoshligini oshiradi va ma'lumotlarni yashirin uzatish imkoniyatini va komandalarni uzatish bilan bir vaqtda raketa (snaryad)ning uchish traektoriyasini o'lchash imkoniyatini beradi.

Komanda orqali radioboshqaruv tizimi u bajaradigan vazifa va radiovizirning o'rnatilgan joyiga qarab quyidagi uch turga bo'linadi: KORB-1, KORB-2 va KORB-3.

KORBlarni yaratishda va tashkil etishda albatta uchish apparati borti bilan radioliniya orqali bog'lanish bo'lishini e'tiborga olish kerak.

KORB-1 dan foydalanilganda snaryad va maqsad koordinatalari komanda berish punktida o'lchanadi. Komanda berish radioliniyasi orqali komanda raketa bortiga uzatiladi.

KORB-2 dan foydalanilganda maqsad radioviziri raketa bortida o'rnatilgan bo'ladi. Snaryadga nisbatan maqsadning joylashishi koordinatalari haqidagi ma'lumotlar komanda berish punktiga uzatiladi.

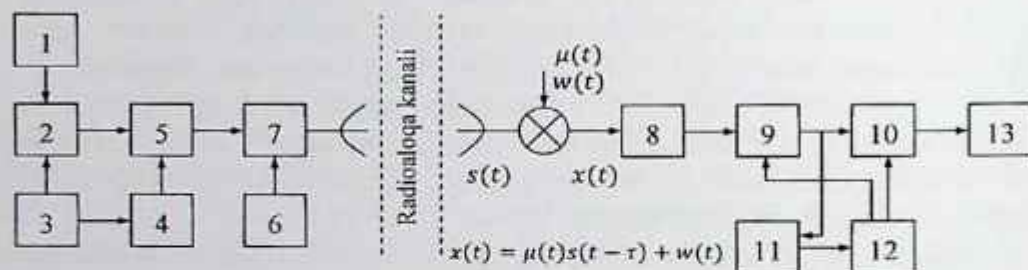
KORB-3 dan foydalanilganda maqsadlar va maqsad vizirlari bir yerda (nuqtada) joylashgan bo'ladi. Bu tizimdan samolyotni qo'nish polosasini ko'rmasdan qo'ndirishda foydalaniladi.

7.13. Analog komanda liniyalari

Analog signal orqali komanda uzatish radioliniyasining umumlashgan strukturaviy sxemasi 7.10-rasmda keltirilgan bo'lib, u quyidagi qism, qurilma va bloklardan tashkil topgan:

- 1 – komanda manbai;
- 2 – komanda signallarini kodlash qurilmasi;

- 3 – sinxronizatsiyalash tizimi;
- 4 – sinxronizatsiyalash signallarini kodlash qurilmasi;
- 5 – kanallar signallarini zichlash qurilmasi;
- 6 – yuqori chastotali tashuvchi manbai;
- 7 – radiouzatish qurilmasi;
- 8 – radioqabullash qurilmasi;
- 9 – dekodlash qurilmasi;
- 10 – ko‘p kanalli signallarni ajratish – taqsimlash qurilmasi;
- 11, 12 – sinxronlash signallarini dekodlash qurilmasi;
- 13 – komanda (xabar)larni oluvchi.



7.10-rasm. Analog signal orqali komanda uzatish radiolinyasining umumlashgan strukturaviy sxemasi

Umumiy holatda har qanday radiokanallarda additiv va multimlikativ xalaqitlar hamma vaqt mavjud bo‘ladi. Analog radioliniyalarda ular bajaradigan vazifalariga qarab 2, 3, 4, 5, 9, 10, 11, 12 qurilmalardan ba’zilari bo‘lmasligi mumkin.

7.14. Raqamli komanda radioliniyalari

Raqamli komanda radioliniyalari haqida birlamchi ma’lumotlar.

Analog radioliniyalardan foydalanish, ularda quyidagi asosiy kamchiliklar bo‘lishini tasdiqladi:

- nisbatan past xalaqitbardoshlik;
- nisbatan past kriptohimoyalanganlik.

Komanda radioliniyalari quyidagi talablarga javob berishi kerak:

- bir vaqtning o‘zida boshqaruv signallari, telemetriya signallari, uchish apparatlari traektoriyalarini o‘lchash natijalari, televizion va tovush signallarini uzatishni ta’minlashi;

– keng dinamik diapazondagi boshqaruv komandalarini uzatishni ta'minlashi;

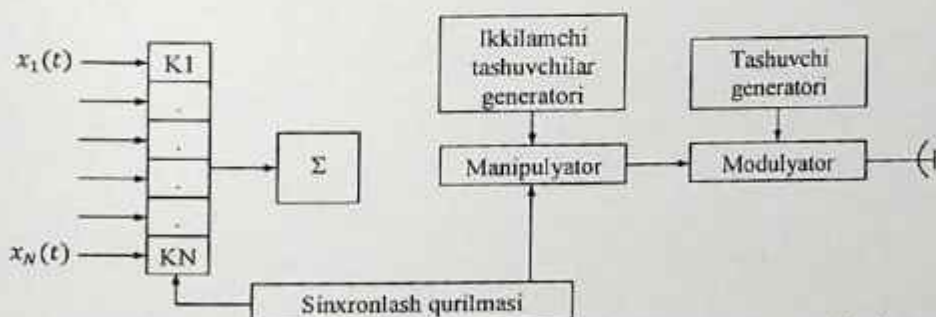
– kriptohimoyalanganlik va uzatilayotgan signalni qalbaki shakllantirishidan yuqori darajada himoyalanganlikni ta'minlashi;

– komanda radioliniyasi ish holati shunday tashkil etilishi kerakki, dushman tomoni radioliniyaning hattoki ishlab turganligini aniqlay olmasin;

– komanda radioliniyasi ko'p sonli ma'lumot manbalari va ma'lumot oluvchilar bilan bir vaqtda ishlashini ta'minlay olsun.

Yuqorida keltirilgan hamma talablarni faqat komanda raqamli liniyalaridan foydalanib amalga oshirish mumkin. Raqamli radioliniya deganda analog yoki diskret xabarlarini dastlab kodlab, so'ngra uzatiladigan tizim tushuniladi. Bunda kodlash qurilmasi axborotni siqish va xalaqitbardosh kodlardan foydalanishi ham e'tiborda bo'ladi. Komanda raqamli radioliniyalari hozirgi yuqori talab darajasiga katta va uzoq vaqt davomida rivojlanish natijasida erishadi. Zamonaviy raqamli komanda radioliniyalari 100...1000000 bit/sek tezlikda ma'lumotlar uzatishni ta'minlaydi, xalaqitbardoshligi potensial xalaqitbardoshlikka yaqin bo'lib, 10 metrdan 100 million kilometr masofada ma'lumotlar almashishni ta'minlaydi.

Raqamli radioliniya uzatish qismining umumlashgan strukturaviy sxemasi 7.11-rasmda keltirilgan.



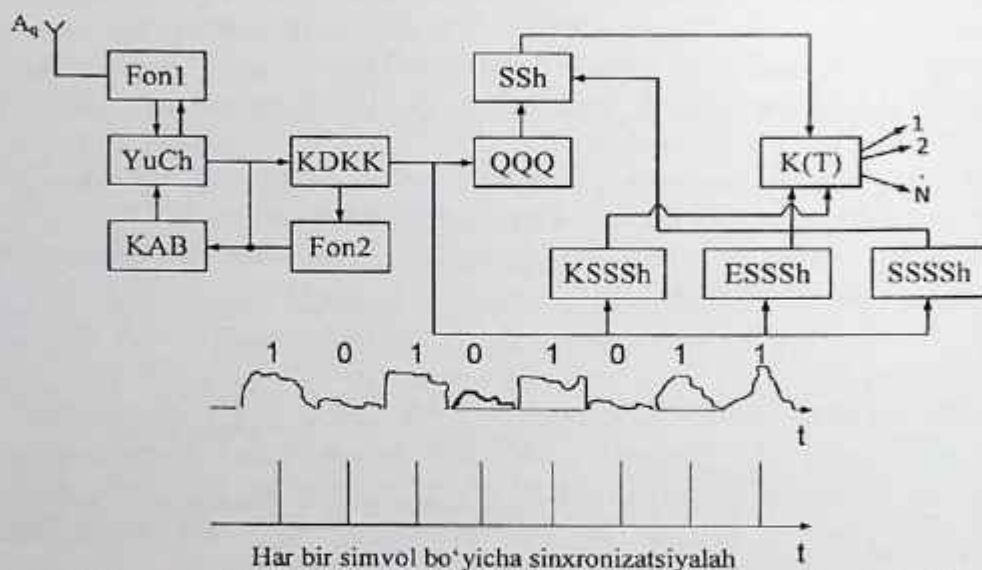
7.11-rasm. Raqamli radioliniya uzatish qismining umumlashgan strukturaviy sxemasi

Raqamli xabarlarini uzatish uchun turli kodlash usullari yaratilgan: 1) pauzasi (sukunati) passiv bir qutbli signal; 2) ikki qutbli aktiv pauzali signal; 3) bir qutbli turli fazali signal. Bu yuqorida keltirilgan uch tur signallarning chastotalar spektri turlicha, chunki ular bir-biridan shakli bo'yicha farqlanadilar.

Komanda signallarini guruhga biriktirish bloki chiqishida komanda signallarining to'plami hosil qilinadi. Komanda so'zlari sinxronlash

signallari bilan qo'shib uzatiladigan xabar (ma'lumot)lar kadrini hosil qiladi. Kadring o'ziga xos xususiyati shundan iboratki, sinxronlash signalidan so'ng albatta ma'lum bir ketma-ketlikda uzatiladi. Ma'lumotlarni bu usulda uzatish tizimi sinxron uzatish tizimi deb ataladi. Agar komandalarni asinxron uzatish talab etilsa, u holda har bir komanda so'zi oldiga ma'lumotni oluvchi adresi (manzili) yoki so'z bo'yicha sinxronlash belgisi kiritiladi. Agar uzatiladigan komandalar soni ko'p bo'lsa u holda uzatiladigan komanda guruhlari oldiga ularning har birini alohida-alohida uzatishni bildiruvchi sinxronlash belgilari kiritiladi.

Komanda raqamli radioliniyasi qabullash qismining umumlashgan strukturaviy sxemasi 7.12-rasmda keltirilgan.



7.12-rasm. Raqamli radioliniya qabullash qismining umumlashgan strukturaviy sxemasi

YuCh – yuqori chastota; KAB – kuchaytirishni avtomatik boqarish; KDKK – kodlar diskret ketma-ketligi; QQQ – qaror qabull qilish; SSH – signalni shakllantirish; K(T) – kommutator (taqsimlagich); KSSSh – kadr sinxronlash signalini shakllantirish; ESSSh – elementar sinxronlash signalini shakllantirish; SSSSh – so'z sinxronlash signalini shakllantirish.

Radioliniya qabullash qurilmasi signalning har bir elementini kogerent qabullashni amalga oshiradi va buning uchun quyidagi jarayonlarni bajaradi: asosiy tashuvchisi f_0 bo'lgan signalni ko'paytirish, uni ikkilamchi chastotalarga mos ravishda bir-biridan ajratish (agar radioliniya ko'p kanalli bo'lsa).

Kogerent qabullash qurilmasi chiqishida videochastotalar signali shakllanadi. Qabullash qurilmasining asosiy qismi uning qaror qabullash qismi (QQQ) hisoblanadi.

Radioliniya qabullash qismi quyidagilardan tashkil topgan:

QQQ – qaror qabullash qurilmasi;

HSMST – har bir simvol bo'yicha sinxronlash tizimi, bu tizim takrorlanishi takt chastotasiga teng bo'lgan vaqt belgilarini shakllantiradi;

HSST – har bir so'z bo'yicha sinxronlash tizimi, bu tizim takrorlanishi so'zlar davomiyligiga teng davrlarda takrorlanuvchi vaqt belgilarini shakllantiradi;

KST – kadr bo'yicha sinxronlash tizimi, bu tizim takrorlanish davri kadr davomiyligiga teng bo'lgan vaqt belgilarini shakllantiradi;

Sh – impulsar ketma-ketligini shakllantiruvchi qurilma, bu qurilma QQQ qarori asosida 1 va 0 lardan tashkil topgan impulsar ketma-ketligini shakllantiradi;

K – kommutator, bu qurilma qabul qilingan xabarni aniq bir belgilangan xabarni oluvchiga yetkazib beradi.

Qabul qilish qurilmasi antennasiga tashuvchisi chastotasi f_0 bo'lgan, additiv va multiplikativ xalaqitlar ta'sirida buzilgan signal ta'sir qiladi. Bundan tashqari qabullanayotgan signalga maxsus shakllantirilgan xalaqitlar ham ta'sir etishi mumkin.

Signal elementlarini kogerent qabullash qurilmasi chastotasi f_0 bo'lgan signalni kuchaytiradi, filtrlaydi va ikkilamchi tashuvchilar chastotalari asosida ularni bir-biridan ajratadi. AD chiqishida turli xalaqitlar ta'sirida shakli buzilgan impulsar ketma-ketligi hosil bo'ladi. QQQ ushbu shakli buzilgan impulsar tarkibida 1 va 0 lar borligi yoki yo'qligi haqida qaror qabul qiladi. QQQsi takt sinxronizatsiyasi signalisiz hech bir qaror qabul qilmaydi. Qabul qilinayotgan simvolning 1 yoki 0 ekanligi haqidagi qaror ushbu simvollar davomiyligining ohirgi vaqtida qabul qilinishi eng optimal (mutanosibi) hisoblanadi. Raqamli radioliniyalari uchish apparatlarini boshqarishga mo'ljallanganligi uchun albatta takt sinxronizatsiyasi amplituda detektori chiqishidagi impulsar ketma-ketligi bilan sinxron va bir xil fazada bo'lishi talab etiladi. Shakllantiruvchi qurilma QQQ qarori asosida davomiyligi bir xil bo'lgan, uzatilayotgan ma'lumotlarni aks ettiruvchi impulsar ketma-ketligini shakllantiradi. Kadr sinxrosignallari tizimi ma'lumot elementar signallari blokining boshlanishini bildiruvchi impulsarni shakllantiradi. Takt sinxronizatsiyasi tizimi qabullanayotgan ma'lumotlar impulsari asosida takt impulsarini shakllantiradi. Kommutator K ma'lumotlarni ma'lumotlar tegishli bo'lgan abonentlarga yetkazib beradi.

7.15. Radionavigatsiya tizimlari

Samolyotlar, kosmik apparatlar, dengiz kemalari harakatini radiotexnik usullardan foydalanib boshqarish tizimlari radionavigatsiya tizimlari (RNT) deb ataladi. Navigatsiya tizimlaridan boshqarilayotgan obyektlarning Yer ustidagi ma'lum nuqtaga nisbatan koordinatalarini yoki turli harakat yo'nalishini aniqlash talab qilinadi. Navigatsiya asosida obyekt koordinatalarini aniqlashga bo'lgan talablar nihoyatda yuqori darajani tashkil etmoqda. Dastlab dengiz va okeanlardagi (suv havzalaridagi) obyektlarning koordinatalari quyoshga nisbatan aniqlangan. Hozirda yulduzga nisbatan joylashish koordinatalarini burchakni o'lchash asbobi asosida radiomayoqlar, mayoqlar, Yer sun'iy yo'ldoshiga nisbatan aniqlash texnik vositalaridan foydalaniladi. Ba'zan Yerning har qanday nuqtasidan har qanday ob-havo sharoitida radionavigatsiya natijalari yuqori darajada bo'lishi talab etiladi.

Radionavigatsiya tizimlari umumiy holda quyidagi tizim osti qismlaridan tashkil topgan bo'lib, ular obyektning koordinatalarini, harakatlanish tezligini Yer yuzasi ma'lum nuqtasi koordinatalariga asosan aniqlash, olingan ma'lumotlarni monitorlarda aks ettirish va obyektlar harakatini boshqarish qismlaridan iborat bo'ladi:

1. Radionavigatsiya koordinatalari (RNK) – obyekt holati va harakati haqidagi axborotlarni tashuvchi ichki va tashqi xalaqitlar ta'sirida bo'lgan signallarni qabul qilish va unga ishlov berishni amalga oshiradi.

2. RNKdan olingan axborot signaliga tizim oldiga qo'yilgan masalani yechishga yo'naltirilgan ravishda ishlov berishni amalga oshiradi. Buni amalga oshirish uchun algoritm va dasturiy ta'minotlar asosida axborot signallariga ishlov beradi.

3. RNKni boshqa texnik vositalar bilan hamjihatlik (birgalik)da ishlashini ta'minlovchi qurilma.

4. RNT operatori uchun axborotni aks ettirish qurilmasi yoki avtopilot bilan birgalikda ishlashni ta'minlovchi qurilma.

5. Boshqaruvchi operator (dipetcher) ish joyi.

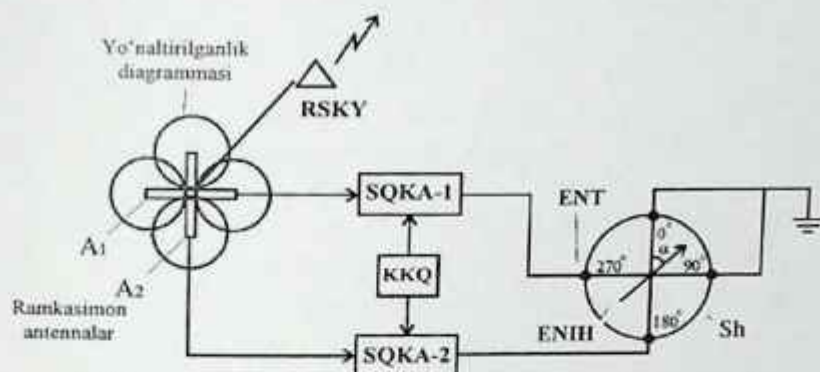
6. Texnik xizmat ko'rsatuvchi operator (dispatcher)larning ish joylari va stendlari.

7. Tizim holatini nazorat qiluvchi qurilma.

8. Tizim faoliyatiga ta'sir etuvchi tashqi ta'sirlarni nazorat qiluvchi qurilma.

Dastlabki katta samarali radionavigatsiya tizimlardan biri bu ikki bir-biriga perpendikulyar yo'naltirilgan antennalarga burchak ostida ta'sir

etuvchi signallarning amplitudalarini taqqoslash prinsipiga asoslangan radiopelengatorlar hisoblanadi (7.13-rasm).



