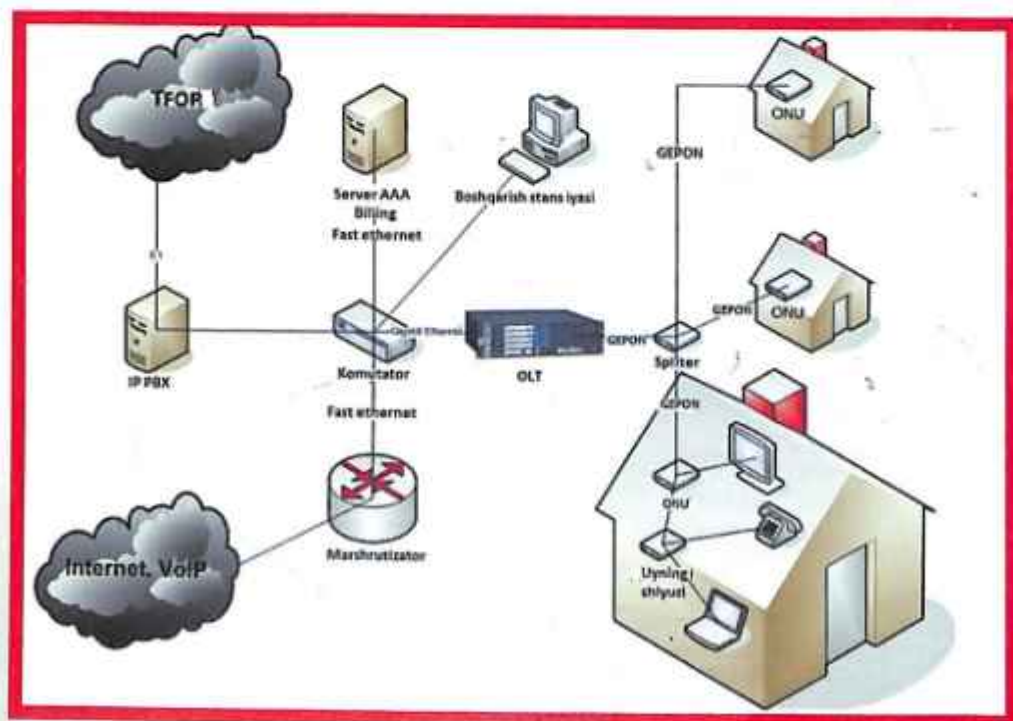


ISAYEV R., MIRAZIMOVA G.X., IBATOVA D.X.

OPTIK ALOQA TIZIMLARI



O'ZBEKISTON RESPUBLIKASI OLIY TA'LIM, FAN VA
INNOVATSIYALAR VAZIRLIGI

MUHAMMAD AL-XORAZMIY NOMIDAGI TOSHKENT
AXBOROT TEXNOLOGIYALARI UNIVERSITETI

ISAYEV R., MIRAZIMOVA G.X., IBATOVA D.X.

OPTIK ALOQA TIZIMLARI

O'zbekiston Respublikasi Oliy ta'lim, fan va innovatsiyalar
vazirligi tomonidan
“5350100 – Telekommunikatsiya texnologiyalari” yo'nalishi
bo'yicha ta'lim olayotgan talabalar uchun darslik sifatida tavsiya
etilgan

Toshkent
“METHODIST NASHRIYOTI”

2024



UDK: 621.391.6(075)

BBK: 32.86ya7

I 78

Isayev R.

Optik aloqa tizimlari / Mirazimova G.X., Ibatova D.X./
Darslik. – Toshkent: "METODIST NASHRIYOTI", 2024.
– 476 bet.

Ushbu darslik optik aloqa tizimlarining tuzilishi, tolali optik kabellar, optik aktiv va passiv elementlar bazasi, optik aloqa tizimlari – plezioxron raqamli ierarxiya, sinxron raqamli ierarxiya, to'liq uzunligi bo'yicha ajratilgan optik uzatish tizimlari, optik aloqa tarmoqlari, abonent optik tarmoq texnologiyalari, optik aloqa tizimlari va tarmoqlarida sinxronizatsiya, axborot xavfsizligi masalalariga bag'ishlangan.

Optik aloqa tizimlarini texnik ekspluatatsiya qilishga oid myeyorlarga aloxida to'xtab o'tilgan. To'liq uzunligi bo'yicha ajratilgan optik aloqa tizimlarining regeneratsiyalash seksiyasini loyihalashga namuna berilgan.

Darslik 5350100 – "Telekommunikatsiya texnologiyalari" yo'nalishi bo'yicha ta'lim oluvchi talabalarga va muxandis texnik xodimlarga mo'ljallangan.

Taqrizchilar:

Djabbarov Sh.Yu.

MUT va T kaf. dotsenti, t.f.n.

Berganov I.R.

O'zR RTV "UNICON.UZ" MCHJ bo'lim boshlig'i, t.f.n., dotsent.

O'zbekiston Respublikasi Oliy va o'rta maxsus ta'lim vazirligining 2022-yil 17-martdagi 106-sonli buyrug'iga asosan nashrga ruxsat berilgan.

ISBN 978-9910-03-133-5

© Isayev R. va boshq., 2024.
© "METODIST NASHRIYOTI", 2024.

KIRISH

Tolali optik aloqa tizimlari va tarmoqlari butun dunyo telekommunikatsiya tarmoqlarini raqamlashtirishga asos bo'ldi.

O'zbekiston Respublikasi telekommunikatsiya tarmoqlari to'liq raqamlashtirildi va davlatimiz butun dunyo axborot tizimiga haqiqiy ishtirokchi bo'ldi. Hozirgi kunda har bir xonadonga va tashkilotga tolali optik aloqa liniyalari kirib keldi.

Bu yo'nalishni dunyoda va O'zbekiston Respublikasida yaratilishi va hayotga tadbir etilishi tarixi optik tola orqali uzatiladigan yorug'likni uzatish prinsipi birinchi marta XX-asrda namoyish etildi, lekin keng miqyosda qo'llanilishi kerakli bo'lgan texnologiyalar yo'qligi sababli rivojlanmadi. 1934 yilda amerikalik olim Norman R. French optik telefon tizimiga patent oldi. Bu tizimda telefon signallari yorug'lik orqali shaffof shisha qurilmasida uzatildi.

1950 yillarda Brayen O'brien va Narinder Kapani (1956 yilda "Tolali optika" tushunchasini hayotga kiritgan) tasvirlarni uzatish uchun optik tola yaratishdi. Bu qurilmalar tibbiyotda (endoskopiyada) yorug'lik o'tkazgichlarida qo'llaniladi. 1962 yilda yarim o'tkazgichli lazer va fotoqabulqilgichlar yaratildi.

1966 yilda K.Ch.Kao va Dj.Xokxem axborotlarni optik tola orqali uzatish tizimiga talablarni ishlab chiqdilar va 20 dB/km dan kam bo'lgan optik tolani yaratish mumkinligini ko'rsatib berdilar. Ular birinchi optik toladagi yuqori darajadagi so'nish (taxminan 1000 dB/km), shishadagi qo'shilmalarga bog'liqligini tasdiqlashdi. Shu ishlar uchun K.Ch.Kao 2009 yilda fizika sohasida Nobel mukofotiga sazovor bo'ldi.

1970 yilda AQSH ning Corning Glass kompaniyasi xodimlari Maureru va Donaldu Keku 16 dB/km dan kam so'nish ko'rsatkichiga teng bo'lgan optik tolani ishlab chiqishga erishdi, ikki yildan keyin uni 4 dB/km ga yetkazishdi. Bu optik tolalar ko'p modali bo'lgan. 1983 yilda bir modali optik tolani ishlab chiqarish boshlandi.

Tolani optik aloqa liniyalari 1973 yilda AQSH da dengiz xarbiy qo'shinlarining dengiz korablda qo'llana boshladi, 1976 yilda xarbiy havo qo'shinlarida samolyotlarda qo'llanadi, 1977 yilda ikki kilometrli tolali optik aloqa liniyasi yerdagi yo'ldosh (sputnik) stansiyasini boshqarish markazi bilan bog'ladi.

1980 yilda AQSH da birinchi bo'lib Boston bilan Richmond o'rasida tolali optik tijorat aloqa liniyasi ishga tushirildi. Sobiq SSSR

da birinchi tolali optik aloqa liniyalari bir necha ob'ektlarda 1980 yildan boshlab ishga tushirildi.

Tolali optik aloqa tizimlarini O'zbekiston Respublikasida o'rganish va tadbiq etish sobiq SSSR davrida boshlangan. Bu ilmiy va amaliy ishlar hozirgi Muxammad al-Xorazmiy nomidagi Toshkent axborot texnologiyalari universiteti professori Isayev Rixsi Isaxo'jayevich 1976 yilda Moskva elektrotexnika aloqa institutida nomzodlik dissertatsiyasini yoqlab, Toshkent elektr aloqa institutining (TEAI) "Ko'p kanalli elektr aloqa" kafedrasiga assistent lavozimiga ishga keldi va shu yili Moskvadagi Markaziy ilmiy-tadqiqot instituti bilan xamkorlik o'rnatib, kafedraga "Tolali optik aloqa tizimlariga telenazorat vositalarini ishlab chiqish" mavzuida ilmiy-tadqiqot ishini bajarish bo'yicha TEAI qoshida "Tolali optik raqamli aloqa" ilmiy-tadqiqot laboratoriyasini ochilishiga asosiy xissasini qo'shdi. Ushbu laboratoriya hozirgi Toshkent axborot texnologiyalari universitetining asosiy binosida, 1 qavatdagi 104 xonada ish boshlagan. Ilmiy-tadqiqot ishiga, shu davrda kafedra mudiri bo'lgan, t.f.n., dotsent Berganov Iskandar Raxmanovich rahbar va t.f.n., katta o'qituvchi Isayev Rixsi Isaxo'jayevich mas'ul ijrochi etib tayinlandilar. Shu davrlarda tolali optik aloqa ilmiy yo'nalishi endi rivojlana boshlagan va juda dolzarb yo'nalish edi va bunday yo'nalish bo'yicha faqat Moskva va Leningrad (hozirgi Sankt-Peterburg shaharlaridagi) yirik ilmiy-tadqiqot va ilmiy-ishlab chiqarish korxonalarigagina topshirilgan edi. Ushbu ochilgan "Tolali optik raqamli aloqa" ilmiy-tadqiqot laboratoriya Toshkent shaxrini sobiq SSSR da bu yo'nalishda ish boshlagan uchinchi shaxar darajasiga olib chiqdi. Bu qaror Toshkent elektrotexnika aloqa instituti rahbariyati va yosh olim Isayev Rixsi Isaxo'jayevichga ko'rsatilgan yuqori darajadagi ishonch bo'ldi. Bu ishlar Moskvadagi sobiq SSSR ning Aloqa vazirligi tasarrufidagi "Markaziy ilmiy-tadqiqot aloqa instituti" "Optik aloqa" ilmiy-tadqiqot yo'nalishi rahbari, taniqli olim Muradyan Ashot Gareginovichning yosh olim Isayev R.I. ga ishonchi va yordami asosida ochildi va rivojlandi.