7.13-rasm. Radiopelengator strukturaviy sxemasi

7.13-rasmda strukturaviy sxemasi keltirilgan radiopelengator quyidagi qurilma va qismlardan tashkil topgan:

SQKvaA – signalni qabullash, kuchaytirish va ajratish qurilmasi;

ENT – elektron-nur trubkasi (ma'lumotni aks ettiruvchi asbob);

KKQ – kanalni kalibrovkalash qurilmasi;

Sh – burchak shkalasi, graduslarda belgilangan;

ENIH – elektron nur izi holati;

RSKY – radiosignalning kelish yo'nalishi.

Radiopelengator quyidagicha ishlaydi. Radiosignal antennalar orqali signalni qabullash, kuchaytirish va ajratish qurilmasiga ta'sir etadi. Kuchaytirilgan signallar elektron-nur trubkaning bir-biriga perpendikulyar bo'lgan elektrodlariga beriladi va u ENT ekranida nur ko'rinishida yoyiladi. ENT elektrodlariga berilgan signallar amplitudalari antennaga ta'sir etgan signal sathiga bog'liqligi uchun nurning yo'nalishi signal kelayotgan tomonga mos keladi.

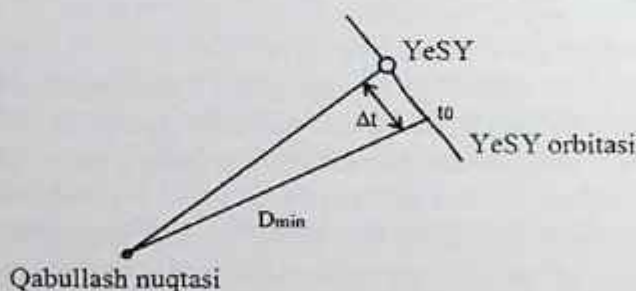
Burchakni o'lchashga asoslangan RNTlari amplitudasi modulyatsiyalangan signallardan foydalanib avtomatik radiopelenglashga asoslangan. Bu pelengatorlardan samolyot va kemalarning radiokompaslarida foydalaniladi. Bu tur radiopelengatorlar radiomayoq tomonga yo'nalishni pelenglaydi. Bundan tashqari antennalari kam yo'naltirilgan kuzatuvchi tizimlardan ham foydalaniladi. Bu tur radiopelengatorlar radionurlarni yaxshi qabul qiladi va antennalarni radionurlanishlar (mayoq) tomonga har ikki antennalar chiqishlaridagi signallar sathi bir-biriga teng bo'lmaguncha davom ettiradi.

Fazoda o'z o'rnini aniqlash tizimi. Bunday tizimlarda antenasi yo'naltirilganlik diagrammasi tor bo'lgan doimiy kuzatuv olib boruvchi radiolokasion stansiyalardan foydalaniladi. Bundan tashqari o'z o'rnini radiomayoq va Yer sun'iy yo'ldoshlariga nisbatan aniqlash usulidan ham foydalaniladi.

Impuls (kechikish vaqti asosida) masofani o'lchash qurilmalari. Impulsning kechikishini o'lchash asosida masofani aniqlash qurilmalari obyektgacha bo'lgan masofani yuqori aniqlik bilan o'lchaydi. Bunda RLS uzatkichi va qabullash qurilmalari bitta antennadan foydalanadi. Bunda so'rov signalini qabullash va javob berish amalga oshiriladi, ya'ni RLSni "javob beruvchi" sifatida "o'zimizniki-begona"ni aniqlashda foydalanish mumkin. Javob beruvchi impuls signallaridan u joylashgan nuqtaning burchak koordinatalarini aniqlash mumkin.

7.16. Yer sun'iy yo'ldoshidan foydalanishga asoslangan radionavigasion tizimlar

Yer sun'iy yo'ldoshi orqali obyekt koordinatalarini aniqlash YeSYni koordinatalari aniqlanishi kerak bo'lgan obyekt ustidan uchib o'tishi vaqtida dopler siljishini o'lchashga asoslangan (7.14-rasm).



7.14-rasm. YeSY uchishida dopler siljishini o'lchash sxemasi

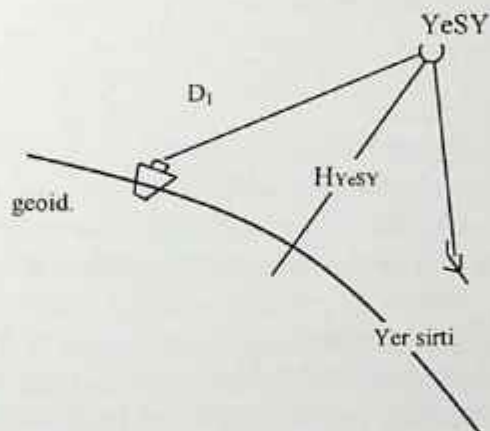
Kuzatilayotgan — koordinatalari aniqlanishi kerak bo'lgan obyekt ustidan uchib o'tishda dopler chastotasi o'z fazasini musbatdan manfiyga almashtiradi. YeSYning uchish traektoriyasi bir necha oy burun, avvaldan ma'lum bo'lib, jadval ko'rinishida kerakli tashkilotlarga tarqatiladi. Har bir YeSY o'zining ishchi chastotasi va o'ziga xos signal shakliga ega bo'ladi.

YeSY uchganda hosil bo'ladigan chastotaning dopler siljishi qiymati quyidagi formula orqali hisoblanadi:

$$\Delta f_D(\Delta t) = f_s(\Delta t) - f_{s0} = \frac{f_{s0}}{c} \frac{v_{YeSY} \Delta t}{\sqrt{\Delta t^2 + (D_{min}/v_{YeSY})^2}}. \quad (7.4)$$

Geoidada koordinatalar $\Delta f_D = 0$ qiymatdan o'tishi orqali yoki YeSY nurlataetgan chastota Δf_{s0} ni o'z belgisini musbatdan manfiyga yoki aksincha o'zgarish vaqti orqali belgilanadi. (7.4) formulada D_{min} – YeSY va koordinatalari aniqlanayotgan obyekt orasidagi masofa; Δt – obyektни YeSY orqali kuzatish vaqti oralig'i; c – radioto'lqinlarning ochiq fazoda tarqalish tezligi; f_{s0} – YeSYning ishchi chastotasi; $f_s(\Delta t)$ – YeSY chastotasining Δt vaqtdan so'nggi dopler effekti ta'sirida siljigan qiymati. Geoida – bu Yerning sferik yuzasidan farqlanuvchi shartli o'rtacha yuzasi.

Geoidada obyekt koorinatalarini aniqlashning yana bir usuli bu geostasionar orbitada bo'lgan YeSYlariga bo'lgan yo'nalishni aniqlashga asoslangan (7.15-rasm).



7.15-rasm. Geoidada obyekt koorinatalarini aniqlashga oid

Har bir YeSY teleeshittirishlar olib boradi, shuning uchun uning holati – geostasionar orbitadagi koordinatalari katta aniqlik bilan ma'lum.

Zamonaviy radionavigasion tizimlar geostasionar orbitadagi yoki past orbitada harakatlanuvchi YeSYlari nurlatadigan maxsus signallarning parametrlarini o'lchashga asoslangan. Signallarning fazoviy bog'liqliklarini o'lchashga asoslangan RNT obyektlarning koordinatalarini bir necha metrgacha aniqlik bilan hisoblash imkoniyatini beradi. Obyektlarning koordinatalarini yuqori aniqlik bilan aniqlash maxsus YeSYlari, misol uchun: GPS, GELIOS va NAVSTAR sun'iy yo'ldoshlari tizimi yordamida amalga oshiriladi.

Ba'zan o'lchash tizimida xotirasida joyning xaritasi kiritilgan shahsiy EHM bo'ladi, bu EHM Yer sharining kerakli xaritasini INTERNET orqali chiqarib olib, unda o'lchash tizimining joylashgan nuqtasi ko'rsatiladi.

7.17. Kosmik apparatlarni boshqarishni tashkil etish. Kosmik tizimlarning vazifalari

Hozirgi davrda har qanday davlatni boshqarishning turli sohalari kosmik texnologiyalardan foydalanmasdan amalga oshirilishini tasavvur qilish qiyin.

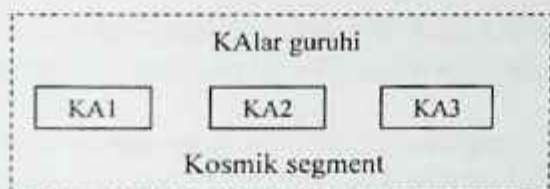
Kosmik texnologiyalardan foydalanishning asosiy sohalari quyidagilardan iborat:

- aloqa, telekommunikatsiya sohasi;
- navigatsiya;
- tabiiy boyliklarni tahlil etish;
- geodeziya;
- harbiy;
- tele va radioeshittirish;
- uchish apparatlari harakatini boshqarish;
- yaqin va uzoq kosmosda ilmiy-tekshirish ishlarini olib borish;
- suv havzalari (dengiz va okeanlar)da harakatlanayotgan kema va fazodagi uchish apparatlaridagi favqulodda holatlarni aniqlash va boshqalar.

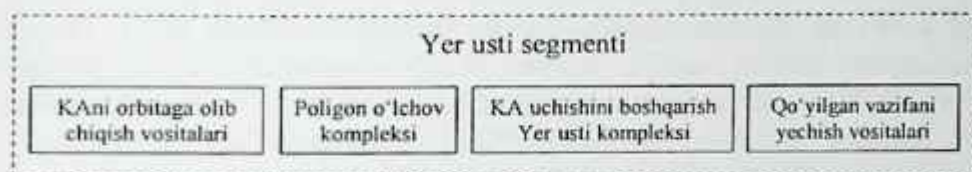
Kosmik tizim oldiga qo'yilgan vazifaga qarab, uning tuzilishi va xizmat turlari, KA ishlash orbitasi, KA bortidagi va u bilan hamkorlikda ishlaydigan Yer stansiyasining tuzilishi va tarkibi aniqlanadi.

KAni jihozlashni u bajarishi kerak bo'lgan vazifalarga qarab unga o'rnatiladigan antennalar, teleskoplar, fotoapparatlar obyektlari, quyoshdan elektr energiyasi olish panellari va boshqalar belgilaydi. Kosmik apparat bajarishi kerak bo'lgan vazifalarga qarab, uning fazoda joylashish koordinatalari, antennalarining yo'nalishi, fazodagi holatining doimiyligi (stabilizatsiyalanganligi), KAning o'zini boshqarish tizimlari va umuman kompleks (majmua)ni boshqarish turiga qarab unga qo'yiladigan talablar turlicha bo'ladi.

Kosmik tizim kosmosda joylashgan tizimga qo'yilgan vazifalarni bajaruvchi KAlar guruhidan (kosmosdagi qismdan) va Yerdagi joylashgan qism (Yerdagi qism)dan iborat bo'ladi (7.16a-rasm).



a)



b)



v)

7.16-rasm. Kosmik tizimning tarkibi

Kosmik tizimning Yerdagi qismi. Kosmik tizimning Yerdagi qismi KA yoki KAlar guruhini fazoga uchirish, ular doimiy ishlaydigan orbitada joylashishini ta'minlovchi, KA yoki KAlar guruhi oldiga qo'yilgan vazifalarni bajarish uchun kerakli texnik vositalar, KA yoki KAlar guruhi signallarini qabullash, qabul qilingan signallarga ishlov berish va ulardan maqsadli foydalanish tizimlari, bir necha komanda berish va o'lchash stansiyalaridan iborat bo'lgan KAlarni kuzatishni amalga oshiruvchi vositalardan, KAlar uchishini boshqarish markazi va yana bir qator qismlardan tashkil topgan bo'ladi. Ma'lum bir KAni boshqarishni ta'minlovchi Yerdagi joylashgan vositalar majmuasi ushbu tur KAni Yerdan boshqarish (KAEB) majmuasi deb ataladi (7.16b-rasm).

Hamma KAlarni boshqarish Yer usti va ularga qo'yilgan vazifalarni amalga oshirishni boshqarish tizimlari, yagona Yer usti avtomatlashgan boshqarish davlat kompleksi deb ataladi (7.16v-rasm).

Har bir poligonda KAlarni fazoga olib chiquvchi turli raketalarni parvozga tayyorlash va uchirish bunkerlari, ularni boshqarish apparaturalari bo'ladi.

Har bir KAlarni fazoga olib chiquvchi raketalar uchun uning qismlarini biriktirish va sinovdan o'tkazish kompleksi (BSK) mavjud bo'lib, bu yerda raketa uchirishga tayyorlanadi, bundan tashqari raketani uchirishga tayyor holatga keltirish, uni yoqilg'i bilan to'ldirish va uchirish kabi turli xizmatlar amalga oshiriladi. Bundan tashqari har bir poligon tarkibiga: KAni fazoga olib chiquvchi raketa uchirish trassasi bo'yicha joylashgan telemetriya stansiyasi, uchirish traektoriyasini o'lchash (shu jumladan optik) stansiyalari hamda raketani uchirish natijasida olingan telemetriya va traektoriya haqidagi ma'lumotlarga ishlov berish kompleksi ham kiradi.

KA bajarayotgan vazifalar haqidagi maqsadli ma'lumotlarni qabullash va undan kerakli axborotlarni olish bilan KAni uchirishga buyurtma bergan tashkilot shug'ullanadi. Misol shaklida maqsadli vazifalarni bajaruvchi ba'zi KA texnik vositalarini ko'rib chiqamiz.

Aloqa tizimi uchun: ma'lum turdagi axborot (raqamli, telefon, telera-dioeshittirish va h.k) signallarini ayirboshlovchi KA bortida joylashgan signal retranslyatorlari va Yerdagi aloqa stansiyalari.

Navigatsiya tizimlari uchun: navigasion va xizmat signallarni shakllantiruvchi KA bortida joylashgan tizimlar, KA guruhi orbitalarini aniq aniqlovchi Yer usti tarmog'i, KA uchun aniq vaqtini xotirada saqlash va unga tuzatishlar kiritishni shakllantirish, navigatsiya maydonini nazorat qilish tizimi va boshqalar.

Yerni masofadan turib o'rganish (zondlash) tizimi uchun: KA bortida joylashgan Yer yuzasini kuzatuvchi foto va televizion tizimlar, yon tomonni kuzatuvchi radiolokatsiya stansiyasi, ma'lumotlarni shakllantirish vositalari va ma'lumotlarni qabullash hamda ularga ishlov berish Yer usti stansiyalari.

Ilmiy KAlar uchun: bortga o'rnatilgan ilmiy apparatlar va ilmiy apparatlar ish jarayonini boshqarish asboblari, ma'lumotlarni shakllantirish, ilmiy ma'lumotlarni qabullash Yer usti stansiyasi.

KAlar ish orbitalari sifatida quyidagilardan foydalaniladi.

Aloqa tizimi uchun: doirasimon orbita, bunday orbitada odatda bir necha KAlar joylashgan bo'ladi; geostasionar orbita, bunday orbitada odatda Yerga nisbatan qo'zg'almas deb hisoblanadigan bitta KA bo'ladi.

Navigatsiya tizimlari uchun: Yerga nisbatan 1000 km balandlikda bo'lgan qutblangan doirasimon orbatidan foydalaniladi, bu orbitada odatda 4...6 ta KA joylashgan bo'ladi; turli og'ishlarda balandligi 20000 km bo'lgan doirasimon orbita, bu orbitada 24 tagacha KA joylashgan bo'ladi.

Yerni masofadan zondlash tizimi uchun: quyoshga nisbatan sinxron aylanuvchi doirasimon orbita (og'ishi 98° , orbitaning Yerga nisbatan balandligi 650...1000 km).

Yer atrofi KAlari uchun: balandligi turlicha 20000 km gacha bo'lgan doirasimon orbita; cho'zilgan ellips ko'rinishidagi apogey 200...400 ming km bo'lgan orbita.

Boshqa kosmik tizimlarda boshqa ish orbitalaridan foydalaniladi. KAning Yerga nisbatan joylashishi balandligiga qarab, ularni shartli ravishda quyidagilarga bo'lish mumkin:

- yaqin kosmos – 20 ming km gacha;
- o'rta kosmos – 300 ming km gacha;
- uzoq kosmos – 300 ming km dan katta.

KAni fazoga chiqarish maxsus raketa yordamida amalga oshiriladi. KAni fazoga chiqarishda foydalaniladigan raketa turi birinchi navbatda KAning vazniga va KAni fazoga chiqarish raketasi uchirish poligoni joylashgan geografik kenglikka bog'liq. Raketani uchirish poligoni qancha janubda bo'lsa, raketani orbitaga olib chiqadigan KAning og'irligi shuncha katta bo'lishi mumkin.

KAni uning ish orbitasiga joylashtirish bir bosqichli va ikki bosqichli bo'lishi mumkin. KAning aktiv uchish masofasida raketaning hamma bosqichlari ketma-ket ishlaydi. Bu bosqich KAni YeSY doirasimon orbitaga joylashtirish bilan tugaydi.

Agar raketaning yuk ko'tarish imkoniyati KAni belgilangan orbitaga olib chiqib joylashtirish uchun yetarli bo'lmasa, u holda yana bitta bosqich tezlanish berish bloki (TBB)dan foydalaniladi. Birinchi bosqichda raketaning aktiv uchish traektoriyasini bosib o'tgandan so'ng KA YeSY orbitasida TBB passiv bo'lgan holatda harakatlanadi. KA ishchi orbitasi traektoriyasi bilan belgilanadigan orbitaga joylashtirish uchun tezlanish berish bloki dvigateli ishga tushadi, natijada KA o'z ishchi orbitasiga joylashadi. KAni nafaqat Yerga nisbatan ma'lum balandlikdagi orbitaga joylashtirish uchun, shu bilan birga KAning Yerga nisbatan joylashish holatini o'zgartirish uchun TBB dvigateli bir necha bor ishlatib, undan foydalanish mumkin.

KAni uning ishchi orbitasiga chiqarib joylashtirgandan so'ng raketa yoki TBB KA dan ajratiladi.

7.18. Kosmik apparatlarni boshqarish. KAning o'zini-o'zi mustaqil boshqarish tizimi. KAni Yerdagi vositalar orqali boshqarish

KAning o'zini-o'zi mustaqil boshqarish tizimi. KAni boshqarish turli bosqichlarda turlicha amalga oshiriladi. KAni ishchi orbitaga olib chiqishning aktiv qismida boshqarish raketaning o'z-o'zini mustaqil boshqarish tizimi orqali amalga oshiriladi. Bunda KAni olib chiquvchi raketaning hamma tizimlarining ishlash holati raketa uchish trassasi bo'yicha joylashgan telemetrik va traektoriya tizimlari orqali nazorat qilinadi. Tezlanishni boshqarish blokini boshqarish unda joylashgan boshqarish tizimi orqali amalga oshiriladi.

KA orbitaga chiqqandan so'ng uni olib chiqqan raketadan ajraladi va o'zining mustaqil boshqarish tizimi va Yerdagi boshqarish kompleksi orqali boshqariladi. KAning o'zini-o'zi boshqarish mustaqil tizimi uning o'z oldiga qo'yilgan vazifani bajarilishini va talab darajasida ish holatida bo'lishini ta'minlaydi. Bu tizim KAni orbitaning belgilangan joyida bo'lishini, uning Yerga nisbatan joylashganlik holatini, KAning ish holati turg'un bo'lishini, KA oldiga qo'yiladigan vazifalarni bajarishni ta'minlovchi asboblarni boshqaradi.

KA o'z-o'zini boshqarish tizimi KAning elektr ta'minot, harakatni boshqarish va boshqa qurilmalarini boshqaradi. KA o'z-o'zini boshqarish tizimining yana bir muhim vazifalaridan biri bu Kada paydo bo'lishi mumkin bo'lgan turli nosozliklarning oldini olish, nosozliklar yuz bergan holatda ham KA zahira imkoniyatidan foydalanib hamda buzuq element va bloklarsiz KA qurilmalarining o'z oldiga qo'yilgan vazifani avvaldan belgilangan algoritm asosida amalga oshirishni ta'minlaydi.

KA o'z-o'zini mustaqil boshqarish "o'zgarmas" va "moslashuvchan" dastur asosida ishlaydi.

KAni boshqarish tizimi tarkibida vaqt-dastur qurilmasi (VDQ) bo'lib, uning xotirasiga bordagi asboblarni Yerdagi vaqtga bog'liq ishlashini ta'minlash "o'zgarmas" dasturi kiritilgan.

KA bortidagi tizimlarning ishlashini ta'minlovchi "moslashuvchan" dastur Yerdan bordagi vaqt-dastur qurilmasiga "raqamli qo'shimcha" shaklida kiritiladi va bordagi vaqtni VDQsi xotirasiga kiritilgan vaqt bilan mos kelgan vaqtlarda tegishli amal bajariladi. Moslashuvchi dasturning bajarilishiga misol tariqasida KA orbitasiga tuzatish kiritish (KAning Yerga nisbatan balandligini vaqt o'tishi bilan asta-sekin pasayishini asl joyiga qaytarish)ni keltirish mumkin. Ushbu dastur asosida belgilangan vaqtlarda KAni Yerga nisbatan holati o'zgarishi asl holatiga qaytariladi, KAning muqobil

joylashishi KA bortidagi tezlanishni boshqarish bloki dvigatelini ish holatiga keltirish va ish holatini to'xtatish ishlarini ham bajaradi.

Yerdan KAni boshqarish ma'lumotlarini olish va KA bortida vazifaga tegishli to'plangan ma'lumotlarni, shu bilan birga telemetrik ma'lumotlarni Yer stansiyasiga uzatish uchun KA bortidagi radiotexnik tizimlardan foydalaniladi.

KAni Yerdagi vositalar orqali boshqarish. KAni boshqarish jarayoni quyidagi asosiy uchta vazifani bajarishdan iborat:

- KAning fazodagi holatini aniqlash;
- KA bortidagi turli tizimlarning ish holati haqidagi ma'lumotlarni olish;
- KA bortidan uning fazodagi holati va turli tizimlarining ish holati haqidagi ma'lumotlar asosida KA boshqarish komandalarini shakllantirish va bu ma'lumotlarni KA bortiga tegishli vazifalarni bajarish uchun uzatish.

Birinchi vazifa KAning fazodagi holatini aniqlash Yerdan joylashgan traektoriyasini o'lchash vositalari orqali amalga oshiriladi. Ushbu olingan ma'lumotlar asosida KAning orbitasi aniqlanadi va uning ma'lum vaqt davomidagi holati bashorat qilinadi. Bu bashoratlarning aniqligi ehtimolligi KA traektoriyasini va ishchi orbitasini o'lchash aniqligiga bog'liq. Shuni alohida ta'kidlash kerakki, hozirda KAning fazodagi holatini aniqlash uchun uning bortida joylashgan bort navigasion GLONASS yoki GPS apparaturasidan foydalanish ham nazarda tutilgan.

KA bortidagi turli tizimlarning ish holati uning bortiga o'rnatilgan telemetrik tizimlar orqali amalga oshiriladi. KA telemetrik tizimi uning bortiga o'rnatilgan turli nazorat etiladigan qismlar holatini nazorat qiluvchi datchiklar, bu datchiklardan olinadigan ma'lumotlarni jamlash, ularni Yerga uzatishning xalaqitbardoshligini oshirishga tegishli ishlovlar berish va Yerga uzatish qurilmasidan iborat.

Yerdan telemetrik ma'lumotlar telemetriya stansiyalari orqali qabul qilinadi, ularga tegishli ishlovlar berilgandan so'ng bu ma'lumotlar mutaxassislariga tahlil etish uchun taqdim etiladi.

KAning fazodagi holati haqidagi ballistik va KA bortidagi turli tizimlarning ish holatlari haqidagi telemetrik ma'lumotlar KAlar uchishini boshqarish markazi (UBM) ga yuboriladi. UBM olingan ma'lumotlarni va kosmik uchishlarni boshqarish markazi (KUBM)dan olingan ma'lumotlarni tahlil etish asosida KAni uning oldiga qo'yilgan vazifalarni bajarishni davom ettirish haqidagi kerakli komandalar shakllantiriladi. Bu komandalar Yerdagi vaqtga bog'liq bo'lgan dastur shaklida Yer usti stansiyasiga uzatiladi, o'z

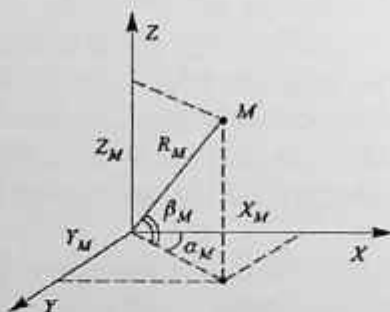
navbatida bu dasturlar belgilangan vaqtlarda komanda radioliniyasi orqali KA tomondan bajarilishi uchun yuborib turiladi.

Kosmik tizimni boshqarish markazi (KTBM) uchishlarni boshqarish tizimi (UBT) mutaxassislari KAlar va Yer kosmik stansiyalarini nazorat qilishga tegishli texnik va dasturiy ta'minotlar majmuasidan iborat. UBT mutaxassislari o'z tizimidagi texnik va dasturiy vositalar asosida KA oldiga qo'yilgan vazifalarni bajarishiga kerak bo'ladigan komandalarni shakllantirib kosmik radioliniya orqali KA bortiga yetkazib beradi.

Keltirilgan asosiy vazifalarni Yerdan amalga oshirish maxsus traektoriya o'lchash stansiyalari, telemetrik va komanda stansiyalari orqali amalga oshiriladi. Buning uchun har bir stansiyaga alohida maxsus radioliniya ajratilish kerak. Ammo Yer stansiyasi va KA orasida turli ma'lumotlarni ayirboshlash uchun yagona umumiy radiokanaldan foydalanish ham mumkin. Bunday stansiya kuzatish komanda-o'lchov stansiyasi (KKUS) deb ataladi.

7.19. Kosmik apparatlarning koordinatalarini o'lchash

Nuqtaning (obyektning) fazodagi holati to'g'ri burchakli koordinatalar tizimida uchta – X, Y, Z koordinatalar orqali aniqlanadi (7.17-rasm). Fazoda harakatdagi nuqta (obyekt)ning holati 6 ta koordinatalar X, Y, Z, X', Y', Z' orqali aniqlanadi.



7.17-rasm. Koordinatalar tizimi

KAning holatini radiotexnik usullar orqali aniqlashda sferik koordinatalar tizimidan foydalanish nisbatan qulay hisoblanadi. Bu tizimda koordinatalar quyidagilar hisoblanadi:

R – og'ish uzoqligi;

R' – radial tezlik;

α – azimut;

α' – azimut bo'yicha tezlik;

β – joy burchagi;

β' – joy burchagining o'zgarish tezligi.

To'g'riburchakli koordinatalar tizimidan oson hisoblashlar asosida sferik koordinatalar tizimiga va teskarisiga o'tish mumkin. Og'ishgan uzoqlik R – uzoqlikni o'lchash usuli asosida; radial tezlik R' – signal chastotasi qiymatining dopler effekti asosida siljishi (oshishi) bo'yicha; α, α' va β burchak koordinatalari – burchakni fazoviy o'lchash asosida aniqlash orqali o'lchanadi.

Amalda KA orbitalarini aniqlashda amalda boshqa o'lchanadigan parametrlarni o'lchash usuli qulay hisoblanadi, ammo bu usuldan foydalanilganda KAning 6 ta harakat parametrlari bir-biriga bog'liq bo'lmagan holda o'lchanishi kerak. KA harakatining bunday parametrlari quyidagilar bo'lishi mumkin:

- R, R' larning uch juft o'lchash qiymatlari ($R_1, R'_1, R_2, R'_2, R_3, R'_3$) – bular bir vaqtning o'zida uchta bir-biridan ma'lum darajada uzoq o'lchash punktlarida o'lchangan bo'lishi kerak;

- oltita punktning har birida o'lchangan R ning oltitadan qiymati;

- R ning bitta punktida turli vaqtlarda o'lchangan oltita qiymati.

O'lchanadigan parametrlarning boshqa to'plami ham bo'lishi mumkin. Bunda o'lchashlar bir-biriga bog'liq bo'lmasligi kerak.

KA va o'lchash stansiyasi orasidagi masofaning o'zgarishi natijasida dopler effekti asosida KA nurlatayotgan va o'lchash stansiyasi (O'S) qabul qilayotgan signal chastotasi o'zgaradi.

KA o'lchash stansiyasiga yaqinlashgan sari KA nurlatayotgan signal chastotasi kattalashadi. KA va O'S orasidagi masofa ma'lum minimal qiymatdan katta bo'lmasa, O'S qabul qilayotgan signal chastotasi KA nurlatayotgan signal chastotasiga teng bo'ladi. KA o'lchash stansiyasidan uzoqlashgan sari O'S qabul qilayotgan signal KA nurlatayotgan signal chastotasidan kichik bo'ladi.

Dopler o'lchashlarini o'tkazishning ikki asosiy usuli mavjud. Birinchi usul so'rov usuli, bunda O'S kosmik apparat tomonga chastotasi yuqori darajada stabilizatsiya qilingan signalni nurlatadi, KA bu signalni o'zining bortidagi qabullash-uzatish qurilmasida qabul qiladi va uni kogerent o'zgartirgandan so'ng Yer tomonga boshqa chastotani nurlatadi. O'Sda qabul qilingan signal KA tomonga va KAdan O'Sga qaytib kelishdagi dopler effekti asosida signal chastotasining o'zgarishlari yig'indisiga teng bo'ladi. Ushbu chastotaning o'zgarishini o'lchash asosida KAning O'Sga nisbatan harakatining radial tashkil etuvchisi tezligini aniqlash imkonini beradi.

Ikkinchi usul bu so'rovsiz tizim bo'lib, bunda KA bortidagi radiouzatkich O'S tomonga ma'lum chastotadagi signalni nurlatadi. O'S bu qabul qilingan signalni chastotasi KA nurlatgan signal chastotasiga teng bo'lgan etalon signal bilan taqqoslash asosida dopler effekti asosida chastota o'zgarishini aniqlaydi. So'rov tizimi asosida chastota o'zgarishini aniqlash xatoligi KA bortidagi signal generatori va O'S shakllantirilgan etalon signal chastotalarining stabilligiga va bir-biridan farqlanishiga bog'liq.

Umuman olganda, so'rovli usul asosida chastota o'zgarishini aniqlash natijasi so'rovsiz usul asosida aniqlangan chastota o'zgarishidan yuqori bo'ladi.

KAgacha bo'lgan masofani aniqlash so'rov signalini KAgacha va undan O'S qaytib kelishi uchun ketgan vaqt orqali amalga oshiriladi. Radioliniya orqali uzluksiz signal uzatishga asoslangan masofani aniqlashda: ko'p chastotali signallardan yoki tashuvchisi tasodifiysimon kodlangan signallardan foydalaniladi. Masofani o'lchash tizimlarida tashuvchisi impuls modulyatsiyadan ham foydalanish mumkin. Bu usuldan foydalanilganda KA bortida signalni qabullash va uni qayta uzatish qurilmasi bo'lishi kerak.

Agar so'rov signali sifatida tasodifiysimon kodlardan foydalanilsa, u holda masofaning aniq qiymati PN-kod simvoli chastotasi asosida aniqlanadi. So'rov va javob PN-kodini bir-biri bilan taqqoslaganda ularning korrelyatsiya funksiyalari cho'qqilari bir-biridan vaqt bo'yicha qandaydir $\Delta\tau$ ga farq qiladi, ana shu korrelyatsiya funksiyalari cho'qqilari orasidagi farq $\Delta\tau$ asosida O'Sdan KAgacha bo'lgan masofa hisoblanadi.

O'Sdan KAgacha bo'lgan masofani so'rovsiz usul yordamida ham aniqlash mumkin. Bu usulda KA nurlatayotgan signalda uning impulslarini nurlatish boshlanganligini bildiruvchi vaqt belgilari bo'lishi kerak. Yerdagi O'S signal nurlatilishi boshlangan vaqt va u qabul qilingan vaqtni taqqoslash asosida masofani aniqlaydi.

Shuni alohida ta'kidlash kerakki, ba'zan KAning koordinatalarini aniqlash uchun lazerli masofani o'lchash tizimidan foydalanish mumkin, bu tizim yordamida masofani 10...20 sm xatolik bilan aniqlash mumkin.

$\alpha, \alpha'; \beta, \beta'$ larni burchakni o'lchash faza radiointerferometri yordamida amalga oshiriladi. Bu usuldan foydalanilganda KA nurlatayotgan signal bir-biridan ma'lum bir oraliqda (bu oraliq baza deb ataladi) joylashgan bir juft antenna orqali qabullanadi. Agar KA ushbu antennalardan turli masofada joylashgan bo'lsa, u holda signal bu antennalar orqali turli kechikishlar bilan qabul qilinadi. Qabul qilingan signallarning fazalari farqi KAning radiointerferometr bazasiga nisbatan joylashish holati burchagini bildiradi.

7.20. Kosmik apparatlarni kuzatish stansiyalari

Kosmik apparatlarni kuzatish stansiyalarining ikki turi mavjud:

- faqat bitta vazifani – KA traektoriyasini o'lchash, telemetrik ma'lumotlarni qabullash, komandalarni va boshqarish dasturlarini uzatishga mo'ljallangan maxsus stansiya;

- KAni boshqarishga tegishli hamma vazifalarni bitta radiokanal orqali bajaruvchi – ko'p maqsadli kuzatish stansiyasi.

KAni olib uchuvchi raketalar uchishini nazorat qilish uchun maxsus telemetrik stansiyalar va uchish traektoriyasini o'lchovchi stansiyalar, shu jumladan optik stansiyalardan foydalaniladi. KAlarni boshqarish uchun ko'p hollarda ko'p vazifalarni bajaruvchi nazorat-o'lchash stansiyalari (NO'S)dan foydalaniladi, shu bilan birga maxsus stansiyalardan ham foydalaniladi.

KAlarni kuzatish va boshqa turli radiotexnik vositalar alohida komanda-o'lchash kompleks (AKO'K)larda joylashgan bo'ladi. Bu AKO'K mamlakatning turli hududlarida o'rnatilgan bo'lib, Mudofaa vazirligi tomonidan ajratilgan alohida mutaxassislar guruhlarini tomonidan ularga xizmat ko'rsatiladi.

Bir xil tuzilishdagi ko'p vazifalarni bajarishga mo'ljallangan KAlarni boshqarishda foydalaniladigan kuzatish stansiyalari umumiy holatda quyidagi vazifalarni bajarishlari kerak:

- KAni fazoda qidirish va KA nurlatayotgan signalni burchak ostida kuzatishni ta'minlash;

- KAdan nurlantirilayotgan signallarni qabullash, undan ma'lumotlarni ajratib olish, ularga ishlov berish va ma'lumotlardan foydalanuvchilarga (uchishlarni boshqarish markazi (UBM), kosmik tizimlar bosh markazi (KTBM) va boshqalarga) yetkazish;

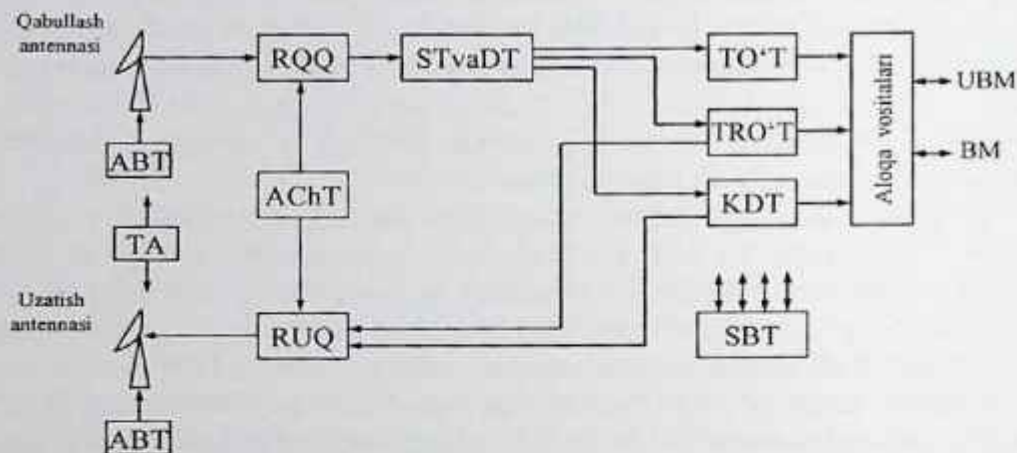
- KA traektoriyasini o'lchash ishlarini bajarish va natijalarini bazaviy (asosiy) markaz (BM) ga yuborish;

- Komanda-dastur ma'lumotlarini shakllantirish va ularni KA bortiga uzatish;

- UBM va BM lar orasida KAni boshqarishni tashkil etishga kerak bo'ladigan ma'lumotlarni ayirboshlash.

7.18-rasmda KA uchishini kuzatish stansiyasining umumlashgan strukturaviy sxemasi keltirilgan bo'lib, u quyidagi tizimlardan iborat: antenalar, O'YuCh trakti, antennani obyekt tomonga yo'naltirishni boshqarish tizimi; radiouzatish va radioqabullash qurilmalari, signalni aniqlash va demodulyatsiya qilish tizimi, komanda berish apparaturasi, trektoriyani o'lchash apparaturasi, telemetriya apparaturasi, aniq chastota va yagona vaqt

tizimi, tahlil-tekshirish apparaturasi, aloqa vositalari, kompleksni boshqarish tizimi.