Kafedra olimlari, aspirantlari va ilmiy xodimlari katta javobgarlikni xis qilib, ilmiy-tadqiqot ishini a'lo darajada bajardilar va sobiq SSSR ning Butunittifoq xalq xo'jaligi ko'rgazmasida oltin medalga sazovor bo'ldilar.

Ilmiy laboratoriyaga keyingi yillarda t.f.n., professor Isayev R.I. rahbar etib tayinlandi va uning rahbarligida 1985 yilda O'rta Osiyo va Qozog'iston Respublikalari ichida birinchi bo'lib O'zbekiston

Respublikasi, Toshkent shahrida 234 va 241 avtomatik telefon stansiyalar (ATS) lar orasida 4 km uzunlikda tolali optik aloqa kabeli telefon kanalizatsiyalar orqali yotqizilib, raqamli 30 kanalli apparatura ishga tushirildi. Tolali optik aloqa kabellarni yotqizish, ularni montaj qilish, apparaturalarni o'rnatish va montaj qilish ishlarida "Tolali optik raqamli aloqa" ilmiy-tadqiqot laboratoriyasi rahbari Isayev R.I., injener Malikxo'jaev N. va boshqa xodimlari, sobiq SSSR Aloqa vazirligi tasarrufidagi Markaziy ilmiy-tadqiqot aloqa instituti (Moskva shahri) "Optik aloqa liniyalari" ilmiy laboratoriya boshlig'i Smirnov Valeriy Ivanovich, ilmiy xodimlar Sokolov Aleksandr Nikolaevich va Chertov Valentin Gavrilovichlar faol qatnashdilar.

Ikki telefon stansiyalarini bog'lovchi tolali optik aloqa tizimi (raqamli 30 kanalli apparatura asosida) o'sha davrda faqat Moskva va Leningrad shaharlaridagina ishga tushirilgan edi va sobiq SSSR da uchinchi shahar – Toshkent shahrida tolali optik aloqa tizimining ishga tushirilishi juda katta ahamiyatga ega bo'lgan tarixiy voqea edi. Quyidagi rasmda (1-rasm), chapdan o'nga laboratoriya rahbari Smirnov V.I. va ilmiy xodim Chertov V.G. lar optik tolani ulab, muftaga joylashtirayaptilar.



1-rasm. Qurilish uzunligidagi tolali optik aloqa kabellaridagi optik tolalarni kavsharlab, bir-biriga ulab, ularni optik aloqa muftasiga joylashtirish. Chapga o'ngdan "Optik aloqa liniyalari" laboratoriyasi boshlig'i Smirnov Valeriy Ivanovich va laboratoriya ilmiy xodimi Chertov Valentin Gavrilovichlar.

2-rasmda (O'ngdan chapga) laboratoriya boshlig'i Smirnov V.I., TEAI ilmiy ishlar bo'yicha prorektori, akademik Yunusov M.S., (oxiratlari obod bo'lsin), professor Isayev R.I., ilmiy xodim Chertov

V.G., "Tolali optik raqamli aloqa" laboratoriya injeneri Malikxo'jaev N. va Toshkent shahar telefon tarmog'i xodimi Anhor kanali ko'prigi ustida telefon kanalizatsiyasiga joylashtirishga tayyorlangan tolali optik aloqa kabel muftasini tekshirish jarayonida.



2-rasm. 1985 yilda Moskvadagi va Leningraddagi elektrotexnika aloqa institutlaridan keyin Toshkent elektrotexnika aloqa institutida "Ko'p kanalli elektr aloqa" kafedrasida professor Isayev R.I. rahbarligida "Tolali optik raqamli aloqa" o'quv laboratoriyasi tashkil etildi va professor Isayev R.I. "Tolali optik raqamli aloqa" fanidan ma'ruza va laboratoriya ishlariga rahbarlik qildi. O'quv laboratoriya TEAT asosiy korpusi 303 xonada joylashgan edi. Bu laboratoriya 303 xonada o'rnatilgan Nokia (Finlandiya) kompaniyasining raqamli 30 kanalli apparaturasi, 3 qavatda joylashgan 330 xonadagi "Mikroprotssessorlar va raqamli texnika" o'quv laboratoriyasida o'rnatilgan ikkinchi raqamli 30 kanalli Nokia apparaturasi bilan tolali optik aloqa kabel o'qali ishga tushirilgan edi. Ushbu o'quv laboratoriya namunaviy laboratoriyalardan bo'lganligi sababli, shu yili O'zbekiston Respublikasi Fanlar akademiyasiga tashrif davrida

SSSR fanlar akademiyasi akademigi, professor, qattiq jisimli lazer nazariyasini yaratgani uchun Nobel mukofoti laureyati sovrindori Proxorov Aleksey Mixaylovich, uning shogirdi t.f.d., prof. (hozirgi kunda akademik) Dianov E.S. lar ushbu laboratoriyaga kelishdi va o'quv laboratoriya ishlashi, tashkiliy holati, o'quv hujjatlarini ko'rib, ijobiy fikrlar bildirishdi.



3-rasmda chapdan o'ngga: prof. R.I. Isayevning shogirdi, t.f.n. Ursov S.N., prof. Isayev R.I., yonida, O'zbekiston Respublikasi akademiyasi xodimlari, Toshkent elektrotexnika aloqa institutining Rektori, O'zbekiston Respublikasi akademigi, prof. Abdullaev J.A. (ohiratlari obod bo'lsin), SSSR fanlar akademigi, prof., Nobel mukofoti laureati Proxorov Aleksey Mixaylovich, orqasida "Tolali optik raqamli aloqa" laboratoriya xodimi Sharapov V.N., yonida prof. Dianov E.S. va Moskvalik mehmon.

"Tolali optik raqamli aloqa" laboratoriyasi dolzarb ilmiy-tadqiqot ishlarini olib borish bilan birga, aloqa tarmoqlariga uzatish izimlarini ishga tushirishda ham tarixiy ishlarni bajargan. Shulardan biri 1989 yilda Kalunin (hozirgi Zangiota) tuman markazini Toshkent telegraf-telefon stansiyasi – hozirgi Bosh kommutatsiya markazi (BKM) bilan 120 kanalli raqamli optik aloqa apparatura orqali 16 km uzunlikdagi tolali optik aloqa kabelni telefon kanalizatsiya orqali va erga ko'mish bilan hosil qilingan tolali optik magistral qurib ishga

tushirildi. Bu loyiha O'rta Osiyo va Qozog'iston Respublikalari ichida birinchi bo'lib O'zbekiston Respublikasida zona ichi (regional) tarmog'i sifatida ishga tushirilgan edi. Bu ishlar professor Isayev R.I. rahbarligida "Tolali optik raqamli aloqa" ilmiy laboratoriya xodimlari va Moskvadagi Markaziy ilmiy-tadqiqot aloqa instituti ilmiy laboratoriya boshlig'i Smirnov V.I., ilmiy xodimlar Sokolov A.N., Chertov V.G. va Grafutko B.V. lar hamkorligida bajarildi.

1989-90 yillarda Qoraqalpog'iston Respublikasining Nukus shahrida, Andijon shahrida ATS lar orasida bir modali optik kabellar yotqizilib, 1,3 mkm to'lqin uzunlikda IKM - 1920 raqamli apparaturaning optik diapazonda ishlaydigan turi ishga tushirildi. Bu ishlar ham Moskva, Leningrad shaharlaridan keyin O'zbekistonda ishga tushirilgan optik tizimlar, O'rta Osiyo va Qozog'istonda birinchilardan edi.

O'zbekiston Respublikasi mustaqillikka erishgandan keyin davlatimizda yangi texnologiyalar asosida telekommunikatsiya tarmoqlarini raqamlashtirish ishlari boshlandi.

1994 yilda Janubiy Koreyaning "DEU telekom" kompaniyasi davlatimizda birinchi bo'lib, Farg'ona shahri telekommunikatsiya tarmog'ini raqamlashtirish ishlarida faol qatnashdi. Shu davrda professor Isayev R.I. O'zbekiston Respublikasi aloqa vazirligining Ilmiy-texnik (hozirgi Fan-texnika va marketing tadqiqotlari markazi-UNICON.UZ) markazi boshlig'i vazifasida ishlab turib, Farg'ona shahri tarmog'ida tolali optik kabellarni yotqizish, ularni montaj qilish, raqamli apparaturalarni o'rnatish, sozlash va ishga tushirish ishlarini, endi markaz tasarrufiga o'tgan "Tolali optik raqamli aloqa" ilmiy-tadqiqot laboratoriya xodimlari Fayzullaev A.N., Utabaev B.S., Munavarov A., Qosimov X. lar bilan bajarishga rahbarlik qildi. 480 kanalli raqamli apparatura Rossiyaning Perm shahridagi "Morion" kompaniyasidan olib kelindi.

Shu o'tgan davrda professor Isayev R.I. yuzlab yuqori malakali mutaxassislarni tayyorladi. Shulardan ko'pchiligi Qozog'iston, Qirg'iziston, Tojikiston, Turkmaniston, Rossiya va boshqa davlatlarda xizmat qilmoqdalar.

Keyingi yillarda O'zbekiston Respublikasi aloqa tarmoqlarini raqamlashtirish keskin ravishda rivojlantirildi. Hozirgi kunda Toshkent shahri, Qoraqalpog'iston Respublikasi poytaxti Nukus va viloyatlar markazlari va tumanlari halqa topologiyali tarmoqlar orqali tolali optik kabel bilan bog'langan. Ushbu ishlarda Isayev R.I. faol qatnashdi.

Tolali optik aloqa kabeli texnologiyalarining yangi avlodlarini ishlatish bo'yicha O'zbekiston Respublikasi hozirgi kunda ham hamdo'stlik davlatlar orasida birinchi o'rinni egallab kelmoqda.