7.18-rasm. KA uchishini kuzatish stansiyasining umumlashgan strukturaviy sxemasi

7.18-rasmda: RQQ – radioqabullash qurilmasi; STvaDT – signalni topish va dekodlash tizimi; TO'T – telemetrik o'lchash tizimi; TRO'T – traektoriyani o'lchash tizimi; KDT – komanda-dastur tizimi; SBT – stansiyaning boshqarish tizimi; RUQ – radiouzatish qurilmasi; AChT – aniq chastotalar tizimi; TA – tekshirish apparaturasi; UBM – uchishlarni boshqarish tizimi; BM – boshqarish markazi; ABT – antennani boshqarish tizimi.

KA bajaradigan vazifa u bilan birgalikda ishlaydigan kuzatish stansiyasi va uning tarkibiga kiruvchi apparaturalar ba'zi texnik xarakteristikalari turlicha bo'lishi mumkin. Masalan:

- stansiyalar L, S, C, X, Ku va boshqa chastotalar diapazonida ishlashi mumkin;
- turli antennalardan yo'naltirilganlik diagrammasi hamma tomonga bir xil bo'lgan antennalar, keng va tor yo'naltirilgan diagrammali antennalar;
- parabolik antenasi diametri 1 da 70 metrgacha;
- radiouzatichi chiqish quvvati 0,15 dan 200 kVt gacha;
- radioqabullash qurilmasining shovqin temperaturasi 1500 K da 10 K gacha;
- traektoriyani o'lchash xatoligi 1 metrdan 300 metrgacha va uchish tezligini aniqlash xatoligi 100 dan 0,2 mm/s gacha;
- beradigan komandalar soni bir necha 10 tadan bir necha 100 tagacha;
- foydalaniladigan modulyatsiya turlari – FM, ChM, AM va boshqalar;

– komanda va telemetrik ma'lumotlarni uzatishda turli kodlash usullari qo'llanishi mumkin.

Komanda-o'lchash stansiya (KO'S)lari juda murakkab bo'lgan apparat-dasturlar stansiyalari hisoblanadi. Stansiyaning apparaturalari shunday loyihalanadiki, uning ishi avtomatik ravishda amalga oshadi va operator (boshqaruvchi)ning boshqaruv jarayonida qatnashishi ko'p hollarda talab etilmaydi.

Boshqarish tizimi stansiyasini ish holatiga tayyorlash, KA bilan aloqa seansini o'tkazish, avtomatik ravishda lekin operator kuzatuv ostida amalga oshiriladi. Operator boshqarish tizimi ishiga faqat favqulotda holatlar yuzaga kelganda aralashadi va boshqarishni o'ziga oladi.

Boshqarish stansiyalarining xizmat ko'rsatish muddati unda ta'mirlash-tiklash ishlari olib borishi hisobiga, amalda 10...15 yilni tashkil qiladi. Shu muddatdan so'ng boshqaruv stansiyasi ilmiy-texnika rivojlanish yutuqlariga, zamonaviy elementlar baza va eng yaxshi texnik va foydalanish xarakteristikalariga ega bo'lgan navbatdagi avlodi bilan almashtiriladi.

Nazorat savollari

1. Radioboshqaruv tizimining asosiy texnik ko'rsatkichlarini aytib bering. Undan qanday maqsadlarda foydalaniladi?

2. Uchish apparatini radioboshqarishning umumiy xarakteristikalarini aytib bering.

3. Radioteleyo'naltirish usulidan qanday maqsadlarda foydalaniladi.

4. Radionur asosida boshqaruvchi radioliniyaning uzatish qismi strukturaviy sxemasini chizing va uning qismlari bajaradigan amallarni qisqacha tushuntiring.

5. Radionur asosida boshqaruvchi radioliniyaning qabullash qismi strukturaviy sxemasini chizing va uning qismlari bajaradigan amallarni qisqacha tushuntiring.

6. Optoelektron o'z-o'zini boshqarish tizimining umumlashgan tuzilish sxemasini chizing va uning qismlari bajaradigan amallarni qisqacha tushuntiring.

7. Komanda orqali boshqarish tizimining strukturaviy sxemasini chizing va uning qismlari bajaradigan amallarni qisqacha tushuntiring.

8. Analog va raqamli komanda liniyalari haqida tushuncha bering.

9. Radionavigatsiyadan qanday maqsadlarda foydalaniladi?

10. Yer sun'iy yo'ldoshidan foydalaniga asoslangan radionavigatsiya tizimi haqida tushuncha bering.

11. Kosmik tizimlardan qanday maqsadlarda foydalaniladi va ular qanday tizim orqali boshqariladi?
12. Kosmik apparatlar qanday usullar yordamida boshqariladi?
13. Kosmik apparatlarni kuzatish stansiyalari qanday vazifani bajaradilar?
14. Kosmik apparatlarning koordinatalari qanday o'lchanadi?
15. Geostasionar orbitadan qanday maqsadlarda foydalaniladi?

XULOSA

Darslikning ayniqsa axborotni uzatish va chiqarib olish radiotexnik tizimlariga bag'ishlangan boblari har qanday radiotexnik tizimni loyihalash, ishlab chiqishdagi kabi yuzaga keladigan barcha muammolar majmuini tizimli tahlil qilish zaruriyatini tasdiqlaydi. Bunda loyihachi loyihalalanayotgan tizimning ishlash prinsipini tanlash, taktik-texnik xarakteristikalarini va uning tarkibini belgilovchi vazifasi (maqsadi) va foydalanish shart-sharoitlari to'g'risida aniq tasavvurga ega bo'lishi talab etiladi. Bundan tashqari, tizimni ishlab chiqishda oldingi tajriba hamda tizim rivojlanishining istiqbollari to'g'risida nafaqat ko'rilayotgan sinfdagi, balki u bilan raqobatlasha oladigan tizim haqida ham etarlicha chuqur tasavvurga ega bo'lishi va uni hisobga olishi lozim. Bu ayniqsa, turli vazifalarni bir vaqtda bajaradigan, zamonaviy ko'p funksional majmualarni yaratishda juda muhim sanaladi.

Mavjud element bazasi va uning kelajak rivoji to'g'risida chuqur bilimga ega bo'lmasdan turib tizimning tarkibi va ishlash prinsipini ratsional tanlash mumkin emas. Radiotizimlarni ishlab chiquvchilar fundamental tadqiqotlar natijalarini diqqat bilan kuzatishi va ularni radiotexnik masalalarni echishda hisobga olishi lozim. Zamonaviy axborot texnologiyalarining qo'llanilishi radiotizimlarning xarakteristikalarini yaxshilashga imkon beradi.

Loyihalashning barcha bosqichlarida loyihalalanayotgan radioelektron apparaturaning ishlab chiqarish samaradorligiga, uning ishonchliligiga va foydalanishdagi tejamkorligiga bo'lgan talablarni hisobga olish kerak.

GLOSSARIY

Aktiv yo'ldosh

ingl: active satellite

rus: активный спутник

Aloqa vositalari

ingl: communication tools

rus: средства связи

Amplitudaviy pelenglash metodi

ingl: amplitude method of target bearing

rus: амплитудный метод пеленгования

Amplitudaviy selektor

ingl: amplitude discriminator

rus: амплитудный селектор

Antenna almashlab ulagichi

ingl: aerial switch, duplexer

rus: антенный переключатель

Asinxron signal

ingl: asynchronous signal

rus: асинхронный сигнал

Asosiy raqamli kanal

ingl: primary digital channel

rus: основной цифровой канал

Avtomatik radiopelengator

ingl: automatic radio direction-finder

rus: автоматический радиопеленгатор

Azimutal radiomayog

ingl: azimuthal radio beacon

rus: азимутальный радиомаяк

Azimutal-masofa o'lchash radiomayog'i

ingl: azimuthal range-finder radio beacon

Radioaloqa signallarini uzatish yoki retranslyasiya qilish uchun mo'ljallangan stansiya joylashgan yo'ldosh.

Elektr aloqasi xabarlarini yoki pochta jo'natmalarini shakllantirish, ishlov berish, uzatish yoki qabul qilib olish uchun foydalaniladigan texnika vositalari, shuningdek aloqa xizmatlarini ko'rsatishda foydalaniladigan binolar, inshootlar yoki odam yashamaydigan xonalar, boshqa texnika vositalari.

Radiopelengator antennasi orqali qabul qilinadigan signallar amplitudaviy tafovutlarining ob'ektlar pelengiga bog'liqligidan foydalanishga asoslangan pelenglash metodi.

Odatda, signallar kirishda berilgandan ortiq amplitudaga ega bo'lgandagina, chiqishda doimiy amplitudali signal beruvchi qurilma.

Bitta antenna bilan ishlaydigan qabul qiluvchi-uzatuvchi radiostansiyadagi, qabul qilishdan uzatishga va aksincha o'tish uchun mo'ljallangan qurilma. Antenna almashlab ulagichi qabul qilgichning navbatma-navbat himoyasini va uzatkichning blokirovkalanishini amalga oshiradi.

Vaqtning ixtiyoriy onlarida uzatiladigan signal, ular o'rtasidagi interval tasodifiy kattalik hisoblanadi.

64 Kbit/sekund tezlikda signallar uzatishga mo'ljallangan namunaviy raqamli kanal.

Chastotasiga sozlangan, ob'ekt radiopelengini radiosignal nurlatuvchi avtomatik o'lchaydigan va indikatsiyalaydigan radiopelengator.

Mobil ob'ektning bortida faqat azimut haqida axborot olinishini ta'minlaydigan yaqin navigatsiya radiotexnika tizimi radiomayog'i.

Faqat mobil ob'ektning bortida yoki mobil ob'ekt borti va radiomayogda uzoqlik hamda azimut to'g'risida axborot olinishini ta'minlovchi yaqin navigatsiya radiotexnika tizimi radiomayog'i.

rus: азимутально-
дальномерный радиомаяк

**Balandlik o'lchagich
(altimetr)**

ingl: altimeter

rus: высотомер (альтиметр)

Chastota o'lchagich

ingl: frequency meter

rus: частотомер

Diskretlash chastotasi

ingl: sampling rate

rus: частота дискретизации

Doppler effekti

ingl: the Doppler effect

rus: эффект Доплера

Dupleks uzatish

ingl: duplex transmission

rus: дуплексная передача

Elektron-nurli trubka

ingl: cathode ray tube (CRT)

rus: электронно-лучевая трубка

Faza siljishi

ingl: phase shift

rus: сдвиг по фазе

Fazalangan antenna

panjarasi

ingl: phased antenna array

rus: фазированная антенная

решетка

Uchish apparatining parvoz qilishdagi balandligini ko'rsatuvchi asbob. Barometrik balandlik o'lchagichlar va joy ustidan haqiqiy parvoz balandligini o'lchaydigan radiobalandlik o'lchagichlar ajratiladi.

Tebranishlar chastotasini, asosan, elektr tebranishlar chastotasini o'lchash asbobi. Chastota o'lchagich chastota bo'yicha yuqori barqaror etalon generator tebranishlarining bir davriga sig'uvchi o'lchanayotgan tebranishlar davri sonini hisobga olish yo etalon rezonator yoki generatorning ma'lum chastotasi bilan solishtirish prinsipi asosida ishlaydi.

Vaqtda uzluksiz signalning diskretla-nishida (xususan, analog-raqamli o'zgartirgich tomonidan) uning hisobotlarini olish chastotasi. Gerlarda o'lchanadi. Diskretlash chastotasi qanchalik katta bo'lsa, diskret signalida shunchalik keng signal spektri taqdim etilishi mumkin.

To'liqlar manbai ularni qabul qiluvchi vositaga nisbatan harakatlanayotganda (tovush, elektromagnit) to'liqlar chastotasining o'zgarishi. Manba va qabul qilgich o'zaro yaqinlashganda chastota ortadi, uzoqlashganda kamayadi.

Axborotni ikkala yo'nalishda navbatma-navbat (yarim dupleks) yoki ikkala yo'nalishda bir vaqtning o'zida (to'liq dupleks) uzatish.

Tasvirni qayta tiklash qurilmasi, unda elektr signallari elektron nurlarga aylantirilib ekranning ichki tomonidagi lyuminaforlarning yorug'lanishini vujudga keltiradi. CRT qisqartmasini, shuningdek, Cathode Ray Terminal shaklida o'qish mumkin bo'lib, trubkasining o'ziga emas, unga asoslangan qurilmaga mos keladi.

Chastotasi bir xil bo'lgan ikki signalning fazalari o'rtasidagi farq. Gradus, radianlarda yoki garmonik tebranish davrining ulushlarida o'lchanadi.

Qo'zg'atiladigan nurlatkichlarning tartiblangan yig'indisidan tashkil topgan antenna. Fazalangan antenna panjarasi uchun berilgan xossali yo'nalganlik diagrammasini tuzish har bir nurlatkich maydonining fazaviy va amplituda-fazaviy taqsimlanishini tanlash yo'li bilan amalga oshiriladi. Alohida nurlatkichlar maydoni

Fazaviy detektor

ingl: phase detector

rus: фазовый детектор

**Fazaviy pelenglash
metodi**

ingl: phase method of taking
bearing

rus: фазовый метод
пеленгования

Geosinxron yo'ldosh

ingl: geosynchronous satellite

rus: геосинхронный спутник

Geostatsionar orbita

ingl: geostationary orbit

rus: геостационарная орбита

Geostatsionar yo'ldosh

ingl: geostationary satellite

rus: геостационарный спутник

**Geostatsionar yo'ldoshlar
orbitasi**

ingl: geostationary-satellite orbit

rus: орбита геостационарных
спутников

Geterodin

ingl: heterodyne

rus: гетеродин

Giperbolik radionavigatsiya tizimi

ingl: hyperbolic

radionavigation system

rus: гиперболическая
радионавигационная
система

fazoda qo'shilib tor yo'nalganlik diagrammasini hosil qiladi. Fazalangan antenna panjarasi signalning maksimal darajasini kuzatish va unga moslashish imkonini beradi.

Chastotalari bir xil, ammo boshlang'ich fazalari turli ikkita kirish signalini taqqoslash uchun ishlatiladigan qurilma.

Radiopelengator antennasi qabul qilayotgan signallar va shimoliy yo'nalishga mos keluvchi signal fazalari farqini o'lchashga asoslangan pelenglash metodi.

Aylanish davri Yerning o'z o'qi atrofida aylanish davriga teng bo'lgan Yer yo'ldoshi.

Geosinxron yo'ldosh orbitasi, uning to'g'ri va aylanma orbitasi Yer ekvatori tekisligida yotadi yoki geostatsionar yo'ldoshlar orbitasi. Orbitaning ekvatoridan balandligi yo'ldoshning 23 h 56 min 4 s ga teng aylanish davri bilan 35787 km.

Geosinxron yo'ldosh, uning to'g'ri va aylanma orbitasi Yer ekvatori tekisligida yotadi, shu tariqa Yerga nisbatan qo'zg'almas bo'lib qoladi; keng ma'noda – Yerga nisbatan taxminan qo'zg'almas bo'lib qoluvchi yo'ldosh.

Barcha geostatsionar yo'ldoshlarning yagona orbitasi.

Radioqabulqilgichdagi chastotani o'zgartirish uchun qo'llaniladigan garmonik tebranishlar generatori.

Koordinatlari ma'lum bo'lgan, sinxron ishlaydigan bir necha juft yer usti radiostansiyalaridan impulslar kelib tushish vaqtining tafovuti bo'yicha joylashgan erini aniqlash uchun kema yoki samolyotda o'rnatiladigan radioelektron qurilmalar yig'indisi. Har bir juft stansiya (giperbola) lardan vaqt bo'yicha bir xil tavofutda kelayotgan signalli liniyalari maxsus kartalarda qayd qilinadi. Giperbolalarning kesishish nuqtalari ob'ekt o'mashgan joyga mos keladi.

Har tomonlama yo'naltirilgan JYUCH-radiomayoq ingl: omnidirectional VHF-beacon
rus: всенаправленный ОБЧ-радиомаяк

Havo kemasining yer stansiyasi
ingl: terrestrial station of aircraft
rus: земная станция воздушного судна

Havo radionavigatsiya xizmati
ingl: aeronautical radionavigation service
rus: воздушная радионавигационная служба

Havo radionavigatsiya yo'ldoshli xizmati
ingl: aeronautical radionavigation satellite service
rus: воздушная радионавигационная спутниковая служба

Impuls-kodli modulyatsiya
ingl: pulse-code modulation (PCM)
rus: импульсно-кодовая модуляция

Ishonchlilik
ingl: reliability
rus: надежность

Javob beruvchi
ingl: responder
rus: ответчик

Havo kemasini erda joylashgan ma'lum erida peleng to'g'risidagi uzuluksiz va avtomatik rejimda uzatiladigan axborot bilan ta'minlaydigan, qisqa masofada harakatlanuvchi (taxminan 370 km gacha) navigatsion vosita.

Havo kemasining bortida joylashgan havo yo'ldoshli xizmatining mobil Yer stansiyasi.

Havo kemalariga xizmat ko'rsatish va ularni ekspluatatsiya qilish vaqtidagi xavfsizlik uchun mo'ljallangan radionavigatsiya xizmati.

Radionavigatsiya yo'ldoshli xizmati, bunda yer stansiyalari havo kemasining bortiga o'rnatiladi.

Modulyatsiya usuli, unga ko'ra, analog signal qat'iy uzunlikdagi ketma-ket uzatiladigan n-razryadli (odatda $n=8$), kodli so'zlardan iborat raqamli ma'lumotlar oqimiga aylantiriladi. Tovushni uzatish 64Kbit/c tezlik hamda kompanderlash bilan amalga oshiriladi. Impuls-kodli modulyatsiya yordamida o'zgartirilgan tovush signalining sifati yuqori bo'ladi.

O'rnatilgan vaqt davomida tizimning o'z vazifalarini bajara olish qobiliyati. Ishonchlilikni baholash uchun ham hisob-kitoblar asosidagi, ham statistik (sinovlar jarayonida olingan) xarakteristikalar qo'llaniladi va ular odatda, qurilmani ishga layoqatli holatda bo'la olish vaqtining foizi sifatida aniqlanadi. Ishonchlilikning asosiy ko'rsatkichlari: buzilishgacha o'rtacha ishlash muddati, o'rtacha tiklash vaqti va boshqalar.

Ob'ektning berilgan «tanish» tizimiga mansubligi haqidagi so'rovga maxsus kod bilan avtomatik ravishda javob beruvchi radiolokatsion qabul qiluvchi-uzatuvchi stansiya. Kemalar, samolyotlar va boshqa ob'ektlarda o'rnatiladi.