Hozirgi kunda Isayev Rixsi Isaxo'jaevich Muhammad al-Xorazmiy nomidagi Toshkent axborot texnologiyalari universitetida "Telekommunikatsiya injiniringi" kafedrasida professori lavozimida faoliyat yuritayapti. Kafedrada bakalavriatura yo'nalishida "Optik aloqa tizimlari", magistratura yo'nalishi bo'yicha "Optik aloqa tarmoqlarida texnik xizmat ko'rsatish", "Optik aloqa tizimlari va tarmoqlarida axborot va kiber xavfsizligini ta'minlash" fanlari bo'yicha darsliklar yaratib ushbu yo'nalishlarning rivojlanish majmuasiga rahbarlik qilib, to'liq optik telekommunikatsiya tizimlari va tarmoqlarining tamoyillari, ularda ishlatiladigan vositalar yuzasidan olib borilayotgan ilmiy va amaliy ishlarga rahbarlik qilmoqda.

Tolali optik aloqa tizimlarida ko'plab optik komponentlar ishlatiladi va ulardan quyidagilari ajralib turadi: ma'lumotlarni sekundiga o'nlab gigabitdan sekundiga yuzlab terabitgacha tezliklarda uzatish imkoniyatini beruvchi kvarts shishali optik tolalar; yuqori tezkor uzatuvchi optik yarimo'tkazgichli lazerlar (LASER); qabul qiluvchi optik modullar tarkibiga kiruvchi yuqori sezgirlikka ega fotodetektorlar; EDFA (Erbium Doped Fiber Amplifier) optik tolada erbiy bilan ligerlangan kuchaytirgichlar va kuchaytirish koeffitsienti katta bo'lgan (50 dB gacha) va kuchaytiriladigan chastotalarning polosasi keng bo'lgan (5 dan 10 THz gacha) yarimo'tkazgichli va Raman optik kuchaytirgichlar; optik kommutatorlar va OXC (optical cross-connect) marshrutizatorlar; OADM (Optical Add Drop Multiplexers) to'lqin va vaqt bo'yicha optik signallar multipleksorlari va demultipleksorlari; xromatik va qutblanuvchan modali dispersiyalar vujudga keltirgan optik signallar buzulishlar kompensatorlari; foton kristallar asosidagi optik proseslar va ko'pgina boshqa elementlar, ular to'g'risida taqdim etilayotgan darslikda va boshqa ko'pgina adabiyotlarda bayon qilinadi. Shuni ta'kidlash zarurki, komponent baza (asos) ning rivojlanishi fizik hodisalarini fundamental ilmiy tadqiqodlari va axborot nazariyasi sohasi yutuqlari bilan belgilanadi.

Uzatish tizimlari kanallarni vaqt bo'yicha multipleksorlaydigan, pleziokron raqamli ierarxiya - PDH (Plesiochronous Digital Hierarchy) va tolali optik liniya traktlari bo'lgan va avtomatlashtirilgan xizmat ko'rsatiluvchi sinxron raqamli ierarxiyalari

SDH (Synchronous Digital Hierarchy) uzatish tizimlari ko'rib chiqilgan.

Tolali-optik kabellarning shisha tolalari axborot ma'lumotlarini uzatishni doim takomillashtirib borishga imkon beradi. Shu tarzda optik signallarni bir to'liqlikda uzatish o'rniga WDM (Wavelength Division Multiplexing) to'liqlikda uzunliklarini ajratib multipleksorlash tizimlari keldi, vaqt bo'yicha ajratilgan elektr multipleksorlash esa OTDM (Optical Time Division Multiplexing) vaqt bo'yicha ajratilgan optik multipleksorlash va OCDM (Optical Code Division Multiplexing) signallari kodli ajratilgan optik multipleksorlash bilan to'ldirildi.

Solitonli uzatishning qo'llanilishi (SOLITON) WDM, OTDM, OCDM tizimlarida uzatish uzoqligini cheklovchi dispersion buzilishlar muammosini hal qilishi mumkin. Uzatish tizimlari uzatish uchastkalarini samarali nazorat qilish, boshqarish, zaxiralash vositalari bilan jihozlanmoqda. Uzatish tizimlari transport aloqa tarmog'ining tarkibiy qismi hisoblanadi, u alohida tekislik bilan ifodalangan. Bunda transport tarmog'i tarmoqning berilgan punktlari orasida axborotni ko'chirish uchun mo'ljallangan, ularga tegishli nazorat, operativ qayta ulash, zaxiralash va boshqarish vositalarini uzatish tizimlari resurslarining yig'indisi sifatida belgilanadi. Transport tarmoqlar Xalqaro telekommunikatsiya ittifoqi ITU-T ning Telekommunikatsiyalarni standartlashtirish sektori (International Telecommunication Union - Telecommunication Standardization Sector) qabul qilgan standartlar asosida ko'riladi. Bu standartlar bilan uzatish tizimlarini kirish texnologiyalari ham, transport aloqa tarmoqlarini qurish texnologiyalari ham belgilangan:

- Sinxron raqamli ierarxiya SDH va sinxron optik tarmoq SONET (Synchronous Optical Network);

- Asinxron uzatish rejimi ATM (Asynchronous Transfer Mode);

- IP (Internet Protocol) tarmoqlararo o'zaro ta'sir protokoli bo'yicha va MPLS (Multi-Protocol Label Switching) protokollari bo'yicha - belgilarga asoslangan ko'p protokolli kommutatsiya ma'lumotlar paketlarini uzatish uchun Ethernet texnologiyasi;

- OTH (Optical Transport Hierarchy) optik transport ierarxiyasi taqdim etadigan WDM to'liqlikda uzunliklari ajratilgan optik multipleksorlash texnologiyasi.

Transport tarmoqlari xizmatlarining talab etilgan sifatini ta'minlash uchun qabul qilingan ITU-T ning taktli sinxronlashtirish va

boshqarish bo'yicha qabul qilingan muhim qarorlari amalga oshiriladi.

Zamonaviy telekommunikatsiyalarning eng muammoli va tez rivojlanayotgan qismlaridan biri foydalanuvchilar terminallarining xizmatlarni taqdim etish tugunlariga kirish imkoniyati hisoblanadi. Bunda texnologiyalardan foydalanishga imkoniyati rivojining quyidagi yo'nalishlari kuzatiladi: "tola uyga", "tola taqsimlash shkafiga", "tola ofisga" va h.k., ular FTTx (Fiber to the Home, ...) bilan belgilanadi, masalan, tolali optik liniyalar tarmog'ida istalgan turdagi xizmatlarga kirish imkoniyatini ta'minlash uchun asos bolgan passiv optik tarmoq PON (Passive Optical Network). Bu foydalanuvchilarga barcha ma'lum bo'lgan va talab qilingan telekommunikatsiya xizmatlarini taqdim etadi, ularga quyidagilar kiradi: telefoniya kanallar kommutatsiyasi bilan va IP telefoniya (Voice), video aloqa, video konferensiyalar, Internet, elektron pochta, tovushli eshittirish, raqamli televidenie, tele sayohatlar va boshqa xizmatlarni amalga oshirish uchun foydalanuvchilar uchun turli xil terminallar zarur. Ushbu darslikda tolali optik aloqa tizimlari tushunarli tarzda yozilgan. Fundamental sohaga muhim ahamiyat qaratilgan, muhandislik masalalari ham muhokama qilingan.

1. OPTIK ALOQA TIZIMLARI, ASOSIY TA'RIF VA TUSHUNCHALAR, RIVOJLANISH TARIXI, TAVSIFLARI, TUZILISH PRINSIPI VA TASNIFI

1.1. Optik aloqa tizimlari. Asosiy ta'rif va tushunchalar

Optik aloqa (OA) bu axborot yorug'lik nuri ko'rinishida optik tola bo'ylab yoki ochiq fazo atmosferada uzatiladigan aloqadir.

Axborotlarni optik to'lqin signallari yordamida ma'lum masofalarga uzatishga mo'ljallangan, boshqacha qilib aytganda optik signallarni shakllantirishni, qayta ishlashni, uzatishni ta'minlovchi optik qurilmalar va optik uzatish liniyasi yig'indisiga optik aloqa tizimi (OAT) deb ataladi.

Axborot tolali optik uzatish muhiti orqali uzatilsa, tolali optik aloqa (TOA) tizimi, ochiq atmosferada uzatilsa, ochiq optik aloqa (OOA) tizimi deyiladi.

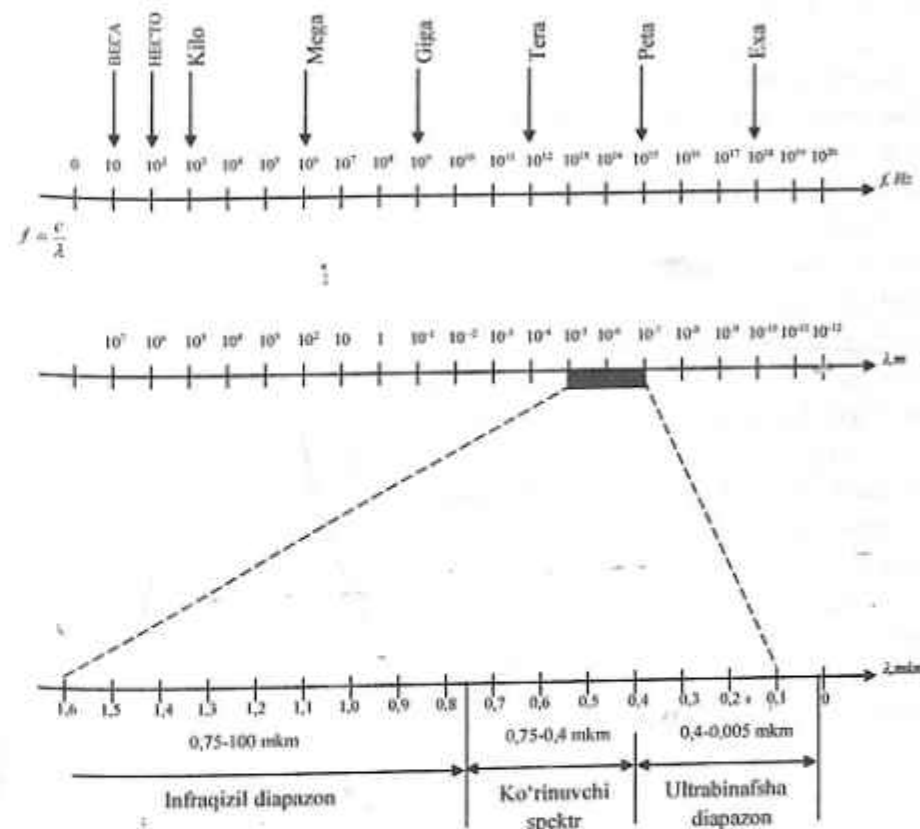
Istalgan aloqa tizimining asosiy vazifasi axborotlarni bir punktdan boshqasiga uzatish hisoblanadi. Odatda axborotlarni uzatish mos keluvchi axborot signallari bilan modulyasiyalangan elektromagnit tebranishlar yordamida amalga oshiriladi. So'ng modulyasiyalangan signal uzatish muhitida tarqaladi va qabul qiluvchi qurilmaga tushadi. Qabul qilgichda signal demodulyasiyalanadi va axborotlar ajratib olinadi. Aloqa tizimlari ko'pincha elektromagnit tebranishlar, tashuvchi chastota signallari egallagan diapazon bilan tasniflanadi (1.1-rasm).

Spektral diapazonga mos xolda radiodiapazon, o'ta yuqori chastota, millimetrl va optik diapazon tizimlari farqlanadi.

Optik aloqa tizimlarida tashuvchi chastota tebranishlari spektrning optik diapazonini egallaydi. Optik diapazon 5 TGs (100 mm) dan boshlanib, unga infraqizil, ko'rinuvchi va ultrabinafsha diapazonlar kiradi.

Infraqizil diapazon $3 \cdot 10^{12}$ dan $4 \cdot 10^{14}$ Gs (Gerts) doirasida joylashib, 100-0,75 mkm to'lqin uzunligiga mos keladi.

Ko'rinuvchi spektr $4 \cdot 10^{14}$ dan $0,75 \cdot 10^{15}$ Gs (0,75-0,4 mkm) ni egallaydi. Inson ko'zi 0,4-0,75 mkm spektrdagi nurlarga sezgir. Quyosh spektri 0,3 dan 1,5 mkm diapazonda joylashadi.



1.1- rasm. Elektromagnit to'lqinlar spektri

Tashuvchi chastotaning oshishi aloqa tizimining o'tkazish polosasini oshiradi.

OOA tizimlarida nurlanish manbalari elektromagnit to'lqinlarni ochiq fazoga nurlantiradi, bunda nurlanishni tarqalish yo'nalishi faqatgina antenaning yo'nalish diagrammasi bilan aniqlanadi. OOA tizimlarining uzatuvchi muhiti o'z navbatida uch turga bo'linadi: atmosfera, kosmik va suv osti aloqa muhitlari.

Atmosfera OOA tizimlarida to'liqlarni tarqalish xarakteristikasi etarli darajada ob-havo sharoitlariga bog'liq. Atmosfera va suv osti uzatish muhitlarining fizik bir turda emasligi va ularning tarkibidagi begona zarrachalarni uzatilayotgan nurlanish to'liqini bilan o'zaro ta'sirda bo'lishidan elektromagnit to'liqlar buziladi. Zarracha o'lchamlarining to'liq uzunligi bilan taqqoslanadigan darajada yoki katta bo'lishi buzilishlarni oshiradi. Shu sababli atmosfera buzilishlari optik diapazonda turli xarakterga ega. Shu tarzda uzatish muhitlarini tahlil qilish, aloqa tizimlarini loyihalashtirishda yuzaga keladigan eng muhim masala hisoblanadi. To'liqlarni tarqalish yo'nalishiga tushib qoladigan zarrachalar asosan optik nurlanishni yutadi va sochadi. Bu omillarni ta'sir darajasi muhit turiga (suv osti, toza havo, turbulent atmosfera va boshqalar) bog'liq. Bu tizimlarda buzilishlarni kamaytirish va talab etiladigan ishonchlikni ta'minlash uchun retranslyasiya uchastkasi uzunligini kamaytirish kerak bo'ladi.

Kosmik OOA tizimlarida uzatish muhiti bu atmosferadan xoli bo'lgan ochiq fazodir. Kosmik muhitda atmosfera muhitlariga xos bo'lgan buzilishlar hosil bo'lmaydi, ular barqaror bo'lib, aloqaning yuqori ishonchligini ta'minlaydi. Kosmik muhitlarda asosiy yo'qotishlar bu tarqalishda hosil bo'ladigan yo'qotishlar hisoblanadi. Bu yo'qotishlar signal L masofaga tarqalganda nurlanish maydoni quvvatining yo'qotish koeffitsienti Z_p bilan baholanadi va quyidagi ifoda orqali aniqlanadi:

$$Z_p = \frac{1}{4\pi L^2} \quad (1.1)$$

Kosmik aloqa tizimlarini loyihalashtirishda asosiy masala bu uzatish va qabul qilish antennalarining o'lchamlarini mos ravishda to'g'ri tanlash orqali yo'qotishlarni bartaraf etish hisoblanadi.

OA tizimining asosiy yo'nalishi TOA tizimi hisoblanadi. Chunki hozirgi vaqtda yuqori darajadagi uzatish xarakteristikalariga ega bo'lgan yorug'lik uzatgichlar ishlab chiqilgan. Ammo axborotlarni ochiq fazoda, atmosferada uzatishga asoslangan OOA tizimlari ham, radioaloqa uchun ajratilgan chastotalarni to'ldiruvchi vosita sifatida qiziqishlarni namoyon etadi.

TOA tizimlarida elektromagnit nurlanishlarni tarqalish yo'lini tashkil etish uchun maxsus optik yorug'lik uzatgichlar-optik tolalar qo'llaniladi.

TOA tarmog'i bu tugunlar orasi optik aloqa liniyalari orqali bog'langan aloqa tarmog'idir.

Optik diapazonda axborotlarni uzatuvchi chastota polosasi radiodiapazonga qaraganda 10^5 marta katta. Bu optik aloqa tizimining eng muhim afzalligi bo'lib, katta hajmdagi axborotlarni qisqa vaqt ichida uzatish imkonini beradi. Bundan tashqari uzatgichning hamma quvvatini foydali elektromagnit nurlanishlarni uzatishga qaratish imkoniyati tashuvchi chastota o'sishi bilan ortadi. Shuningdek, yuqori tashuvchi chastotani qo'llash foydali signalning katta zichligiga olib keladi, o'z navbatida aloqa tizimining samaradorligi oshadi. Bu ikki eng muhim afzalligi bo'lib, katta hajmdagi axborotlarni qisqa vaqt ichida uzatish imkonini beradi. Bundan tashqari uzatgichning xamma quvvatini foydali elektromagnit nurlanishlarni uzatishga qaratish imkoniyati tashuvchi chastota o'sishi bilan ortadi. Shuningdek, yuqori tashuvchi chastotani qo'llash foydali signalning katta zichligiga olib keladi, o'z navbatida aloqa tizimining samaradorligi oshadi. Bu ikki xususiyat mutaxassislarning optik aloqa tizimlariga qiziqishlarini aniqlaydi.

Axborotni TOA liniyalari orqali uzatish mis kabellar va boshqa uzatish muhitlariga qaraganda bir qancha afzalliklarga ega. Shu afzalliklari tufayli TOA tizimidan nafaqat telefon aloqasini tashkil etishda, balki televideniya, ovoz eshittirishlarini uzatishda, hisoblash texnikasida, transport vositalarida va hozirgi multimediali aloqa tarmoqlarida keng miqyosda qo'llanib kelmoqda.

Tolali optik aloqaning afzalliklari quyida keltirilgan.

O'tkazish oralig'ining kengligi. Bu tashuvchi chastotasining juda yuqoriligi $10^{14} - 10^{15}$ Gs bilan tushuntiriladi. Bitta optik tola bo'ylab sekundiga bir necha terabit axborotlar oqimini uzatish imkoniyati mavjud. O'tkazish oralig'ining kengligi tolali optik aloqaning mis va boshqa axborot uzatish muhitlaridan ustun turuvchi eng muhim afzalligidir.

Optik tolada yorug'lik signallarining kam miqdorda so'nishi.

Hozirgi kunda ko'plab kompaniyalar tomonidan ishlab chiqarilayotgan optik tolalar 1 kanal kilometr hisobida 1,55 mkm

to'liq uzunligida 0,2-0,3 dB/km so'nishga ega. So'nish va dispersiya qiymatlarining kichikligi optik signallarni TOA liniyalari bo'ylab retranslyasiyasiz 100 km va undan uzoq masofalarga uzatish imkonini beradi.

Shovqin sathini kichikligi optik tolaning o'tkazish qobiliyatini oshiradi.

Shovqindan yuqori darajada himoyalanganligi. Optik tola dielektrik materiallar – kvars, ko'p tarkibli shisha, polimerlardan tayyorlanganligi uchun u elektromagnit nurlanishni induksiyalash xususiyatiga ega shuning uchun, atrofidagi mis kabelli tizim va elektr qurilmalarning (elektr uzatish liniyalari, elektrodvigatelli uskuna va boshqalar) tashqi elektromagnit shovqinlariga ta'sirchan emas. Shuningdek ko'p tolali optik kabellarda ko'p juftli mis kabellarga xos elektromagnit nurlanishlarning o'zaro ta'siri kabi muammolar yuzaga kelmaydi.

Bu afzalligi tufayli optik kabellardan ishlab chiqarish korxonalarida, boshqaruv markazlarida, samolyot va kema kabi transport vositalarida ham keng miqyosda foydalanilyapti. Chunki shu kabi kichik joylarda ham energetik qurilmalar, ham avtomatika va teleboshqaruv tizimlari, ham ko'p sonli abonent qurilmalaridan iborat tarmoqlangan aloqa tarmoqlari joylashgan bo'ladi. Bunday xolatda elektromagnit va o'zaro shovqinlar yuzaga keladi. Optik kabellarning esa bunday shovqinlarga ta'sirchan emasligini aytib o'tdik.

Engilligi, xajmi va o'lchamlarining kichikligi. Optik kabellar mis kabellar bilan solishtirilganda ancha engil va xajmi kichik. Masalan, 900 juftli 7,5 sm diametrli mis telefon kabeli 0,1 sm diametrli bitta optik tola bilan almashtirilishi mumkin. Agar optik tola bir necha himoya qobiqlaridan iborat va bron po'lat lenta bilan qoplangan bo'lsa, bunday tola diametri 1,5 sm ga teng bo'ladi, bu esa ko'rilayotgan mis kabel diametridan bir necha marta kichik.

Optik tolaning bu afzalligi optik kabelli liniya traktlarini qurishda ancha engilliklar yaratadi. Engilligi va o'lchamlarining kichikligi tufayli optik tolaning samolyot, vertolyot va boshqa transport vositalarida ishlatilishi tolali aloqaning juda muhim yutug'idir. Masalan, axborotlarni yig'ish va boshqarish vazifalarini bajarish uchun maxsus jihozlangan samolyotlarda bog'lovchi kabellar og'irligini 1 tonnadan oshiqqa kamaytiradi.