Kanal
ingl: channel
rus: канал

Signal yoki ma'lumotlar uzatish vositasi yoki yo'li. Signallarni uzatish vositasi fizik kanal deb ataladi. Ma'lumotlar manbadan uni qabul qiluvchiga uzatiladigan yo'lni mantiqiy kanal aniqlab beradi. Kanallarning ikki klassni farqlashadi. asinxron va sinxron. Sinxron kanalda amalga oshirilayotgan uzatish jarayonini sinxronlashtirish ta'minlangan bo'ladi. Asinxron kanal shu bilan ajralib turadiki, u orqali ma'lumotlar uzatishda jo'natuvchi va qabul qiluvchi ishlari sinxronlashtirilmaydi. Uzatilayotgan signallarning shakliga qarab kanallar analog va diskret turlarga bo'linadi. Signallarni uzatish usuliga qarab kanallar bir necha turlarga bo'linadi – simpleks, yarim dupleks, dupleks kanallar.

Keng polosali kanal
ingl: broadband channel
rus: широкополосный канал

Ma'lumotlarni tezkor uzatishni ta'minlovchi fizik kanal. Keng polosali kanallar koaksial kabellar, radiokanallar va optik kanallar asosida yaratiladi. Ular nisbatan qimmat bo'lgani sababli, ma'lumotlarni yuqori tezlikda uzatish talab qilinmasa, tor polosali kanallar yoki polosa asosli kanallardan foydalaniladi.

Keng polosali simsiz aloqa
ingl: wireless broadband
rus: широкополосная
беспроводная связь

Keng polosali simsiz aloqa – bu katta hududda yuqori tezlikdagi simsiz internet va ma'lumotlar tarmog'ini ta'minlovchi texnologiya. Keng polosali simsiz aloqa tezligi ADSL kabi keng eshittirish tarmog'inikiga deyarli teng.

Ko'p nurli signal
ingl: multipath signal
rus: многолучевой сигнал

Uzatkichdan qabul qilish nuqtasiga turli yo'llar (nurlar) orqali keladigan, amplitudasi, boshlang'ich fazalari hamda dopler chastota siljishi turlicha bo'lgan signallarning vaqt bo'yicha siljigan bir nechta nusxalarini o'zida ifodalovchi signal.

Ko'p nurli tarqalish
ingl: multipath propagation
rus: многолучевое
распространение

Uzatish qurilmasi chiqishidan qabullash qurilmasi kirishiga bitta yagona signalning bir necha alohida-alohida yo'li (trassa)da tarqalishi.

**Ko'p stansion foydalana
olish**
ingl: multiple access
rus: многостанционный доступ

Ko'p sonli Yer usti stansiyalarining bir vaqtning o'zida bitta yo'ldosh retranslyatoriga murojaat qilish imkoniyati.

Ko'rinish zonasi
ingl: area of view
rus: зона видимости

Yer yuzasining, joyning minimal yo'li qo'yiladigandan oshadigan (masalan, 5° dan ortiq) ma'lum burchagi ostida vaqtning berilgan davri (aloqa seansi) mobaynida yo'ldosh ko'rinadigan qismi.

Korrelyator
ingl: correlator
rus: коррелятор

Tasodifiy signallarning korrelyatsion funksiyasini hisoblash uchun mo'ljallangan qurilma.

Kosmik radionurlanish
ingl: space radioemission
rus: космическое
радиолучение

Padioto'lqinlar diapazonida turli samo jismlari nurlantiradigan elektromagnit to'lqinlar. Radionurlanishning eng kuchli manbai, Yerga yaqinligi tufayli, Quyosh hisoblanadi. Kosmik nurlanishni tadqiq qilish bilan radioastronomiya shug'ullanadi.

Kosmik stansiya
ingl: space station
rus: космическая станция

Yer atmosferasi asosiy qismining tashqarisidajoylashgan, yoxud shu chegaradan tashqariga chiqarib yuborishga mo'ljallangan ob'ektda joylashgan stansiya.

Kosmik teleboshqaruv
ingl: space teleoperation
rus: космическое
телеуправление

Kosmosdagi ob'ektda joylashgan uskunaning, shu jumladan, kosmik stansiyaning, ishlashini boshlash, o'zgartirish yoki to'xtatish uchun kosmik stansiya signallarni uzatish maqsadida foydalaniladigan radioaloqa.

Kuzatish; kuzatib borish ingl:
tracking
rus: слежение; сопровождение

Ba'zi bir etalon qiymatga nisbatan berilgan chegaralarda parametrlari o'zgaradigan signalni kuzatish jarayoni.

Kvantlash
ingl: quantization
rus: квантование

1. Biror bir uzluksiz kattalik qiymatlari kengligini chekli bir-biri bilan kesishmaydigan oraliqlarga bo'lish.
2. Ma'lumotlarni uzluksiz shakldan diskret shaklga o'tkazish amali.

Kvantlash qadami
ingl: quantization step
rus: шаг квантования

Ikkita qo'shni kvantlash darajasi o'rtasidagi farq. U yoki bu kvantlash qadami chegarasida signalni uning yuqori qiymatiga mos keladigan darajagacha yaxlitlash amalga oshiriladi.

Kvantlash shovqini
ingl: quantization noise
rus: шум квантования

Kvantlash jarayonida yuzaga keladigan hamda additiv tarzda tiklangan foydali signal bilan qo'shiladigan qo'shimcha shovqinli signal. Bu xil buzilishlarni bartaraf etib bo'lmaydi, lekin uning kattalagini kvantlash darajalari sonini oshirish yoki kvantlash qadamini kichiklashurish yo'li bilan kamaytirish mumkin. Kvantlashda tasodifiy shovqindan tashqari, o'ta yuklanishdagi shovqin, parchalash shovqini kabi signalning qator spetsifik buzilishlari, shuningdek, kvazidoimiy darajali signallarni uzatishda vujudga keladigan buzilishlar paydo bo'ladi.

Kvantlash xatosi
ingl: quantization error
rus: ошибка квантования

Chiqish (kvantlangan) va kirish (analog) signallari shakllarining muvofiq kelmasligi. Kvantlash qadami kattaligiga va diskretlash chastotasiga bog'liq.

Mlaishiy radioelektron apparat
ingl: household radio
electronic apparatus

Turmushda bitta yoki bir nechta funksiyani: radioeshittirish va televizion dasturlar, simli eshittirish dasturlari, fonogrammalar, videogrammalar, shuningdek, maxsus signallarni qabul qilish, qayta

rus: бытовой радиоэлектронный аппарат

Masofa o'lchagich radiomayog

ingl: range-finder radio beacon

rus: дальномерный радиомаяк

Meteonavigatsiya bort radiolokatori

ingl: meteoronavigation airborne radioradar

rus: метеонавигационный бортовой радиолокатор

Meteorologik radiolokatsion stansiya

ingl: meteorological radiolocation station

rus: метеорологическая радиолокационная станция

Modulyatsiya

ingl: modulation

rus: модуляция

Multiplekslash

ingl: multiplexing

rus: мультиплексирование

Multipleksor

ingl: multiplexer

rus: мультиплексор

Multipleksor

ingl: multiplexer

rus: мультиплексор

ishlash, sintez qilish, yozish, kuchaytirish va qayta eshittirishni bajarish uchun qo'llaniladigan radioelektron qurilma.

Mobil ob'ekt bortida faqat uzoqlik to'g'risida axborot olishni ta'minlaydigan yaqin navigatsiya radiotexnika tizimining radiomayog'i.

Uzatuvchi va qabul qiluvchi qurilmalarning antenna qurilmasidan, axborotni o'zgartirish va aks ettirish qurilmalaridan iborat bo'lgan radioelektron qurilma. Meteonavigatsiya bort radiolokatorining texnik vazifasi – uchish apparati bortidan turib uchish uchun xavfli gidrometeorologik tuzilmalarni aniqlashdan iborat.

Qalinligi 30-40 km gacha bo'lgan atmosfera qatlamida aerologik ma'lumotlarni olish uchun mo'ljallangan o'lchash tizimi. Meteorologik radiolokatsion stansiya radiozond bilan birgalikda ishlaganda, turli balandliklarda atmosfera bosimi, temperatura, havo namligi qiymatlari, shamolning tezligi va yo'nalishi aniqlanadi.

Bitta stasionar signalning boshqa signal shakliga ko'ra o'zgarishi jarayoni. Modulyatsiya ma'lumotlarni elektromagnit nurlanish yordamida uzatishda amalga oshiriladi.

Ikki yoki undan ortiq signallarni chastotata, vaqt yoki signallar shakli bo'yicha zichlashtirish bilan bitta fizik kanal orqali uzatish. Masalan, vaqt bo'yicha ajratilgan multiplekslash aloqada va ajratilgan taym-slotlardan foydalangan holda, raqamli ma'lumotlarni uzatishdagi multiplekslash texnikasi (usuli) bo'lib hisoblanadi. Shuningdek, to'liq uzunligi bo'yicha ajratish bilan multiplekslash mavjud, u liniya agregat kanali to'liq uzunligi bo'yicha turlicha n ta kanalni birlashtirish yo'li bilan shakllantiriladigan multiplekslash. Bu signallarni multiplekslash usuli bitta optik-tolali kabel orqali to'liq uzunligi turlicha bo'lgan bir nechta (odatda, 16 gacha) yorug'lik dastasini uzatish imkonini beradi.

1. Bir nechta ma'lumotlar oqimi yoki kanalni bitta chiqish signali, guruhi yoki ko'p kanalli xabarga birlashtiruvchi qurilma.
2. Bir nechta radiouzatuvchilarning o'zaro xalaqitlarsiz bitta antennaga ishlashini ta'minlovchi qurilma.

Bitta antennaga bir nechta radiouzatkichni parallel ulash hamda ular o'rtasidagi nomaqbul o'zaro ta'sirni yo'qotish uchun mo'ljallangan qurilma.

Navigatsion radiolokator ingl: navigational radar rus: навигационный радиолокатор	Navigatsiyada foydalaniladigan va harakatlanadigan ob'ekt boriga o'rnatilgan radiolokator.
Nogeostatsionar orbita ingl: non-geostationary orbit rus: негеостационарная орбита	Nogeostatsionar orbitalarga elliptik (NEO) o'rta balandlik (MEO) va past Yer atrofi (LEO) orbitalari tegishlidir.
O'rta balandlikdagi orbita ingl: medium earth orbit rus: средневысотная орбита	5000-15000 km balandlik diapazonida joylashgan orbita.
O'tkazish qobiliyati ingl: capacity rus: пропускная способность	Vaqt birligi ichida kanal yoki tizim orqali uzatilishi mumkin bo'lgan axborot birligining maksimal miqdorini belgilovchi ko'rsatkich. Kanalning o'tkazish qobiliyati fundamental nazariy tushuncha bo'lib, kanalning mavjud imkoniyatlarini belgilaydi.
Olis kosmos ingl: deep space rus: дальний космос	Yerdan 2×10^6 km ga teng yoki undan ortiq masofadagi kosmik fazo.
Orbita (Yer yo'ldoshi)ning og'ishi ingl: inclination (of Earth satellite) rus: наклонение орбиты (спутника Земли)	Orbita uzelining chiqish nuqtasida Yerning ekvatorial tekisligidan soat strelkasiga teskari yo'nalishda 0 dan 180° gacha o'lgangan, Yer ekvatori tekisligi va mazkur orbitani o'z ichiga oluvchi tekislik bilan belgilanadigan burchak.
Orbita ingl: orbit rus: орбита	Asosan faqat tabiiy, birinchi navbatda, gravitatsion kuchlar ta'siriga uchragan yo'ldosh yoki boshqa kosmik ob'ekt massalari markazi tomonidan tasvirlanuvchi, muayyan koordinatalar tizimidagi tracktoriya.
Orbita (Yer yo'ldoshining) ingl: orbit (of Earth satellite) rus: орбита (спутника Земли)	Yer yo'ldoshi harakatlanadigan yo'l. Yo'ldosh Yer atrofida geostatsionar (GEO), elliptik (yuqori elliptik (NEO)), o'rta balandlikdagi (MEO) va quyi (LEO) orbitalar bo'ylab harakatlanishi mumkin.
Orbital holat ingl: orbital position rus: орбитальная позиция	Yo'ldoshning geostatsionar orbitadagi vaziyati.
Orbital tarqoqlik ingl: orbital diversity rus: орбитальное разнесение	Geostatsionar orbita yoyi bo'ylab o'tadigan yo'ldoshlar orasidagi masofa.
Orbital tekislik	Ekvatorga nisbatan doimiy og'ish burchagiga ega

ingl: orbital plane
rus: орбитальная плоскость

Passiv radiolokatsiya
ingl: passive radiolocation
rus: пассивная радиолокация

Peleng
ingl: bearing
rus: пеленг

Pelenglash
ingl: bearing
rus: пеленгация

Polosa
ingl: bandwidth
rus: полоса

Polosa filtri
ingl: bandpass filter
rus: полосовой фильтр

Polosa kengligi
ingl: bandwidth

bo'lgan tekislik. Unda Yerga yaqin orbitalarda harakatlanayotgan va Yer sathida aloqa yo'lini hosil qiladigan bir nechta yo'ldosh joylashishi mumkin.

Ob'ektni uning xususiy nurlanishiga qarab aniqlash. Aniqlash stansiyasi (oddiy radiolokatsiyadan farqli ravishda) o'z uzatkichiga ega bo'lmasdan faqat qabul qilishi tufayli, uning ishinig yashirinligi ta'minlanadi. Biroq, signallar maydon kuchlanganligining past darajada bo'lishi va ularning shovqinlilik xususiyati qabul qilgichning o'z shovqini fonida farqlashni qiyinlashtirib, nishonni passiv radiolokatsiya yordamida topishni murakkablashtiradi. Passiv radiolokatsiya ishlashi kuzatilayotgan ob'ektdan yashirilishi zarur bo'lgan kuzatish tizimlarida qo'llaniladi.

Kuzatuvchining o'rni (masalan, kompas markazi) va kuzatilayotgan ob'ekt orqali o'tuvchi vertikal tekislik va meridian tekisligi (haqiqiy, magnit yoki kompas) orasidagi burchak bilan o'lchanadigan, kuzatuvchidan biror-bir ob'ektgacha bo'lgan yo'nalish. Peleng sanog'i burchak graduslarida soat strelkasi bo'yicha meridianning shimoliy yo'nalishidan olib boriladi.

Biror-bir ob'ektga bo'lgan yo'nalishni burchak koordinatalari orqali aniqlash. Pelenglash radiolokatsion obzor (radiopelengatsiya), shovqinni pelenglash va kuzatish hamda ob'ektlarni topishning muhim metodi hisoblanadi.

Chastotaning ikki qo'shni qiymatlari o'rtasidagi o'zgarmas chastotalar diapazoni. Chastotalar polosasi deb ham ataladi. Optik-tolali kabelni tavsiflashda bu atamadan faqat ko'p modali tolalarning o'tkazish qobiliyatini aniqlashda foydalaniladi. Bir modali tolalar uchun "dispersiya" atamasi ishlatiladi.

Qirqimning yuqori va nolinch bo'lmagan quyi chastotasi bilan cheklangan muayyan chastotalar polosasini o'tkazuvchi filtr. Berilgan polosadan tashqarida qolgan barcha chastotalar filtr tomonidan bostiriladi. Qirqimning quyi chastotasi nolinch, yuqori chastotasi esa oxirgi chastota bo'lsa, u holda bunday filtr quyi chastotalar filtri deyiladi. Qirqimning uzluksiz katta yuqori chastotasiga hamda quyi chegara bo'yicha cheklashga ega bo'lgan filtr yuqori chastotalar filtri deb ataladi.

1. Yuqori va past chastota chegara kattaliklari orasidagi farq.

rus: ширина полосы

2. Aniq vaqt oralig'ida (odatda 1 sekund) uzatilishi mumkin bo'lgan ma'lumotlar hajmi. Raqamli qurilmalarda polosa kengligi odatda bit sekundda yoki bayt sekundda ifodalanadi. Analog qurilmalar uchun polosa kengligi davr sekundda yoki Gerslarda (Hz) ifodalanadi. Polosa kengligi, ayniqsa, kiritish-chiqarish qurilmalari uchun katta ahamiyatga ega.

Qamrov zonasi (er usti qabul qilish stansiyasining)
ingl: capture area (of the terrestrial receiving station)

rus: зона охвата
(наземной приемной станции)

Belgilangan xizmatning qabul qilish stansiyasi bilan bog'langan va muayyan chastotaga ega zona bo'lib, uning chegaralarida muayyan texnik sharoitlarda bitta yoki bir nechta uzatuvchi stansiya bilan radioaloqa o'rnatilishi mumkin bo'ladi.

Izoh – (Uzatish stansiyasining) qoplash zonasiga taalluqli bo'lgan eslatmalar tegishli o'zgarishlar bilan qamrov zonasi uchun ham o'z kuchini saqlab qoladi.

Qidiruv
(radiolokatsiyada)
ingl: search (in radiolocation)
rus: поиск (в радиолокации)

Ma'lum bir fazoviy zonada, shu zonada bo'lishi mumkin bo'lgan ob'ektlar xaqida axborot olish maqsadidagi kuzatuv.

Qirg'oq er stansiyasi
ingl: soastal terrestrial station
rus: береговая земная станция

Dengiz mobil yo'ldoshli xizmatiga fiderli liniyani ta'minlash uchun, quruqlikdagi aniq qayd etilgan punktda joylashgan, qayd etilgan yo'ldoshli xizmatning, yoki ba'zi hollarda, dengiz mobil yo'ldoshli xizmatining yer stansiyasi.

Qoplash zonasi
(kosmik stansiyaning)
ingl: coverage area
(of a space station)
rus: зона покрытия
(космической станции)

Belgilangan xizmatning kosmik stansiyasi bilan bog'langan zona bo'lib, uning chegaralarida muayyan texnik sharoitlarda bitta yoki bir nechta Yer stansiyalari bilan qabul qilish yoki uzatishni, yoxud unisini ham, bunisini ham amalga oshirish uchun radioaloqa o'rnatilishi mumkin bo'ldi.

Izohlar

1. Bir nechta qoplash zonalarini har doim bir stansiya bilan bog'liq bo'lishi mumkin, masalan bir nechta antenna mirlariga ega bo'lgan yo'ldoshda.

2. Texnik sharoitlar quyidagilarni o'z ichiga oladi: uzatish stansiyalaridagi kabi qabul qilish stansiyalarida ham qo'llaniladigan uskunalar xarakteristikasini, uni o'rnatilishining o'ziga xos xususiyatlarini, talab etiladigan uzatish sifatini, masalan, himoya munosabatlari va ekspluatatsiya qilish sharoitlarini.