Aloqaning maxfiyligi. Tolali optik kabellar radio to'liq diapazonida umuman nur uzatmasligi sababli, undan uzatilayotgan axborotni uzatib-qabul qilishni buzmasdan ruxsatsiz tashqi ulanishlarda eshitish juda qiyin. Optik aloqa liniyasining monitoring tizimi (uzluksiz nazorat) tolaning yuqori sezgirlik xususiyatini qo'llab, darhol ruxsatsiz tashqaridan eshitilayotgan aloqa kanalini o'chirishi va xavf signalini uzatishi mumkin.

Tarqaluvchi optik signallarning interferensiya effektini qo'llovchi tizimlar tebratishlarga, bosimni o'zgina og'ishlariga sezuvchanligi juda yuqori. Xukumat, bank va ma'lumotlar himoyasiga yuqori talablar qo'yiladigan boshqa maxsus xizmatlarning aloqa liniyalarini tashkil etishda bunday tizimlar ayniqsa zarurdir.

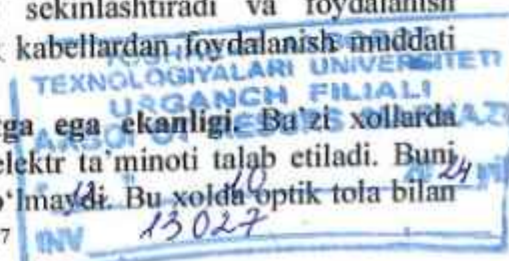
Yong'indan himoyalanganligi. Optik tolada uchqun hosil bo'lmasligi kimyoviy, neftni qayta ishlovchi korxonalarda, portlash va yong'in xavfi mavjud bo'lgan binolarda xavfsizlikni oshiradi.

Iqtisodiy jihatdan samaradorligi. Optik tola kvarsdan ishlab chiqariladi. Uning asosini tabiatda keng tarqalgan kremniy ikki oksidi SiO_2 tashkil etadi. Demak tolali optik kabellarni ishlab chiqarish uchun noyob rangli metal sarflanmaydi. Mis va qo'rg'oshinning dunyoviy zahiralari chegaralangan hozirgi vaqtda noyob bo'lmagan maxsulotga o'tish kabelli aloqa texnikasining kelgusi rivojlanishi uchun muhim omil hisoblanadi. Natijada optik kabellarning narxi mis kabellarga nisbatan arzonlashadi.

Tolali optik kabellar signallarni uzoq masofalarga retranslyasiyasiz uzatish imkonini beradi. Uzoq masofali TOA liniyalarida optik kabellarning qo'llanilishi retranslyatorlar sonini qisqarishiga olib keladi. Buning natijasida ham sarf xarajatlar kamayadi.

Foydalanish muddatining uzoqligi. Tola vaqt o'tgan sari eskiradi, ya'ni yotkazilgan kabellarda so'nish asta sekin oshib boradi. Biroq, optik tola ishlab chiqarishning zamonaviy texnologiyalarining mukammallashuvi bu jarayonni sekinlashtiradi va foydalanish muddatini uzaytiradi. Tolali optik kabellardan foydalanish muddati taxminan 25 yilni tashkil etadi.

Masofaviy elektr ta'minotga ega ekanligi. Ba'zi xollarda tarmoq tugunlarining masofaviy elektr ta'minoti talab etiladi. Buni optik tola orqali amalga oshirib bo'lmaydi. Bu xolda optik tola bilan



birgalikda mis o'tkazish elementi bilan jihozlangan aralash kabellardan foydalanish mumkin. Bunday kabellar ko'pgina mamlakatlarda keng qo'llaniladi.

Hozirgi kunda turli vazifali va tuzilishli optik tola va kabellar ishlab chiqarilmoqda. Keng polosali uzoq aloqa tizimlari, jumladan magistral aloqa uchun toladan faqatgina asosiy to'lqin tarqaladigan bir modali kabellarning yangi turlari ishlab chiqarilmoqda. Magistral aloqa liniyalarida signal uzatishda tolaning so'nish va dispersiya parametrlariga ham yuqori talablar qo'yiladi. Bundan tashqari optik nurlanish qutblanishini saqlanishini ta'minlovchi tolalar ham ishlab chiqarilmoqda.

Magistral aloqada qo'llaniladigan bunday kabellarni ishlab chiqish murakkab va qimmat. Bunday kabellar qo'llanilganda lazer nurlanish manbalaridan foydalaniladi. Lazer manbalariga ham nurlanish spektrining tozaligiga, nurlanish xarakteristikalarining barqarorligiga yuqori talablar qo'yiladi.

Tezligi 100 Mbit/s gacha bo'lgan va aloqa masofasi chegaralangan (tahminan 10 km gacha) tizimlarda nisbatan arzon va oxirgi qurilmalar bilan oson moslashadigan ko'p modali kabellardan foydalangan maqquul. Bunda nurlanish manbai sifatida ko'p modalarni nurlantiruvchi oddiy turdagi yarim o'tkazgich yorug'lik diodlarini ishlatish mumkin.

Yangi turdagi optik tolalarning (siljigan dispersiyasi nolga teng bo'lmagan), keng polosali kvant optik kuchaytirgichlarning yaratilishi to'liq optik tizim va optik traktlarni qurish imkoniyatini yaratmoqda. Bunday texnologiyalardan 100 va 1000 Gbit/s o'tkazish oraliqli tizimlarni yaratishda foydalaniladi.

TOA ko'plab bir qancha afzalliklarga ega bo'lishiga qaramay kamchiliklarga ham ega. Bu TOA qurilmalarining qimmatligi va ba'zi optik texnologiyalarning mukammal darajaga etmaganligi bilan tushuntiriladi. Bunga bog'liq xolda quyidagi kamchiliklarni aytish mumkin:

- **element bazasining qimmatligi.** Optik uzatgich va qabul qilgichlarning narxi qimmat. Ayniqsa lazer nurlanish manbalarining narxi qimmat va xizmat qilish muddati chegaralangan. Shuningdek passiv optik qurilmalarni (multipleksor, kommutator, attenyuator va boshqalar) ishlab chiqarish ham katta sarf-harajatlarga olib keladi;

- **tolali optik aloqa liniyalarini montaj qilish va xizmat ko'rsatishning murakkabligi.** Elektrik kabelli tizimlarga nisbatan optik kabelli tizimlarni qurish, undan texnik foydalanish, o'lchov va montaj ishlari murakkab bo'lib, juda yuqori malakani talab etadi;

- **tolani maxsus himoyalash zaruriyati.** Mikroyoriqlarda signallarni yo'qolmasligi uchun tolni ortiqcha yuklash va bukilishlardan himoyalash kerak. Maxsus himoyalashni tashkil etish, ishonchlilikni oshirish maqsadida optik tolni ishlab chiqarish jarayonida tola epoksiakrilad asosidagi maxsus lak bilan qoplanadi. Bundan tashqari kabel maxsus po'lat tross va shisha plastik sterjenlar hisobiga yanada mustahkamlanishi mumkin.

Bularning barchasi tolali optik kabel narxini oshiradi. Bu kamchiliklar TOA texnologiyasining kelgusi rivojlanishida qisman yoki to'liq bartaraf etiladi.

1.2. Optik aloqa tizimlarining rivojlanish tarixi

Biz optik aloqani keng ma'noda talqin qiladigan bo'lsak [1], aloqa maqsadlari uchun yorug'likdan foydalanish qadimgi antik davrlarga borib taqaladi. Aksariyat sivilizatsiyalar kichik bir xabarni (urushda g'alaba kabi) jo'natish uchun ko'zgular, olovli signallar yoki tutun signallaridan foydalanishgan. Aslida XVIII asr oxirigacha ham xuddi shunday fikrlar bo'lgan, ya'ni chiroqlar, bayroqlar va boshqa semafor qurilmalar ishlatilgan. Keyinchalik 1792 yilda bu fikr Klod Shappning taklifiga ko'ra uzoq masofalarga (~ 100 km) kodli xabarlarni, bugungi kunda zamonaviy tilda regeneratorlar yoki retranslyatorlar deb ataladigan, oraliq radio rele stantsiyalari [2] yordamida mexanik tarzda uzatish fikri bilan kengaytirildi.

1.2- rasm asosiy g'oyani sxematik tarzda aks ettiradi. Birinchi shunday "optik telegraf" 1794 yil iyulda Parij va Lill (bir biridan 200 km uzoqlikdagi ikki Fransiya shaharlari) o'rtasida ishlatila boshladi. 1830 yilga kelib tarmoq kengaytirildi va butun Yevropaga yoyildi [1].



1.2-rasm. Optik telegrafning sxematik ko'rinishi va uning ixtirochisi Klod Shapp

Bunday tizimlarda yorug'likning roli oddiygina, ya'ni kodlangan signallarni shunday ko'rinadigan qilishi kerak ediki, bunda ular uzatuvchi stansiyalar tomonidan ushlab qolinishi mumkin bo'lgan. XIX asrda opto-mexanik aloqa tizimlari umuman sekinlashdi. Zamonaviy terminologiyada bunday tizimlarning samarali bit tezligi sekundiga 1 bitdan kam ($B < 1$ b/s) bo'lgan.

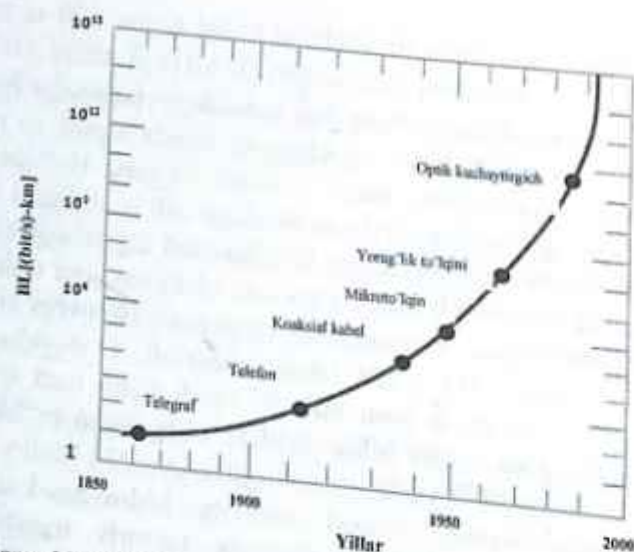
1.2.1. Tolali optik aloqa tizimlariga bo'lgan ehtiyoj

1830 yillarda telegrafiya elektr energiyasi yordamida yorug'likdan foydalanish bilan o'zgartirilgan va elektr aloqalari davri boshlangan [3]. Morze kodi deb atalgan yangi kodlash texnikasi yordamida B kodi 10 bit/s gacha oshirilishi mumkin bo'lgan. Oraliq uzatuvchi stantsiyalardan foydalanish uzoq masofalarga (~ 1000 km) ulanish imkonini berdi. Haqiqatan ham, birinchi muvaffaqiyatli transatlantik telegraf kabeli 1866 yilda ishga tushirildi. Telegrafda asosan turli xil davomiylikka ega bo'lgan ikkita elektr impulsli raqamli sxemadan (Morze kodining nuqta va tirelari) foydalanilgan. 1876 yildagi telefon ixtirosi katta o'zgarishga olib keldi, sababi elektr signallar analog shaklda uzatilgan, unda elektr oqimi uzluksiz o'zgarib turgan [4]. Analog elektr texnikasi bir necha asr yoki shunga yaqinroq davr mobaynida aloqa tizimlarini boshqarib turishi kerak edi.

Yigirmanchi asrda butun dunyo bo'ylab telefon tarmoqlarining rivojlanishi elektr aloqa tizimlarini (rivojlantirish) loyihalashda ko'plab yutuqlarga olib keldi. Koaksial kabellarni simlar o'rnida ishlatish tizimning imkoniyatlarini sezilarli darajada oshirdi. 1940

yilda ishga tushirilgan birinchi koaksial kabel tizimi 300 ta ovoqli kanal yoki bitta telekanalni uzatadigan 3 MHz li tizim bo'lgan. Bunday tizimlarning keng tarmoqliligi kabeldagi chastotaga bog'liq bo'lgan signal yo'qotish bilan cheklangan, bunda signal yo'qotish tezda 10 MHz chastotadan ham oshib ketgan. Bu cheklash mikroto'liqlik aloqa tizimlarining yaratilishiga olib keldi, unda signal uzatish uchun tegishli modulyatsiya texnikasidan foydalangan holda 1-10 gegagertsli diapazonli chastotaga ega elektromagnit tashuvchi to'liqlardan foydalanilgan. 4 gegagertsli chastotada ishlovchi birinchi mikroto'liqlik tizim 1948 yilda ishga tushirildi. O'shandan beri ikkala tizim koaksial tizim ham mikroto'liqlik tizim ham sezilarli darajada rivojlandi va ~ 100 Mb/s tezlikda ishlaydigan bo'ldi. Eng ilg'or koaksial tizim 1975 yilda ishga tushirildi va 274 Mbit/s gacha tezlikda ishladi. Bunday yuqori tezlikda ishlovchi koaksiyal tizimlarning jiddiy kamchiliklari ularning takroriy translyatsiya oralig'ining kichikligidir (~ 1 km), bu kamchilik tizimning nisbatan qimmat bolishiga sabab bo'ladi. Mikroto'liqlik aloqa tizimlari, odatda, katta translyatsiya oralig'iga ega bo'lishi mumkin, lekin ularning bit tezligi ham bunday to'liqlarning tashuvchi chastotasi bilan cheklanadi. Aloqa tizimlari uchun odatiy foydalaniladigan sifat koeffisienti - bu bit tezlikli masofa oralig'i BL dir, bu yerda B - bit tezligi va L esa - takroriy translyatsiya oralig'idir.

1.3- rasmda so'nggi bir, bir yarim asr mobaynida BL-ning texnologik yutuqlar oqibatida qanday o'sganligi ko'rsatilgan. 100 (Mb/s) km li BL ga ega bo'lgan aloqa tizimlari 1970 yilgacha mavjud bo'lgan va asosiy cheklovlar tufayli shunday qiymatlarga cheklangan. Yigirmanchi asrning ikkinchi yarmida, agar BL-mahsulotida magnit tolani bir nechta buyurtmalarining ortishi mumkin bo'lsa, optik to'liqlar tashuvchi sifatida ishlatilgan bo'lishi anglab etilgan. Biroq, 1950 yillarda muvofiq optik manba ham, tegishli signal uzatish vositasi ham mavjud emas edi. 1960 yilda lazer ixtirosi va uning namoyishi birinchi muammoni hal qildi [5]. Keyin optik aloqa uchun lazer nurini ishlatish yo'llarini izlashga e'tibor qaratildi. 1960-yillarda ko'pgina fikrlar ilgari surilgan [6], eng diqqatga sazovor g'oya bu gaz linzalari ketma-ketligi yordamida yorug'likni chegaralash g'oyasi edi [7].

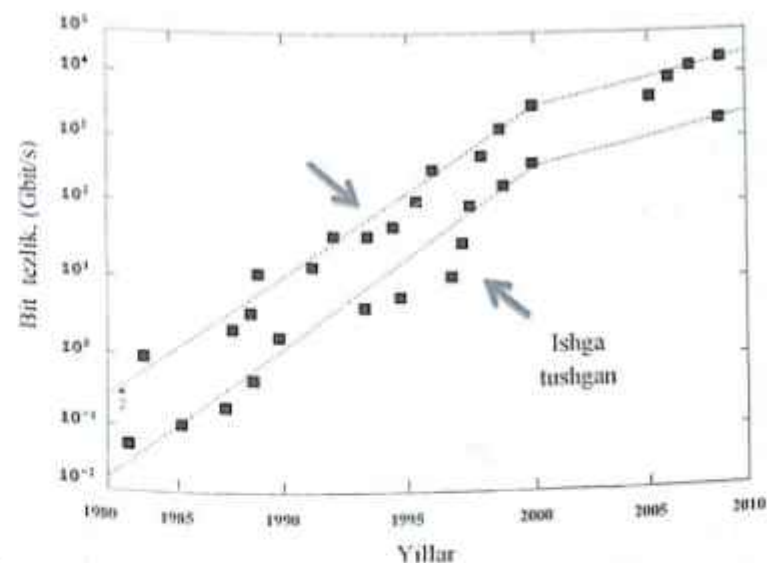


1.3-rasm. 1850-2000 yillar oralig'ida bit-masofaviy oraliq BL-da o'sish. Yangi texnologiyalarning paydo bo'lishi qalin nuqtalar bilan belgilangan

1966 yilda optik tolalar eng yaxshi tanlov bo'lishi mumkinligi taklif qilingan [8], chunki ular mis simlar elektr o'tishini boshqarganiga o'xshash tarzda yorug'likni boshqarishga qodir edi. Asosiy muammo ko'p signal yo'qotilishi edi - 1960 yillarda mavjud bo'lgan optik tolalardagi signal yo'qotilishi 1000 dB/km dan yuqori bo'lgan.

Haqiqiy show shuv 1970 yilda to'lqin uzunligi 1 mkm atrofida bo'lgan hududda [9] toladagi signallar yo'qotilishi 20 dB/km dan kamroqqa kamaytirilganda sodir bo'ldi. Taxminan shu bilan bir vaqtning o'zida xona haroratida doimiy ravishda ishlaydigan GaAs yarim o'tkazgichli lazerlar namoyish etilgan [10]. Ixcham optik mavjudligi tolali-optik aloqa tizimlarining doimiy ravishda rivojlantirilishiga urinishga olib keldi [11].

1.4-rasmda 1980 yildan keyin amalga oshirilgan yorug'lik to'lqinlari tizimining imkoniyatlari o'sishidagi rivojlanishning bir necha avlodlari ko'rsatilgan [12]. U erda ko'rinib turganidek, yorug'lik to'lqinlari tizimlarini tijoriy joylashtirilishi tadqiqot va rivojlanish jarayoni izidan bordi.



1.4-rasm. Yorug'lik to'lqinlari tizimlarining hajmini oshirish 1980 yildan keyin amalga oshirildi. Nuqtali chiziqlar tadqiqot va ishga tushgan tizimlari uchun bit tezligida deyarli eksponensial (nohiziqli) o'sishni ko'rsatadi

Taraqqiyotning o'sishi juda tez sodir bo'ldi, buni 30 yildan kam bo'lgan davrda bit tezligi 100 mingtagacha o'sib borishida ko'rish mumkin. Transmissiya (signal uzatish) masofalari ham ayni paytda 10 dan 10 ming kilometrgacha oshdi. Natijada, zamonaviy yorug'lik to'lqinlar tizimlarining bit-masofaviy oraliq'i birinchi avlod yorug'lik to'lqinlar tizimiga nisbatan 10^7 marta oshishi mumkin.

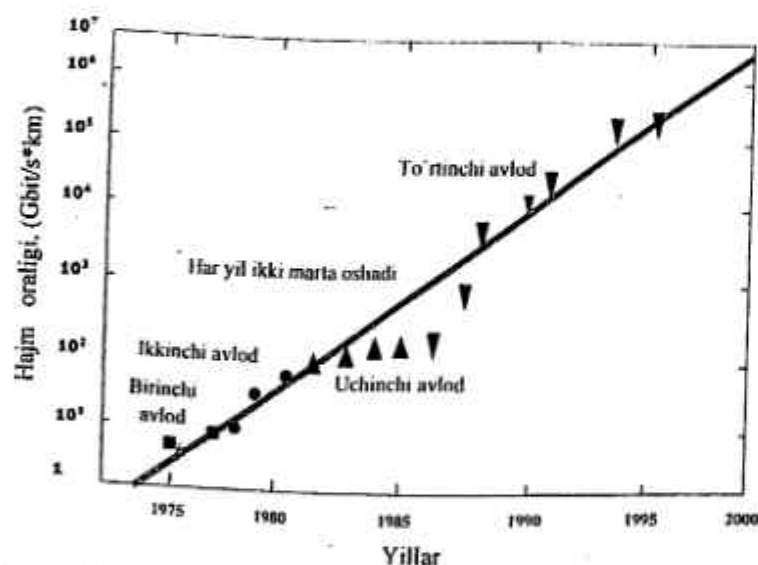
1.2.2. Optik aloqa tizimlarining evolyutsiyasi

Tolali optik aloqa tizimlarining tadqiqot bosqichi 1975 yilda boshlangan. 1975 yildan 2000 yilgacha bo'lgan 25 yillik davr mobaynida amalga oshirilgan ulkan ishlar bir necha aniq avlodlarga bo'linishi mumkin. 1.5-rasmda bu vaqt oralig'ida turli xil laboratoriya tajribalari bilan aniqlangan BL o'sishi ko'rsatilgan [13]. To'g'ri chiziq har yili BL ikki barobariga mos keladi (ikki barobar ortganini ko'rsatadi).

Har bir avlodda, dastlab BL miqdori oshadi, lekin keyinchalik texnologiya rivojlanishi bilan u to'yintirib boriladi. Har bir yangi

avlod tizim ish faoliyatini yanada yaxshilashga yordam beradigan tub o'zgarishlarni keltirib chiqaradi.