3. Quyidagi zonalarini farqlash mumkin:

- halaqitlar mavjud bo'lmagandagi qoplash zonasi, ya'ni faqat tabiiy yoki sanoatda hosil bo'lgan shovqindan chegaralangan zona;

- nominal qoplash zonasi: u mo'ljallangan uzatgichlarni hisobga olish orqali chastotaviy rejani ishlab chiqishda aniqlanadi;

- haqiqiy qoplash zonasi, ya'ni amalda mavjud bo'lgan

Qoplash zonasi (yer usti
uzatish stansiyasining)
ingl: coverage area (of the
terrestrial transmitting station)
rus: зона покрытия (наземной
передающей станции)

**Quruqlikdagi radionavigatsion
stansiya** ingl: radionavigation land
station
rus: радионавигационная
сухопутная станция

Radar
ingl: radar
rus: радар

**Radioaloqa vositalarining bort
kompleksi**
ingl: on-board complex of
radio communication means

shovqin va xalaqitlarni hisobga oluvchi qoplash zonasi.
4. «Qoplash zonasi» tushunchasi noqoʻshonastona
yoʻldosh hortidagi kosmik stansiyasiga nisbatan
bevosita qoʻllanilishi mumkin emas, buning uchun
qoʻshimcha tekshirish talab etiladi.

5. Bundan tashqari, «xizmat koʻrsatish zonasi» atamasi
«qoplash zonasi» atamasi kabi texnik asosga ega
boʻlishi, shu bilan birga maʼmuriy jihatlarni ham oʻz
ichiga olish kerak.

Belgilangan xizmatning uzatish stansiyasi bilan
bogʻlangan va muayyan chastotali zona. Uning
chegaralarida muayyan texnik sharoitlarda bitta yoki bir
nechta qabul qiluvchi stansiya bilan radioaloqa
oʻrnatilishi mumkin.

Izoh

1. Bir nechta qoplash zonalari bir xil stansiya bilan
bogʻlangan boʻlishi mumkin.

2. Texnik sharoitlar quyidagilarni oʻz ichiga oladi:
uzatuvchi stansiyadagi kabi, qabul qiluvchi stansiyada
ham foydalaniladigan uskuna xarakteristikalarini, uni
oʻrnatish xususiyatlari, talab qilinadigan uzatish
sifati, masalan, himoya munosabatlari va ekspluatatsiya
qilish shartlari.

3. Quyidagi zonalarni farqlash mumkin:

- xalaqitlar boʻlmaganda qoplash zonasi, yaʼni tabiiy
yoki sanoat shovqinlari bilan kifoyalanish;

- nominal qoplash zonasi: taxminiy uzatkichlarni
hisobga olgan holda chastotali rejani ishlab chiqishda
aniqlanadi;

- haqiqiy qoplash zonasi, yaʼni amaliyotda mavjud
boʻlgan shovqinlar va xalaqitlarni hisobga olgan holda
qoplash zonasi.

4. Bundan tashqari, «xizmat koʻrsatish» atamasi
«qoplash zonasi» atamasi kabi texnik asosga ega
boʻlishi kerak, lekin oʻz ichiga maʼmuriy aspektlarni
ham olishi
kerak.

Radionavigatsiya xizmatining harakat vaqtida ishlash
uchun moʻljallanmagan stansiyasi.

Aniqlanishi zarur boʻlgan joydan qaytgan yoki
retranslyasiya qilingan radiosignallarni etalon signallar
bilan solishtirishga asoslangan radioaniqlash tizimi.

Harakatdagi obʼektlarda joylashtiriladigan radioaloqa
vositalarining kompleksi.

rus: бортовой комплекс средств радиосвязи

Radioaniqlash

ingl: radiodetermination
rus: радиоопределение

Ob'ektning joylashgan joyi, tezligi va/yoki boshqa xarakteristikalarini aniqlash yoki radioto'lqinlarning tarqalish xossalari yordamida shu parametrlarga nisbatan axborotni olish.

Radioaniqlash

ingl: radiodetermination
rus: радиоопределение

Ob'ektning joylashgan joyi, tezligi va/yoki boshqa xarakteristikalarini aniqlash yoki radioto'lqinlarning tarqalish xossalari yordamida shu parametrlarga nisbatan axborotni olish.

Radiobalandlik o'lchagichi ingl:

radioaltimeter

rus: радиовысотомер

Havo kemasi yoki kosmik kema bortida o'rnatilgan, havo kemasi yoki kosmik kema uchirgichining er usti yoki boshqa sirtgacha bo'lgan balandligini aniqlash uchun foydalaniladigan radionavigatsiya uskunasi.

Radioelektron

apparatura

ingl: radioelectronic instruments

rus: радиоэлектронная аппаратура

Elektromagnit tebranishlar va turli muhitlardagi elektron jarayonlardan foydalanib, axborotni uzatish, qabul qilish, o'zgartirish va qayta ishlash uchun mo'ljallangan qurilmalar to'plami.

Radioelektron qurilma ingl:

radioelectronic device

rus: радиоэлектронное устройство

Axborotni uzatish, qabul qilish, o'zgartirish funksiyalari (funksiyasi) ni yoki ular asosida texnik vazifalarni amalga oshiradigan, tutib turadigan konstruksiyada bajarilgan funksional tugallangan yig'ma birlikni o'zida ifodalovchi radioelektron vosita.

Radioelektron razvedka ingl:

electronic intelligence

(ELINT)

rus: радиоэлектронная разведка

Mazkur joyda ishlaydigan vositalar to'g'risidagi axborotni tutib olish va ma'lumotlarni to'plash uchun mo'ljallangan maxsus radiovositalar yig'indisi.

Radioelektron tizim

ingl: radio electronic system

rus: радиоэлектронная система

Funksional tugallangan radioelektron kompleks va qurilmalar majmuini o'zida aks ettiruvchi, o'z strukturasi, foydalanish sharoitlarini o'zgartirishda taktik va/yoki texnik vazifalarni ratsional hal qilish uchun, qayta qurish xususiyatiga ega radioelektron vosita.

Izohlar – 1 Radioelektron tizim tarkibiga mexanik, elektromexanik va ularsiz tizimni ekspluatatsiya qilish mumkin bo'lmagan boshqa vositalar kiradi. 2 Hal etilishi kerak bo'lgan texnik vazifalarning murakkabligiga qarab radioelektron tizim boshqa radioelektron tizimning yoki tizimlar majmuining mustaqil qismi bo'lishi mumkin.

Radioelektron vosita

ingl: radioelectronic mean

rus: радиоэлектронное средство

Ishlash asosiga radiotexnika va elektronika qoidalari kiritilgan qurilma va uning tarkibiy qismlari.

Radiogorizont
ingl: radio horizon
rus: радиогоризонт

Radiokanal
ingl: radio channel
rus: радиоканал

Radiolokatsion stansiyaning sukunat hududi
ingl: dead zone of radiolocation station
rus: мертвая зона радиолокационной станции

Radiolokatsion mayoq-javob bergich (rakon)
ingl: radiolocation beacon-respondent (racon)
rus: радиолокационный маяк-ответчик (ракон)

Radiolokatsion kompleks ingl: radio-location complex
rus: радиолокационный комплекс

Radiolokatsion stansiyaning ishlash masofasi
ingl: range of action of radiolocation station
rus: дальность действия радиолокационной станции

Radiomayoqli stansiya
ingl: radio beacon station

Nuqtalarning geometrik o'rti, unda radioto'lqinlar nurlanishining nuqtaviy manbaidan keladigan to'g'ri nurlar Yer sathiga urinma bo'ladi.
Izoh – Radiogorizont va geometrik gorizont atmosfera refraksiyasi tufayli bir-biridan farq qiladi.

Ma'lumotlar uzatish uchun radionurlanish-dan foydalanadigan kanal. Radiokanal radiouzatkich va radio qabul qiluvchidan tarkib topadi. Axborot tarmoqlarida radiokanallar ikki maqsadda ishlatiladi. Birinchisi – abonent tizimni kabellar guruhi asosida qurilgan tarmoq bilan ulashdir. Bunga yer bo'ylab kabel tortish iloji bo'lmasa yoki tizim bir joydan boshqasiga ko'chib yursa ehtiyoj tug'iladi. Ikkinchi maqsad – radiotarmoq yaratishdir.

Nishon aniqlanishi mumkin bo'lgan eng kichik masofa. Nishondan qaytgan radioto'lqinni qabul qilish uzatkich navbatdagi impulsni yuborishni tugatgandan va antenna qayta ulagichi stansiyaning qabul qilishga qayta ulangandan so'ng boshlanishi mumkin. Agar stansiya yuborayotgan radioimpuls davomiyligi $\tau_{i,u}$ qayta ulash vaqti $\tau_{q,u}$ bilan belgilansa, u holda sukunat zonasi quyidagiga teng

$$D_{min} = \frac{c(\tau_i + \tau_{q,u})}{2},$$

bu erda, c – elektromagnit energiyasining tarqalish tezligi.

Radardan signalni qabul qilayotganda masofasi, pelengi va farqlanishi to'g'risidagi ma'lumotlarning olinishini ta'minlagan holda so'rovchiradar ekranida takrorlanishi mumkin bo'lgan ajratuvchi signalni avtomatik ravishda uzatuvchi qayd qilingan navigatsiya belgisiga bog'liq bo'lgan qabul qilish-uzatish qurilmasi.

O'zaro bog'liq bo'lgan tarkibiy qismlar – masofa o'lchagich, balandlik o'lchagich, aniqlash qurilmasidan iborat bo'lgan radioelektron kompleks. Radiolokatsion kompleksning texnik vazifasi – ob'ektni topish, uning koordinatalarini aniqlash va mansubligini aniqlashdan iborat.

Stansiya va mo'ljallangan maqsad o'rtasidagi chegaraviy masofa, bunda stansiya o'z vazifasini me'yorda amalga oshirishi mumkin bo'ladi.

Nurlanishlari mobil stansiya radiomayoq stansiyasiga nisbatan o'z pelengini yoki yo'nalishini aniqlash

rus: радиомаячная станция	imkoniyatini beradigan, radionavigatsiya xizmati stansiyasi.
Radionavigatsion mobil stansiya ingl: radionavigation mobile station rus: радионавигационная подвижная станция	Radionavigatsiya xizmatining harakat vaqtida yoki to'xtash vaqtida ma'lum bo'lmagan punktlarda ishlash uchun mo'ljallangan stansiyasi.
Radionavigatsion yo'ldoshli xizmat ingl: radionavigation satellite service rus: радионавигационная спутниковая служба	Radionavigatsiya maqsadlari uchun ishlatiladigan radioaniqlash yuldoshli xizmati. Bu xizmat uning ishlashi uchun zarur bo'lgan fider liniyalarini o'z ichiga olishi mumkin.
Radionavigatsiya ingl: radionavigation rus: радионавигация	To'siqlar haqida ogohlantirish hamda navigatsiya maqsadlari uchun foydalaniladigan radioaniqlash.
Radionavigatsiya xizmati ingl: radionavigation service rus: радионавигационная служба	Radionavigatsiya maqsadlari uchun mo'ljallangan radioaniqlash xizmati.
Radionurlanish ingl: radio-frequency radiation rus: радионизлучение	Elektromagnit spektrda infraqizil nurlanishdan oldin joylashgan elektromagnit nurlanish. Tebranish chastotasi 3-30 kHz dan 300-6000 GHz gacha bo'lgan elektromagnit to'lqinlari radionurlanishga oiddir.
Radiopeleng ingl: radio-bearing rus: радиопеленг	Radiopelengator antenna tizimining o'rnatilish joyidan radiosignallarni nurlatuvchi ob'ektaga yo'naltirish. Bu yo'nalish gorizontall tekislikdagi radiopelengator antenna tizimi o'rnatilgan joyi orqali o'tuvchi haqiqiy yoki magnit meridianining shumoliy yo'nalish bilan bu joydan gorizontall tekislikdagi ob'ektning proektsiyasiga yo'naltirish orasidagi burchak (0° dan 360° gacha) orqali o'lchanadi.
Radiopelengator ingl: radio direction-finder rus: радиопеленгатор	Radiosignallarni nurlantiruvchi ob'ektlarni pelenglash uchun mo'ljallangan radiotexnik qurilma.
Radiopelenglash ingl: radiobearing rus: радиопеленгация	Stansiya yoki ob'ekt joylashgan yo'nalishni aniqlash maqsadida radioto'lqinlarni qabul qilishdan foydalaniladigan radioaniqlash.
Radiorele liniyasi ingl: microwave radio rus: радиорелейная линия	O'ta yuqori chastota diapazonida ishlaydigan radiokanal. Radiorele liniyasi 2, 7, 13, 15, 18, 23, 38 GHz chastotalarda ishlaydigan, o'tkazish polosasining kengligi 3,5-28 MHz bo'lgan, 50 km uzoqlikkacha ma'lumotlarni uzata oladigan yerusti radiotarmoqning

Radiostansiya
ingl: radio station
rus: радиостанция

Radioteleometriya
ingl: radiotelemetry
rus: радиотелеметрия

Radiotexnika qurilmasining tayyor bo'lish vaqti
ingl: available time of the radio engineering device
rus: время готовности радиотехнического устройства

Radioto'lqinlar difraksiyasi
ingl: diffraction of radio waves
rus: дифракция радиоволн

Radioto'lqinlarning ko'p nurli tarqalishi
ingl: multipath propagation of radiowaves
rus: многолучевое распространение радиоволн

Radiotopish
ingl: radio detection
rus: радиообнаружение

Radiotopish
ingl: radio detection
rus: радиообнаружение

Radioxalaqit
ingl: radio interference
rus: радиопомеха

Raqam-analog o'zgartirish
ingl: digit-to-analog conversion (DAC)
rus: цифро-аналоговое преобразование

tarkibiy qismidir.

Bitta yoki bir necha uzatkich yoki qabul qiluvchilar, shu jumladan, uzatkich va qabul qiluvchilarning yordamchi uskunalari birikmasi. U belgilangan joyda radioaloqa xizmatini yoki radioastronomiya xizmatini bajarish uchun xizmat qiladi.

Padioto'lqinlar vositasida amalga oshiriladigan telemetriya.

Radiotexnika qurilmasining, ulash vaqtidan boshlab, berilgan texnik xarakteristikalar bilan o'z funksiyalarini bajarishga tayyor bo'lish vaqtigacha bo'lgan vaqt intervali.

Fazoviy tarqalish muhitining bir jinsli bo'lmaganligini ifodalovchi to'siqlar ta'siri ostidagi padioto'lqinlar maydoni strukturasi o'zgarishi bo'lib, ayrim hollarda bu to'siqlar padioto'lqinlarning og'ishiga olib keladi.

Radioto'lqinlarning uzatish va qabul qilish nuqtalari o'rtasida uzatishning bir necha alohida trassalari bo'ylab bir vaqtda tarqalishi.

Radiostansiyaning ishlashini u o'mashgan joyning aniq koordinatalarini aniqlamasdan turib topish.

Radiostansiyaning ishlashini u o'mashgan joyning aniq koordinatalarini aniqlamasdan turib topish.

Bir yoki bir necha nurlanishlardan hosil bo'lgan elektromagnit energiyasining radioaloqa tizimida qabulga ta'siri. U axborot sifati yomonlashishida, xatolar paydo bo'lishida yoki axborot yo'qolishida namoyon bo'ladi.

Diskret signalni analog signalga aylantirish jarayoni. Aksariyat hollarda maxsus integral sxemalar yordamida amalga oshiriladi.

Regenerator ingl: regenerator rus: регенератор	Uzatish jarayonida qisman buzilgan raqamli signallarni dastlabki signalga aylantiruvchi qurilma.
Shovqin ingl: noise rus: шум	1. Liniyada signallarning butligiga xalal beruvchi to'siq. Shovqin turli manbalardan chiqishi mumkin, shu jumladan, radioto'lqinlar, yaqinda joylashgan elektr simlari, chiroqlar va sifatsiz ulanishlar. Optik tolali kabellarning metall kabellarga nisbatan afzalligi shundaki, ular shovqin ta'siriga kamroq moyildirlar. 2. Signalni yoki xabarni sof uzatishga to'sqinlik qiladigan hamma narsa.
Shovqinsimon signal ingl: spread spectrum signal rus: шумоподобный сигнал	Tanlangan chastota polosasida ko'p garmonik (sinussimon) tashkil etuvchilarni o'z ichiga olgan signal. Bunday signallardan foydalanish ma'lumotlar uzatishning shovqinga bardoshlilikini kuchaytiradi, radiokanallarni elektromagnit shovqinlardan va turli aralashuvlardan yaxshi muhofazani ta'minlaydi.
Siljish ingl: offset rus: сдвиг	1. Parametrlar o'z nominal qiymatidan chetga chiqishi, masalan, taktli impulslarning etalon vaqt shkalasiga nisbatan tasodifiy siljishi yoki chastotaning parazit siljishi. 2. Signal barcha elementlarining, ularning joylashish tartibi o'zgarmagan hamda boshlang'ich chegarasi saqlangan holda bir vaqtda ko'chishi.
Simsiz foydalana olish ingl: wireless access rus: беспроводный доступ	Radiokanallar orqali tarmoq uzellari yoki serverlardan olisdan foydalana olish (ularga kira olish).
Sinxron ingl: synchronous rus: синхронный	Muntazam vaqt muddatlarida ro'y beruvchi. Sinxronning teskarisi asinxron. Komyuterlar va qurilmalar orasidagi ko'pchilik aloqalar asinxron – ular hohlagan paytda va muntazam bo'lmagan muddatlarda ro'y berishi mumkin.
So'rovchi ingl: interrogator rus: запросчик	Samolyot va kemalarni aniqlash, shuningdek, navigatsiya uchun mo'ljallangan radiolokatsiya asbobi, uzatkich va qabul qilgichdan tashkil topgan. So'rovchi odatda radiolokatsion aniqlash stansiyasi bilan bog'lanadi, uning ekranida aniqlash signallari ko'zdan kechiriladi. So'rovchining uzatkichi kodlangan so'rov signallarini (odatda, impulslar) nurlantiradi, ular so'ralayotgan ob'ektning javob beruvchisi tomonidan qabul qilinadi. Javob beruvchi tomonidan nurlantiriladigan kodlangan javob signallari so'rovchining qabul qilgichi orqali qabul qilinadi.
Spektr ingl: spectrum	Signal amplitudasi va fazasi o'zgarishining chastotaga bog'liqligini tavsiflovchi hamda uning xossalari va

rus: спектр

xarakteristikalarini qat'iy belglovchi funksiya

Takt

ingl: clock tick

rus: такт

Sinxronlovchi signallar ketma-ketligi oralig'idagi davr. Takt davomiyligi shunday tanlanadiki, uning o'tib borishi davomida ko'rilayotgan obyektida kirish signali yuzaga chiqargan barcha o'tkinchi jarayonlar yakunlanib bo'ladi. Taktning boshi va oxirini aniqlaydigan impulslar taktlash impulslari deb ataladi. Taktlash impulsining mavjudlik vaqti taktlash davrining qismi bo'ladi. Bu impulslarni paydo bo'lish chastotasi taktlash chastotasi deb ataladi. Taktlash impulslarining mavjudligi evaziga tizim yoki tarmoq ishini sinxronlash amalga oshiriladi.