Yorug'lik to'lqin tizimlarining birinchi avlodi 0,8 mkm da ishladi va GaAs yarim o'tkazuvchli lazerlardan foydalandi. 1977-79 yillar mobaynida sohadagi bir nechta sinovlardan so'ng, 1980 yilda bunday tizimlar savdoga chiqarildi. Ular 45 Mb/s gacha tezlikda ishlagan va 10 km gacha bo'lgan takroriy translyatsiya oralig'iga ruxsat berilgan. Koaksial tizimlarning 1 km li oralig'iga qaraganda kattaroq bo'lgan takroriy translyatsiya oralig'iga solishtirilishi tizim ishlab chiqaruvchilar uchun muhim turtkidir, chunki u har bir takrorlanishni o'rnatish va saqlash bilan bog'liq xarajatlarni kamaytiradi.



1.5-rasm. 1975-1980 yillar mobaynida BL mahsulotining yorug'lik to'lqin tizimlarining bir necha avlodi orqali o'sishi. Keyingi avlodlar muvaffaqiyati uchun turli xil ramzlar qo'llaniladi

1970 yillarda takroriy translyatsiya intervalini 1,3 mkm ga yaqin to'lqin uzunligi yorug'lik to'lqini tizimi ishlashi orqali sezilarli darajada oshirish mumkinligi ma'lum bo'ldi, bunda tolada signal yo'qolishi 1 dB/km dan kamdir. Bundan tashqari, optik tolalar bu to'lqin uzunligi hududida eng kichik dispersiyani namoyish etadi. Ushbu muammoning anglab etilganligi butun dunyoda InGaAsP

yarimo'tkazgichli lazer va 1,3 mkm da ishlaydigan detektorlarni yaratish uchun harakatlarga olib keldi. Tolali optik aloqa tizimlarining ikkinchi avlodi 1980-yillarning boshlarida yaratildi, ammo dastlabki tizimlarning bit tezligi ko'p modali tolalar tarqalishi tufayli 100 Mbit/s dan past bo'lgan (15). Ushbu cheklov bir modali rejimdagi tolalarni qo'llash orqali engib o'tilgan. 1981 yilda laboratoriya tajribasi 44 km dan ortiq bo'lgan bir modali rejimli tola uchun 2 Gbit/s tezlikda signal uzatishni namoyish etdi. Tez orada savdo tizimlariga taqdim etildi. 1987 yilga kelib, taxminan 50 kilometrlik takroriy translyatsiya oralig'iga ega bo'lgan 1,7 Gbit/s gacha bit tezlik bilan ishlaydigan ikkinchi avlod yorug'lik to'lqin tizimlari sotuvga chiqarildi. Ikkinchi avlod yorug'lik to'lqinlari tizimlarining takroriy translyatsiya oralig'i ishchi to'lqin uzunligi 1,3 mkm (odatda 0,5 dB/km) bo'lgan tolada yo'qotishlar bilan cheklangan. Kremniy tolasi zarari kamida 1,55 mkm atrofida bo'ladi. Darhaqiqat, 1979 yilda ushbu spektr oralig'ida 0,2 dB/km signal yo'qotishi aniqlangan. Shunga qaramasdan, 1,55 mkm da ishlaydigan uchinchi avlod yorug'lik to'lqinli tizimlarining joriy etilishi 1,55 mkm atrofida tolalarning dispersiyasi kattaligi sababli kechiktirildi. An'anaviy InGaAsP yarim o'tkazgich lazerlaridan foydalanish ayrim bo'ylama to'lqinli rejimlardagi to'xtovsiz tebranishlar natijasida paydo bo'ladigan zarblar tarqalishi tufayli mumkin emas. Dispersiya muammosi yoki 1,55 atrofidagi eng kam tebranishga yetkazish yoki lazerli spektrni yagona bo'ylama to'lqinli rejimgacha cheklash yo'li bilan bartaraf qilinishi mumkin. Ikkala yondashuv ham 1980-yillarda kuzatilgan. 1985 yilga kelib, laboratoriya tajribalari 100 km dan ortiq masofalarda ma'lumotlarni 4 Gbit/s gacha bo'lgan tezligida uzatish imkoni borligini ko'rsatdi. 2,5 Gbit/s tezlikda ishlaydigan uchinchi avlod yorug'lik to'lqin tizimlari 1990 yilda bozorga chiqdi. Bunday tizimlar 10 Gbit/s gacha tezlikda ishlashga qodir. Eng yaxshi natijaga bir modali optik tola to'lqin uzunligining minimal o'tishini bo'ylama to'lqinli rejimda ishlovchi lazerlar tebranishi bilan qo'shib foydalanilganda erishildi. Uchinchi avlodning 1,55 μ m tizimlarining kamchiliklari 60-70 km uzoqlikda joylashgan elektron retraslyatorlarni qo'llash orqali signalning muntazam ravishda yangilanib turishidir. Retraslyatorlar gomodin yoki geterodin detektor sxemasidan foydalanish orqali oshirilishi mumkin, chunki uning ishlatishi qabul qiluvchi qurilmaning

sezuvchanligini oshiradi. Bunday tizimlar kogerent yorug'lik to'liqlik tizimlar deb hisoblanadi. 1980-yillar mobaynida kogerent tizimlar butun dunyo bo'ylab rivojlana boshladi va ularning potentsial foydasi ko'plab tizim tajribalarida namoyon bo'ldi. Shunga qaramasdan, bu kabi tizimlarning tijorat maqsadlarda taqdim etilishi 1989 yildagi tola kuchaytirgichlar paydo bo'lishi natijasida kechiktirildi. Yorug'lik to'liqlik tizimlarning to'rtinchi avlodi takroriy translyatsiya oraliqligini oshirish uchun optik kuchaytirgichlardan va bit tezligini oshirish uchun to'liqlik uzunligi bo'yicha multipleksorlash (WDM) dan foydalanishni amalga oshirdi. 1.4 va 1.5-rasmlarda ko'rinib turganidek, 1992 yilda WDM texnologiyasining paydo bo'lishi inqilobni boshlagan va natijada har 6 oyda bir marta tizimning imkoniyatlarini ikki barobarga oshirgan va 2001 yilgacha yorug'lik to'liqlik tizimlarini 10 Tbit/sek tezlikda ishlashiga olib kelgan. Ko'pgina WDM tizimlarda tolada signal yo'qotilishi muntazam ravishda 60-80 km uzoqlikda joylashgan erbiy aralashmali tolali optik kuchaytirgichlari yordamida kompensatsiyalanadi.

Bunday kuchaytirgichlar 1985 yildan keyin ishlab chiqilgan va 1990 yilga kelib sotuvga chiqarilgan. 1991 yildagi tajriba 21000 km dan ortiq masofada 2,5 Gbit/s tezlikda va sirkulyatsiya davri konfiguratsiyasi yordamida 14,3 ming km dan ortiq masofada 5 Gb/s tezlikda ma'lumotlarni uzatish imkoniyati mavjudligini ko'rsatdi. Bu namoyish kuchaytirgichga asoslangan, barcha optik, suv osti signal uzatish tizimlari barchasi mintaqalararo muloqot uchun qulayligini ko'rsatdi. 1996 yilga kelib, suv osti kabellari yordamida nafaqat 5 Gbit/s gacha tezlikda 11300 kilometrdan signal uzatish [11], balki transatlantik va tinch okeani orqali o'tkazilgan kabel tizimlaridan ham foydalanish imkoni mavjud bo'ldi. O'shandan beri butun dunyo bo'ylab ko'p sonli dengiz osti yorug'lik to'liqlik tizimlari joriy etilgan. 1.5-rasmda 2005 yillarda suv osti tizimlarining xalqaro tarmog'i ko'rsatilgan. Dunyo bo'ylab (FLAG deb nomlanuvchi) 27 ming kilometrlik tolali optik aloqa 1998 yilda ishga tushirildi va ko'plab Osiyo va Evropa davlatlarini birlashtirdi. Afrika One deb nomlanuvchi yana bir muhim yorug'lik to'liqlik tizimi 2000 yilgacha ishladi; u Afrika qit'asini o'rab oldi va taxminan jami 35000 km li signal uzatish masofasini qamrab oldi. 1998-2001 yillar davomida bir nechta WDM tizimi Atlantik va Tinch okeanlari bo'ylab Internet tarmog'ida ma'lumotlar tashish hajmining ortganligi munosabati

bilan (joylashtirildi) tarqatildi; ular jami axborot hajmi kattaliklar (magnituda) buyrug'i bilan oshirdi. Darhaqiqat, bunday tezkor joylashtirish butun dunyo bo'ylab katta imkoniyatlarga olib keldi, bu 2001 yilda "telekom pufakehasi" deb ataldi.



1.6- rasm. 2005 yillardagi xalqaro tolali optik aloqa-tizimlarining xalqaro dengiz osti tarmog'i

2001 yildagi 1.4- rasmda nuqtali chiziqlarning nishabidagi o'zgarish ushbu haqiqatni aks ettiradi. WDM yorug'lik to'liqlari tizimlarining ko'pi WDM texnikasi orqali ko'proq kanallarni uzatish orqali ularning imkoniyatlarini oshirishga qaratilgan. Signal tarmog'i kengligi ortib borishi bilan, bitta kuchaytirgich yordamida barcha kanallarni kuchaytirish mumkin emas. Natijada, spektrning 1,45 dan 1,62 mkm gacha uzaytirilishi uchun yangi kuchaytirish sxemalari (taqsimlangan Raman kuchaytirilishi kabi) ishlab chiqildi. Ushbu yondashuv 2000 yilda 3,28-Tbit/s gacha bolgan sinovga olib keldi, unda har birining 40 gigabaytda ishlaydigan 82 ta kanali bo'lib, signal 3000 km dan ortiq masofaga uzatildi.

Bir yil mobaynida tizimning quvvati qariyb 11 Tbit/s ga (har biri 40 gigabaytda ishlaydigan 273 ta WDM kanalga ega) etkazilishi mumkin, ammo signal uzatilishi masofasi 117 km bilan chegaralangan. Boshqa bir rekord sinovda, har biri 11,6 Gbit/s da ishlaydigan 300 kanal 7380 km dan ortiq masofadan uzatildi, natijada BL mahsuloti 25,000 (Tbit/s) km dan oshdi. 2003 yil oxiriga qadar Raman kuchaytirishidan foydalangan holda 80

kanaldan (har biri 40 Gbit/s gacha bo'lgan) uzatuvchi 3,2 Tbit/s gacha sig'imga ega bolgan tijorat er usti tizimlari mavjud edi. Berilgan birinchi avlod tizimlari 1980 yilda 45 Mbit/s sig'imga ega bo'lgan, shunisi e'tiborga loyiqli, 25 yil mobaynida bu sig'im 70 mingdan oshib ketdi. Tolali optik aloqa tizimlarining beshinchi avlodi WDM tizim tinmay ishlashi mumkin bo'lgan to'liq uzunligi oralig'ini kengaytirish bilan bog'liq deb hisoblanadi. C diapazon sifatida ma'lum bo'lgan an'anaviy to'liq uzunligi oynasi 1,53-1,57 mkm to'liq uzunligini o'z ichiga oladi.