Takt impulsi

ingl: clock pulse

rus: тактовый импульс

Sinxronlash yoki vaqt bo'yicha muvofiqlashtirish uchun foydalaniladigan, davriy uzatiluvchi impuls

Taktlash chastotasi

ingl: clock rate

rus: тактовая частота

Taktlash impulslarining paydo bo'lish chastotasi. Signallarning bir qiymatdan boshqasiga aktiv o'tishlari oralig'idagi vaqt bilan aniqlanadi. Chastota gerslarda o'lchanib, bir sekunddagi aktiv o'tishlar sonini anglatadi. Har bir aktiv o'tishdan so'ng passiv o'tish keladi va signal o'zining avvalgi qiymatini oladi. Impulslar takrorlanish chastotasi yuqori aniqlik bilan ushlab turiladi.

Tayanch chastota generatori

ingl: reference oscillator

rus: генератор опорной частоты

Ishchi chastotalar to'rini tuzishda asos sifatida foydalaniladigan tayanch tebranishlarni hosil qiluvchi generator. Amaliyotda, etalon chastotalar generatorining seziyli, rubidiyli va kvarsli turlaridan foydalaniladi.

Tayanch er stansiyasi

ingl: base terrestrial station

rus: базовая земная станция

Quruqlikdagi mobil yo'ldoshli xizmatga fiderli liniyani ta'minlash uchun, quruqlikdagi ma'lum zona chegarasida yoki qayd etilgan punktda joylashgan qayd etilgan yo'ldoshli xizmatning yoki ba'zi hollarda, quruqlikdagi mobil yo'ldoshli xizmatning Yer stansiyasi.

Tayanch signallar generatori

ingl: reference generator

rus: генератор опорных сигналов

Tizim ayrim elementlarining ishini sinxronlash uchun foydalaniladigan qurilma. Ishlab chiqariladigan impulslar doimiy takrorlanish chastotasiga, davomiylilik va amplitudaga ega bo'ladi, ularning vaqt bo'yicha holati esa, yuqori aniqlikdagi vaqt shkalasiga bog'langan.

Tayanch stansiya

ingl: base station

rus: базовая станция

1 Quruqlikdagi mobil xizmatning quruqlikdagi stansiyasi.
2 CHeklangan geografik zonada mobil abonentlar bilan aloqa o'rnatish uchun foydalaniladigan bir kanalli yoki ko'p kanalli stasionar qabul qiluvchi-uzatuvchi stansiya. «Tayanch stansiya» atamasi trunking aloqa

tizimini qoplash zonasiga, sotaga, sota ichidagi sektorga yoki sotalar guruhiga tegishli bo'lishi mumkin.

Teleboshqaruv

ingl: teleoperation

rus: телеуправление

Qandaydir masofadagi uskunaning ishlashini boshlash, o'zgartirish yoki to'xtatish uchun signallarni uzatish maqsadida telekommunikatsiyalardan (elektoraloqadan) foydalanish.

Telebuyruq

ingl: telecommand

rus: телекоманда

Uzoqdagi uskunalarni ulash, ish tartibini o'zgartirish yoki o'chirish uchun signallarni uzatish.

Telekommunikasiya vositalari

ingl: telecommunication means

rus: средства телекоммуникации

Elektromagnit yoki optik signallarni hosil qilish, uzatish, qabul qilish, qayta ishlash, kommutasiya qilish hamda ularni boshqarish imkonini beruvchi texnik qurilmalar, asbob-uskunalar, inshootlar va tizimlar.

Telekommunikasiyalar

ingl: telecommunications

rus: телекоммуникации

1. Signallar, belgilar, matnlar, tasvirlar, tovushlar yoki axborotning boshqa turlarini o'tkazgichli, radio, optik yoki boshqa elektromagnit tizimlaridan foydalangan holda uzatish, qabul qilish, qayta ishlash.

2. Axborot-kommunikasiya texnologiyalari asosida ma'lumotlarni masofadan uzatish jarayoni.

3. Predmeti axborot uzatish uslublari va vositalari bo'lgan faoliyat sohasi.

Telemetriya

ingl: telemetry

rus: телеметрия

O'lchash asbobidan qandaydir masofadagi o'lchashlarni avtomatik tarzda ko'rsatish yoki qayd qilishda telekommunikatsiyalardan (elektoraloqadan) foydalanish.

Texnik vositalar

ingl: technical means

rus: технические средства

Elektrotexnika, radiotexnika, elektronika qonunlariga asoslangan mahsulotlar, apparaturalar yoki ularning funksional qismlari bo'lib, ular kuchaytirish, generatsiyalash, xotirada saqlash, uzib-ulash, o'zgartirish vazifalaridan birini yoki bir nechtasini bajaruvchi elektron komponentlari va sxemalardan iborat bo'ladi. Texnik vosita radioelektron vosita (REV), hisoblash texnikasi vositasi (HTV), elektron avtomatika vositasi (EAV), elektrotexnik vosita shu bilan birga sanoat, ilmiy ishlarni bajarish va medisina vositalari bo'lishi mumkin.

Translyator

ingl: translator

rus: транслятор

1. Signallarni bir shaklda qabul qilib (odatda aniq chastotatali analog shaklda), boshqa shaklda uzatadigan kommunikasiya qurilmasi.

2. Axborotni bir tizimdan boshqa tizimdagi teng kuchli axborotga o'giruvchi qurilma.

3. Teleko'rsatuv va radioeshittirishlarda, bosh stansiyadan signalni qabul qilib, so'ng uni kuchaytirib uzatadigan stansiya.

4. Telefoniya uskunalarida, terilgan raqamlarni qo'ng'iroq uchun axborotga o'giruvchi qurilma.

Uzatish

ingl: transmission

rus: передача

Axborotni aloqa kanali bo'ylab manbadan qabul qilgichga ko'chirish jarayoni.

Uzatish kanali

ingl: transmission channel

rus: канал передачи

Texnik vositalar va tarqalish muhiti majmui. U aniq chastotalar kengligida yoki aniq tezlikda tarmoq stansiyalari, tarmoqlar tugunlari orasida yoki tarmoq stansiyasi yoki tarmoq tuguni va birlamchi tarmoqning chekka qurilmasi orasida telekommunikasiyalar signallarini uzatishni ta'minlaydi.

Telekommunikasiyalar signallarini uzatish usullariga qarab, uzatish kanali analog yoki raqamli deb ataladi.

Uzatish liniyasi

ingl: transmission line

rus: линия передачи

Umumiy liniya inshootlari, ularga xizmat ko'rsatish qurilmalari va xizmat ko'rsatish qurilmalarining ishlash doirasida yagona tarqatish muhitiga ega bo'lgan uzatish tizimlarining liniya traktlari va/yoki namunaviy fizik zanjirlar majmui.

Uzatish sifati

ingl: quality of transmission

rus: качество передачи

Uzatuvchi foydalanuvchidan qabul qiluvchi foydalanuvchiga kelayotgan telekommunikasiya signalini qayta tiklash darajasi.

Uzatish tezligi

ingl: rate

rus: скорость передачи

Aloqa sohasidagi ma'lumotlarni bitlar yoki baytlar bo'yicha uzatishda tizimning samaradorligini belgilovchi fundamental tushuncha.

Xalqaro elektraloqa**ittifoqi (XEI)**

ingl: International

telecommunications union (ITU)

rus: Международный союз

электросвязи (МСЭ)

Elektr aloqasidan foydalanish va uni rivojlantirish masalalari bilan shug'ullanuvchi xalqaro tashkilot. XEI Jeneva (Shveysariya)da joylashgan bo'lib, Birlashgan Millatlar Tashkiloti (BMT) tomonidan boshqariladi. XEI 1865 yilda tashkil topgan, 1932 yilgacha Xalqaro telegraf ittifoqi deb atalgan. XEI maqsadi barcha aloqa turlaridan mintaqaviy foydalanishda xalqaro hamkorlikni ta'minlash va kengaytirish, texnik vositalarini mukamallashtirish va ulardan samarali foydalanishdir. XEI, shuningdek, simsiz tarmoqlar uchun chastotalarni ro'yxatga olishga ham javobgardir.

Xizmat ko'rsatish zonasi**(yo'ldosh retranslyatorining).****yo'ldosh osti zonasi**

ingl: satellite footprint

rus: зона обслуживания

(спутникового ретранслятора),

подспутниковая зона

Yo'ldoshli aloqa tarmog'iga kiruvchi yer usti stansiyalari joylashgan yoki joylashtirilishi mumkin bo'lgan geografik zona.

YANRT masofa o'lchagich**signallari**

ingl: range-finder signals of

RSNN

YANRT bort uskunasi yo YANRT radiomayoq, radiomayoq yo bort uskunasi aloqa liniyalari bo'ylab nurlanadigan va YANRT bort uskunasida qiyali uzoqlikni «so'rov-javob» prinsipi bo'yicha o'lchashda

rus: дальномерные сигналы
РСБН

**Yaqin navigatsiya
radiotexnika tizimining
ishlash masofasi**

ingl: range of radio system
of near navigation

rus: дальность действия
радиотехнической системы
ближней навигации

**Yaqin navigatsiya
radiotexnika tizimi (YANRT)**

ingl: radio-technical system of
near navigation (RSNN)

rus: радиотехническая система
ближней навигации (РСБН)

**Yaqin navigatsiya
radiotexnika tizimining
bort uskunasi**

ingl: on-board equipment
of RSNN

rus: бортовое оборудование
радиотехнической системы
ближней навигации

**Yaqin navigatsiya
radiotexnika tizimi
radiomayog'i anten nasining
osma balandligi**

ingl: altitude of arrangement
of a beacon aerial RSNN

rus: высота подвеса антенны
радиомаяка
радиотехнической системы
ближней навигации

**Yaqin navigatsiya
radiotexnika tizimining
ishlash masofasi**

ingl: range of radio system
of near navigation

rus: дальность действия
радиотехнической системы
ближней навигации

**Yaqin navigatsiya radiotexnika
tizimi radiomayog'i
signallarini topish vaqti**

ingl: time of detection of signals of

qo'llaniladigan impulslarning kodli guruhi.

Radionavigatsiya nuqtasidan mobil ob'ektgacha bo'lgan maksimal masofa, bunda berilgan aniqlik hamda ehtimollik bilan uzoqlik va yoki azimut ko'rinishida mobil ob'ekt o'rnatilgan joy to'g'risida axborot olinishi ta'minlanadi.

YANRT radiomayog'i va bort uskunasi yig'indisi, harakat zonasi doirasida harakatdagi ob'ektning uning bortida va radiomayog'da yoki faqat harakatdagi ob'ektning bortida uzoqligi va/yoki azimuti to'g'risidagi axborotni olishni ta'minlaydi.

Harakatdagi ob'ektning bortiga o'rnatiladigan radioelektron qurilma, u yaqin navigatsiya radiotexnika tizimi radiomayog'i signallari bo'yicha harakatdagi ob'ektning ushbu ob'ektda va radiomayog'da joylashgani to'g'risida azimut hamda uzoqlik ko'rinishida axborot olinishini ta'minlaydi.

Yaqin navigatsiya radiotexnika tizimi: radio-mayog'i antenasi elektr markazining yer yuzasi ustida joylashish balandligi.

Radionavigatsiya nuqtasidan mobil ob'ektgacha bo'lgan maksimal masofa, bunda berilgan aniqlik hamda ehtimollik bilan uzoqlik va yoki azimut ko'rinishida mobil ob'ekt o'rnatilgan joy to'g'risida axborot olinishi ta'minlanadi.

Vaqt intervali, uning davomida yaqin navigatsiya radiotexnika tizimi bort uskunasi qabul qilingan signallar tahlil qilinadi hamda azimut va yoki uzoqlikni o'lchash uchun zarur bo'lgan signallar ajratiladi.

the radio beacon RSNN
rus: время обнаружения сигналов
радиомаяка радиотехнической
системы ближней навигации

Yer stansiyasi
ingl: terrestrial station
rus: земная станция

Yer yuzasida yoki Yer atmosferasining asosiy qismida joylashgan: – bitta yoki bir nechta kosmik stansiya bilan; yoki bitta yoxud bir nechta qaytaruvchi yo'ldosh yo kosmosdagi boshqa ob'ektlar yordamida bitta yoki bir nechta shunga o'xshash stansiya bilan aloqa o'rnatish uchun mo'ljallangan stansiya.

Yer usti mobil stansiyasi ingl: land mobile station
rus: наземная подвижная станция

Yer usti mobil xizmatining mobil stansiyasi.

Yer usti radioaloqasi
ingl: land radio communication
rus: наземная радиосвязь

Kosmik radioaloqa yoki radioastronomiyadan tashqari har qanday radioaloqa.

Yer usti stansiyasi
ingl: land station
rus: наземная станция

Yer usti radioaloqasini amalga oshiruvchi stansiya. Radioaloqa reglamentida, agarda u haqida alohida aytib o'tilmagan bo'lsa, har qanday stansiya Yer usti stansiyasi hisoblanadi.

Yo'ldosh
ingl: satellite
rus: спутник

Kattaroq massali boshqa jism atrofida aylanadigan hamda harakati asosan va doimiy ravishda shu boshqa jism tortish kuchi bilan belgilanadigan jism.

Yo'ldoshli tizim
ingl: satellite system
rus: спутниковая система

Bitta yoki bir nechta Yerning sun'iy yo'ldoshlaridan foydalaniladigan kosmik tizim.

Yuqori chastotali qurilmalar
ingl: high-frequency devices
rus: высокочастотные устройства

Padioto'lqinlarni qabul qilish yoki nurlantirishda foydalanishdan tashqari, sanoat, ilmiy, tibbiy, maishiy yoki boshqa maqsadlarda radiochastota energiyasini generatsiyalash va undan foydalanish uchun mo'ljallangan uskuna yoki asboblari.

Zichlashtirish, multipleksorlash
ingl: multiplexing
rus: уплотнение, мультиплексирование

Bir qancha alohida manbalardan keluvchi signallarni uzatish umumiy kanalida uzatish uchun bitta tarkibiy signalga birlashtirishning qaytar jarayoni; bu jarayon umumiy kanalni aynan bir yo'nalishda mustaqil signallarni uzatish uchun alohida kanallarga ajratishga ekvivalentdir.

ADABIYOTLAR RO'YXATI

1. **Abduazizov A.A.** Elektr aloqa nazariyasi. Darslik. – T.: TATU, 2013. – 366 b.
2. **Abduazizov A.A., Davronbekov D.A.** Radiouzatish va radioqabul qilish qurilmalari. O'quv qo'llanma. – T.: "Fan va texnologiyalar", 2011. – 272 b.
3. **Abduazizov A.A., Muxitdinov M.M., Yusupov Ya.T.** Radiotexnik zanjirlar va signallar. Darslik. – T.: "Sams-ASA", 2013. – 480 b.
4. **Abduazizov A.A., Raximov T.G., Yusupov Ya.T.** Radiotexnik tizimlar. O'quv qo'llanma. 1-2-QISM – T.: "O'quv-ta'lim metodika", 2015. – 296/264 b.
5. **D. Sundararajan.** A Practical Approach to Signals and Systems. 2008. – 400 p.
6. **Jon B. Hagen.** Radio-Frequency Electronics. Circuits and Applications. Cambridge University Press, 2009.
7. **Kai Chang.** Encyclopedia of RF and Microwave Engineering . Six-volume set. 2005. – 5832 p.
8. **Nazarov A.M., Tadjiyev A.A.** Radioaloqa qurilmalari. Darslik. – T.: «O'zbekiston xalqaro islom akafemiyasi», 2020. – 372b.
9. **Nazarov A.M., Tadjiyev A.A., Yusupov Ya.T.** Radiosignal uzatuvchi qurilmalar. O'quv qo'llanma. – T.: «Fan va texnologiya», 2017. – 308 b.
10. **Nazarov A.M., Yarmuhamedov A.A., Yusupov Ya.T.** Radiolokatsiya va radionavigatsiya sistemalari. O'quv qo'llanma. – T.: «Tafakkur», 2018. – 248 b.
11. Signals and systems: analysis using transform methods and MATLAB. M.J. Roberts. Publisher: McGraw-Hill Science Engineering, 2012.
12. **Tulyaganov A.A., Nazarov A.M., va boshq.** Signallarni uzatish nazariyasi. O'quv qo'llanma. – T.: «Aloqachi», 2019. – 304 b.
13. **Белов Л.А., Богачев В.М. и др.** Устройства генерирования и формирования сигналов. Под ред. Г.М. Уткина. – М.: Радио и связь, 2004.
14. **Богданович В.А., Вострецов А.Г.** Теория устойчивого обнаружения, различения и оценивания сигналов. – М.: Физматлит, 2003. – 320 с.
15. **Волков Л.Н., Немировский М.С., Шинаков Ю.С.** Системы цифровой радиосвязи. Базовые методы и характеристики. – М.: Эко-трендз, 2005. – 392с.

16. Галкин В.А. Цифровая мобильная связь. – М.: Горячая линия-Телеком, 2012. – 592 с.
17. Денисенко А.Н. Сигналы. Теоретическая радиотехника. Справочное пособие. – М.: Горячая линия-Телеком, 2005. – 704с.
18. Душин В.К. Теоретические основы информационных процессов и систем. Учебник. 3-ое изд. – М.: Издательско-торговая корпорация «Дашков и К», 2009. – 348 с.
19. Зрянов Ю.Т., Белоусов О.А., Федюнин П.А. Основы радиотехнических систем. Учебное пособие. – Тамбов.: Изд-во ФГБОУ ВПО «ТГТУ», 2011. – 144 с.
20. Информационные технологии в радиотехнических системах. Под ред. И.Б. Федорова. – М.: Из-во МГТУ имени Н.Э. Баумана, 2011. – 846 с.
21. Котоусов А.С. Теоретические основы радиосистем радиосвязь, радиолокация, радионавигация. – М.: Радио и связь, 2002. – 224 с.
22. Куприянов А.И. Радиоэлектронная борьба. Основы теории / А.И. Куприянов, Л.Н. Шустов. – М.: Вузовская книга, 2011. – 800 с.
23. Литвинская О.С. Основы теории передачи информации. – М.: Кнорус, 2010. – 168 с.
24. Морелое-Сарабоса. Р. Искусство помехоустойчивого кодирования. Методы, алгоритмы, применение. – М.: Техносфера, 2005. – 320 с.
25. Никольский Б.А. Основы радиотехнических систем. [Электронный ресурс]:[электрон. учебник] / Б. А. Никольский; Минобрнауки России, Самар. гос. аэрокосм. ун-т им. С. П. Королева (нац. исслед. ун-т). - Электрон. текстовые и граф. дан. (3,612 Мбайт). - Самара, 2013.
26. Радиолокационные системы [Электронный ресурс] : учебник / В. П. Бердышев, Е. Н. Гарин, А. Н. Фомин [и др.]; под общ. ред. В. П. Бердышева ; разраб. : Центр обучающихся систем ИнТК СФУ.– Электрон. дан. (4 Мб). – Красноярск: СФУ, 2012.
27. Радиотехнические системы. Учебник для вузов / Под ред. Ю.М. Казаринова. – М.: Академия, 2008. – 592 с.
28. Радиопередающие устройства / Учебник для вузов. Под общ. ред. Р.Ю. Иванюшкина. – М.: Горячая линия Телеком, 2019. – 1200 с.
29. Радиоприемные устройства / Под ред. проф. Н.Н. Фомина. – М.: Радио и связь, 2008. – 520 с.
30. Радиосистемы передачи информации. Под ред. В.В. Кальмыкова. – М.: Радио и связь, 2005. – 472с.
31. Романюк В.А. Основы радиосвязи. – М.: ЮРАЙТ, 2011. – 287с.

32. **Самов А.М., Корнев С.Ф.** Спутниковые системы связи. Учебное пособие. -М.: Горячая линия Телеком, 2012. – 244с.
33. **Сергиенко А.Б.** Цифровая обработка сигналов. – СПб.: Питер, 2002. – 608 с.
34. **Сердюков П.Н., Бельчиков А.В., Дропов А.Е. и др.** Защищенные радиосистемы цифровой передачи информации. – М.: АСТ, 2006. – 408 с.
35. **Скляр Б.** Цифровая связь. Теоретические основы и практическое применение. Пер. с англ. – М.: «Вильямс», 2003. – 1104с.
36. **Харкевич А.А.** Основы радиотехники. – М.: Физматгиз, 2007. – 512 с.
37. Радиочастота спектри, радиоэлектрон воситалар ва электромагнит мослашувига оид атамаларнинг русча-ўзбекча изохли лугати. «UNICON.UZ» ДУК директори А.Файзуллаевнинг умумий тахрири остида. Тошкент, 2010.
38. Axborot-kommunikatsiya texnologiyalari izohli lug'ati. Toshkent, 2010.

MUNDARIJA

QISQARTMALAR	3
KIRISH	6
1. RADIOTEXNIK TIZIMLAR HAQIDA UMUMIY TUSHUNCHALAR	8
1.1. Radiotexnik tizimlarning hozirgi zamon jamiyatida tutgan o'rnini	8
1.2. Radiotexnik tizimlarning turlarga bo'linishi	9
1.3. Radiotexnik tizimlarning taktik-texnik xarakteristikalarini	17
1.4. Radiotexnik tizimlarda energetik munosabatlar	20
1.5. Radiotexnik tizimlarning rivojlanish yo'nalishlari	26
<i>Nazorat savollari</i>	29
2. RADIOTEXNIK TIZIMLARDA SIGNALLAR VA XALAQITLAR	30
2.1. Axborot, xabar va signallar	30
2.2. Signal va xalaqitlarning matematik modellari	33
2.2.1. Gauss tasodifiy jarayoni	38
2.2.2. Tasodifiy jarayon quvvati spektri zichligi	41
2.3. Uzlaksiz signallarni diskretlash va kvantlash	42
2.3.1. Asosiy tushunchalar va ta'riflar	42
2.3.2. Uzlaksiz signallarni bir xil oraliqlarda diskretlash. Kotelnikov teoremasi	45
2.3.3. Diskretlangan signal spektri	51
2.3.4. Adaptiv diskretlash	53
2.3.5. Kvantlash	56
2.4. Uzlaksiz signallarni raqamli shaklda uzatish	58
2.4.1. Asosiy tushunchalar	58
2.4.2. Impuls-kodli modulyatsiya	59
2.4.3. Differensial impuls-kodli modulyatsiya	63
2.4.4. Delta modulyatsiya	64
<i>Nazorat savollari</i>	66
3. SIGNALLARNI ANIQLASH, FARQLASH VA AJRATISH NAZARIYASI ASOSLARI	68
3.1. Umumiy tushunchalar	68
3.2. Statistik qarorlar nazariyasining asosiy qoidalari. Optimal mezonlar	71
3.3. Signallarni aniqlash	76
3.3.1. Signallarni aniqlash optimal algoritmlari	76
3.3.2. Determinant signallarni aniqlash	81
3.3.3. Tasodifiy signallarni aniqlash	86
3.3.4. Signallar to'plamini aniqlash	91

3.4. Signallarni farqlash	96
3.4.1. Signallarni farqlash optimal algoritmlari	96
3.4.2. Determinant signallarni farqlash	96
3.4.3. Tasodifiy boshlang'ich fazali signallarni farqlash	106
3.5. Signallarni ajratish	110
3.5.1. Signallarni ajratish haqida tushuncha	110
3.5.2. Ajratish nazariyasida moslashmaslik (noaniqlik) funksiyasi	113
3.5.3. Moslashmaslikning vaqt-chastota funksiyalari	115
<i>Nazorat savollari</i>	118
4. AXBOROT UZATISH RADIOTEKNIK TIZIMLARI	120
4.1. Axborot uzatish raqamli radiotexnik tizimlarining struktura sxemasi va asosiy xarakteristikalar	120
4.2. Aloqa kanallari	124
4.3. Aloqa kanallarining modellari	127
4.3.1. Uzluksiz kanallarning modellari	127
4.3.2. Diskret kanallarning modellari	132
4.4. Modulyatsiya	139
4.4.1. Diskret modulyatsiyalangan signallarning turlari va ularning spektrlari	139
4.4.2. Impulslar modulyatsiyasi va impulsli modulyatsiyalangan signal spektri	145
4.4.3. Raqamli modulyatsiyalangan signallar	148
4.5. Demodulyatsiya	171
4.5.1. Raqamli manipulyatsiyalangan signallarni detektorlash	171
4.5.2. Impulsli-modulyatsiyalangan signallarni detektorlash	176
4.6. Xalaqitbardosh kodlash	178
4.6.1. Xalaqitbardosh kodlarni klassifikatsiyalash	178
4.6.2. Xalaqitbardosh kodlash asoslari	183
4.6.3. Tizimli kodlar	189
4.6.4. Birlik simvollari soni juft bo'lgan kod. Invers (teskari) kod	191
4.6.5. Xemming kodlari	193
4.6.6. Siklik kodlar	196
4.6.7. O'zgarmas vaznli kodlar	198
4.6.8. Uzluksiz kodlar	199
4.6.9. Kodlash nazariyasini asosi ikkidan farqlanuvchi kodlarni tahlil etish uchun umumlashtirish	201
4.6.10. Adaptiv korreksiyaovchi kodlar	202
4.7. Ko'p kanalli aloqa tizimlari	203
4.7.1. Umumiy kanal resursini taqsimlash usullari	203

4.7.2. Signallarni birlashtirish va ajratish masalasining qo'yilishi	209
4.7.3. Kanallarni chastota bo'yicha ajratish	210
4.7.4. Kanallarni vaqt bo'yicha ajratish	214
4.7.5. Signallarni shakl bo'yicha ajratish	220
4.7.6. Asinxron-manzilli aloqa tizimlari	220
4.8. Raqamli radioaloqa tizimlarida sinxronizatsiya.....	223
4.8.1. Radiotizimlarda signallarni sinxronlash. Sinxronlash tizim osti qismining vazifalari, turlari va ish holatlari	224
4.8.2. Sinxronizatsiyalash sxemalarining optimal ishlash algoritmlari	229
4.8.3. Tashuvchini sinxronizatsiyalash.....	234
4.8.4. Signallarni takt bo'yicha sinxronizatsiyalash.....	237
4.8.5. Kanallarni vaqt bo'yicha ajratishda sinxronizatsiyalash.....	245
4.8.6. Kadr bo'yicha sinxronizatsiyalash	248
<i>Nazorat savollari</i>	249
5. RADIOLOKATSIYA TIZIMLARI.....	251
5.1. Radiolokatsiya tizimlari haqida umumiy tushunchalar	251
5.1.1. Asosiy tushunchalar.....	251
5.1.2. Radiolokatsiya tizimlarining turlarga bo'linishi	254
5.1.3. Radiolokatsion tizimlarning taktik-texnik xarakteristikalarini	256
5.1.4. Radiolokatsion tizimlarda obyekt koordinatalarini aniqlash	261
5.2. Radiolokatsiya tizimlarining tuzilishi	262
5.2.1. Radiolokatsiya turlari	262
5.2.2. Radiolokatsiya tizimining umumlashgan strukturaviy sxemasi	267
5.3. Obyektlarning radioto'lqinlarni aks ettirish xususiyati	273
5.3.1. Sodda shakldagi obyektlarning AEEYu.....	274
5.3.2. Guruhli obyektlarning AEEYu.....	276
5.3.3. Kemalarning AEEYu.....	277
5.3.4. Tarqoq obyektlarning AEEYu.....	277
5.4. Radiolokatsion stansiyaning ta'sir uzoqligi	279
5.4.1. Radiolokatsion stansiyaning ochiq fazodagi ta'sir uzoqligi	279
5.4.2. RLSning ta'sir uzoqligiga yuza qoplami (yer, suv) dan aks etib qaytishning ta'siri	281
5.4.3. RLSning ta'sir uzoqligiga Yer shaklining ta'siri	282
5.4.4. RLSning ta'sir uzoqligiga atmosferaning ta'siri	283
5.5. Radiolokatsiya tizimlariga ta'sir etuvchi xalaqitlar va ulardan himoyalash.....	285
5.5.1. Tabiiy va o'zaro aktiv xalaqitlar.....	286
5.5.2. Sun'iy aktiv xalaqitlar	287
5.5.3. Sun'iy passiv xalaqitlar	288

5.5.4. RLS qabullash qurilmalariga ta'sir etuvchi xalaqitlar va ulardan himoyalash usullari	289
5.5.5. Radiolokatsiya stansiyalarini xalaqitlardan himoyalash.....	293
5.6. Obyektning masofasini o'lchash usullari	296
5.6.1. Amplitudaviy usul yordamida obyektning uzoqligini aniqlash...	296
5.6.2. Chastotaviy usul yordamida obyektning uzoqligini aniqlash.....	299
5.6.3. Fazaviy usul yordamida obyektning uzoqligini aniqlash	301
5.7. Obyektning burchak koordinatalarini aniqlash.....	302
5.7.1. Amplitudaviy usul yordamida obyektning burchak koordinatalarini aniqlash.....	303
5.7.2. Fazaviy usul yordamida obyektning burchak koordinatalarini aniqlash.....	305
5.7.3. Obyektning radial tezligini o'lchash.....	307
<i>Nazorat savollari</i>	308
6. RADIONAVIGATSIYA TIZIMLARI	310
6.1. Umumiy tushunchalar	310
6.2. Radionavigatsiya tizimlarining turlari	313
6.3. Radionavigatsiyada qo'llaniluvchi koordinatalar tizimi	318
6.4. Impulsli radionavigatsiya tizimlari, ularning ishlash prinsipi.....	320
6.5. Pozitsion navigatsiya tizimlari.....	320
6.5.1. Fazaviy radionavigatsiya tizimlari	321
6.5.2. Impuls-fazaviy radionavigatsion tizimlar	322
6.6. Yo'ldoshli radionavigatsion tizimlar	327
6.6.1. Birinchi avlod YRNTlarining tuzilish prinsipi va ishlatilishi	328
6.6.2. Ikkinchi avlod YRNTlarining tuzilishi va ishlash prinsipi.....	328
6.6.3. YRNT foydalanuvchilari apparaturalarining tuzilish prinsipi.....	333
6.7. GLONASS global navigatsion yo'ldoshli tizimi.....	342
6.8. GPS global navigatsion yo'ldoshli tizimi	348
6.9. GALILEO global navigatsion yo'ldoshli tizimi.....	352
<i>Nazorat savollari</i>	357
7. RADIOBOSHQARUV TIZIMLARI	358
7.1. Radioboshqaruv tizimlarining turlari va asosiy texnik ko'rsatkichlari	358
7.2. Uchish apparatini radioboshqarishning umumiy xarakteristikalar. Uchishni boshqarishning asosiy turlari.....	359
7.3. Maqsad va radioboshqaruvli snaryadlarni vizirlash.....	361
7.4. Radioteleyo'naltirish. Radionurlanish bo'yicha yo'naltirish	363
7.5. Radionur asosida boshqaruvchi radioliniyaning uzatish qismi	365
7.6. Radionur asosida radioboshqaruv tizimining qabullash qismi.....	367

7.7. Radionurlanish hududida boshqarish tizimi.....	369
7.8. Yo'nalishini o'zi boshqarish tizimi.....	370
7.9. Faol bo'lmagan (passiv) issiqlik vizirlari.....	372
7.10. Optik-elektron o'z-o'zini boshqarish tizimlarining umumlashgan sxemasi	372
7.11. O'z-o'zini boshqarish tizimi kallagi optik qismi	374
7.12. Komanda orqali radioboshqaruv tizimi.....	374
7.13. Analog komanda liniyalari	375
7.14. Raqamli komanda radioliniyalari	376
7.15. Radionavigatsiya tizimlari	380
7.16. Yer sun'iy yo'ldoshidan foydalanishga asoslangan radionavigasion tizimlar.....	382
7.17. Kosmik apparatlarni boshqarishni tashkil etish. Kosmik tizimlarning vazifalari	384
7.18. Kosmik apparatlarni boshqarish. KAning o'zini-o'zi mustaqil boshqarish tizimi. KAni Yerdagi vositalar orqali boshqarish.....	388
7.19. Kosmik apparatlarning koordinatalarini o'lchash.....	390
7.20. Kosmik apparatlarni kuzatish stansiyalari	393
Nazorat savollari.....	395
XULOSA.....	397
GLOSSARIY.....	398
ADABIYOTLAR RO'YXATI.....	424

YARASHBEK TOXIRBAYEVICH YUSUPOV

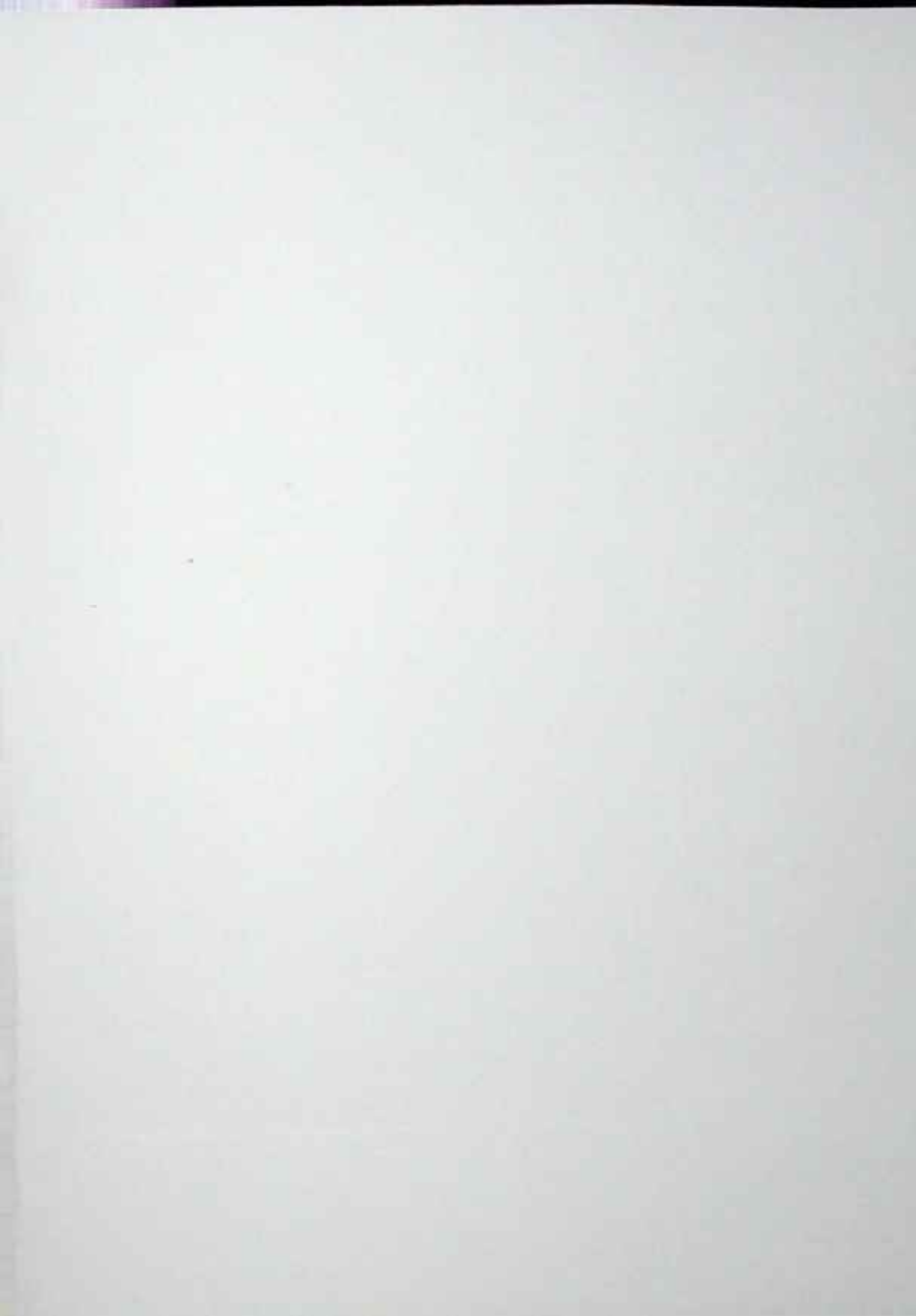
RADIOTEXNIK SISTEMALAR NAZARIYASI ASOSLARI

“5350700-Radioelektron qurilmalar va tizimlar” bakalavriat
ta’lim yo‘nalishi talabalari uchun darslik

Muharrir: X. Tahirov
Texnik muharrir: S. Meliquziyeva
Musahhih: M. Yunusova
Sahifalovchi: A. Muhammad

Nashr. lits № 0565. 29.01.2022.
Bosishga ruxsat etildi 29.08.2022.
Bichimi 60x84 1/16. Ofset qog'ozi. "Times New Roman"
garniturası. Hisob-nashr tabog'i. 17,5.
Adadi 200 dona. Buyurtma № 1.

«BOOK TRADE KO» MCHJ bosmaxonasida chop etildi.
Manzil: Toshkent sh., Yashnobod t, 58A harbiy shaharcha, 47/21.



ISBN 978-9943-8561-7-2



9 789943 856172