Uzoq va qisqa to'liq uzunligi tomonlarining ikkalasi ham uzaytirilmoqda, bu o'z navbatida L va S diapazonlar hosil bo'lishi bilan yakunlanadi. Raman kuchaytirish texnikasi har uchchala to'liq uzunligi diapazonlardagi signallar uchun ishlatilishi mumkin. Bundan tashqari, yangi turdagi tolalar butun to'liq uzunligi boy'lab 1,30 dan 1,65 gacha cho'zilgan tolada signal yo'qolishi kichik bo'lgan xususiyat bilan ishlab chiqilgan. Bunday tolalarning mavjudligi va yangi kuchaytirish sxemalari minglab WDM kanallariga ega bo'lgan yorug'lik to'liq tizimlarga olib kelishi mumkin. Hozirgi beshinchi avlod tizimlarining diqqati WDM tizimlarining spektral samaradorligini oshirishga qaratilgan. G'oya optik tashuvchining ham amplitudasi va ham fazasi yordamida axborotning kodlangan ilg'or modulyatsiya formatlarini qo'llashdir. Bunday formatlar ishlab chiqilgan va tez-tez mikroto'liqli tizimlar uchun ishlatilgan bo'lsa-da, ularning yorug'lik to'liqli tizimlari uchun qo'llanilishi faqat 2001 yildan so'ng jiddiy e'tiborga molik bo'ldi.

Bu spektr samaradorligini oshirish imkonini berdi, odatda bu 8 bit/s/Gz gacha cheklangan bo'ladi, ushbu 0,8 bit/s/Gz ko'rsatkich to'rtinchi avlod tizimlari uchundir. 2010 yildagi tajribada, 64 Tbit/s tezlikda ikkala C va L diapazonlarni 12,5 gegagertsli chastotali kanal bilan qamrab oluvchi, 640 ta WDM kanalidan foydalanib 64 Tbit/s tezlikda 320 km dan ortiq masofaga signal uzatish amalga oshirilganda yangi rekord o'rnatildi. Har bir kanalda kvadrat amplitudali modulyatsiya deb nomlanadigan modulyatsiya formati bilan kodlangan ikkita polarizatsiya multiplekslash 107 Gbit/s signallari mavjud bo'lgan. Tolali optik aloqa texnologiyasi 40 yoshga kelgan bo'lsada, u tez sur'atlarda rivojlanib, etuklikning muayyan bosqichiga yetdi. Bu 2000 yildan

beri optik aloqa va WDM tarmoqlari bo'yicha darsliklarning ko'p sonli nashrlarida ham ko'rinib turibdi.

1.3. Asosiy kontsepsiyalar

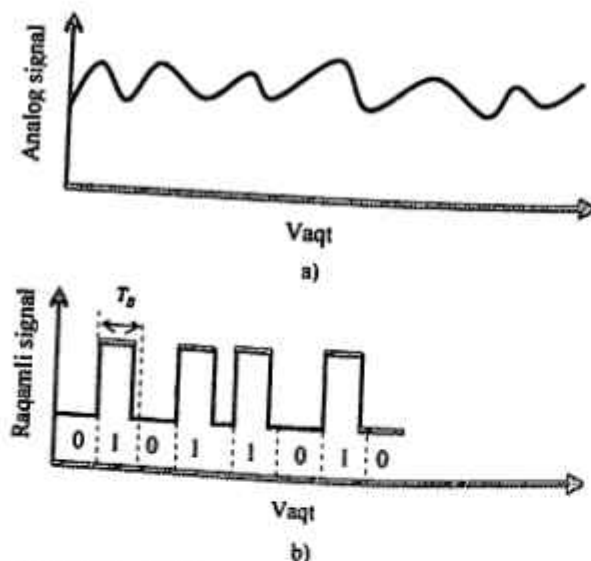
Ushbu bo'lim barcha aloqa tizimlariga taalluqli bo'lgan bir necha asosiy tushunchalarni taqdim etadi. Biz analog va raqamli signallarni tavsifi bilan boshlaymiz va analog signal raqamli shaklga qanday aylantirilishini tasvirlaymiz. Keyinchalik kiritiladigan signallarining vaqt va chastota-kesimida multiplekslashni ko'rib chiqamiz va turli modulyatsiya formatlarini ko'rib chiqish bilan xulosalaymiz.

1.3.1. Analog va raqamli signallar

Har qanday aloqa tizimida uzatiladigan axborot odatda analog yoki raqamli shaklga ega bo'lgan elektr signal sifatida mavjud. Analog holatda, signal (masalan, elektr tokini) vaqt kesimida doimiy ravishda o'zgarib turadi, bu 1.6-rasmda ko'rsatilgan (a). Shunga o'xshash misollar mikrofon ovozi yoki videokamera tasvirini elektr signaliga o'zgartirganda paydo bo'ladigan audio va video signallarni o'z ichiga oladi. Shunga qarama-qarshi ravishda, raqamli signal bir necha diskret qiymatlarni oladi. Raqamli signalning binar ifodasida faqat ikkita qiymat mavjud. Binar raqamli signalning eng oddiy usuli, bu erda elektr tokining ham yoqilgan ham o'chirilgan holati 1.7- rasmda ko'rsatilgan (b). Ushbu ikki imkoniyat "bit 1" va "bit 0" deb ataladi (bit bu binar raqamning shakli). Har bir bit, bit oralig'i yoki bit intervali sifatida ma'lum bo'lgan aniq bir Tg vaqt mobaynida davom etadi. Bir bit axborot Tg vaqt oralig'ida uzatiladi, B bit tezligi sekundiga uzatiladigan bitlar soni bilan aniqlanadi, oddiy qilib aytganda $B = Tg^{-1}$.

Raqamli signallarning yaxshi ma'lum bo'lgan namunasi kompyuter ma'lumoti bilan ta'minlangan. Alfavitning har bir harfi boshqa umumiy ramzlar bilan birga (kasr sonlar, punktuatsiya belgilari, va hokazo) binar vakli 7 bitli raqamli signalga mos keladigan 0-127 intervalda kod raqami (ASCII kodi) deb beriladi.

Boshlang'ich ASCII kodi 8 bitli bayt orqali uzatilgan 256 ta belgigacha kengaytirilgan.

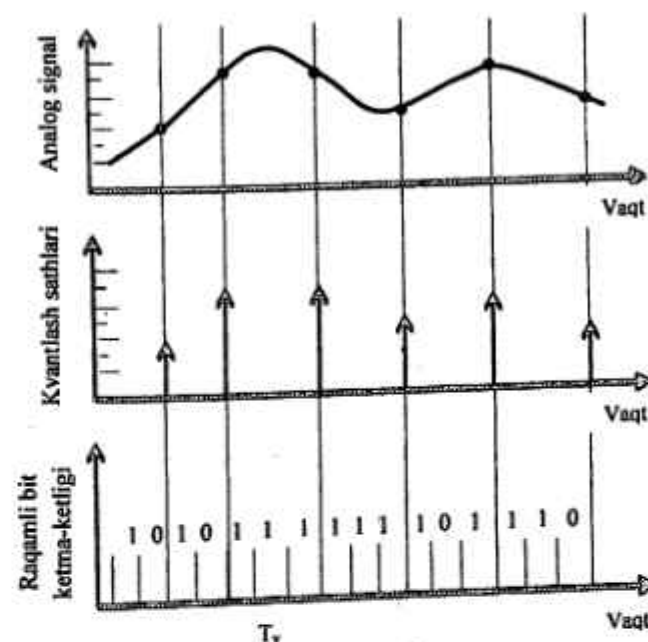


1.7- rasm. Analog signal (a) va (b) raqamli signallarning tasvirlanishi

Ham analog, ham raqamli signallar signalning spektral tarkibi o'ldir bo'lgan tarmoq kengligi bilan tavsiflanadi. Signalning tarmoq kengligi signal ichidagi chastotalarni ifodalaydi va Fourier konvertatsiyasi orqali matematik tarzda aniqlanadi. Analog signal raqamli shakliga muntazam vaqt oralig'ida diskretlash orqali o'zgartiriladi. 1.8-rasmda o'zgartirish usuli sxematik tarzda aks ettirilgan. Diskretlash tezligi analog signalning tarmoq kengligi Δf bilan belgilanadi.

Namuna olishning teoremasi [49] ga ko'ra, agar ma'lumotlarning chastotasi f_s Nykvist mezonini, $f_s > 2\Delta f$ ni qoniqtirsa, tarmoq kengligi cheklangan signal hech qanday yo'qotishlarsiz diskret namunalar bilan to'liq ifodalanishi mumkin. Birinchi qadam o'z ichiga to'g'ri chastotadagi analog signallar namunalarini oladi. Namuna qilingan qiymatlar har qanday $0 \leq A \leq A_{max}$ qiymatga ega bo'lishi mumkin, bu erda A_{max} bu analog signalning maksimal amplitudasidir. Keling, A_{max} M diskretiga (teng joylashtirilishi shart emas) bolingan deb taxmin qilamiz. Har bir

diskret qiymat bu deskret qiymatlardan biriga mos kelish uchun kvantlanadi.



1.8- rasm. Analog signalni ikkilik raqamli signalga aylantirish uchun zarur bo'lgan uch bosqichi diskretlash (a), kvantlash (b) va kodlash (c)

Ko'rinib turibdiki, bu jarayon, qo'shimcha shovqin hosil bo'lishiga olib keladi. U kyantlangan shovqin sifatida ma'lum bo'lib, oldindan mavjud analog signalga qo'shimcha shovqinga qo'shadi. Kvantlangan shovqin ta'siri $M > A_{max}/A_N$, kabi diskret bosqich sonini tanlash orqali minimallashtirilishi mumkin, bunda A_N analog signalning ildiz-o'rtacha kvadrat shovqin amplitudasidir. A_{max}/A_N nisbat dinamik diapazon deb ataladi va u bilan bog'liq bo'lgan signal-shovqin nisbati (SNR) bilan bog'liq.

$$SNR = 20 \log_{10}(A_{max}/A_N),$$

(1.2)

bu erda SNR detsibel (dB) birliklarida ifodalanadi. Istalgan R nisbat $10\log_{10}R$ umumiy tarif yordamida detsibellarga aylantirilishi mumkin.

Tenglama (1.2) 10 o'rniga 20 koeffitsientni o'z ishiga oladi, chunki elektr signallar uchun SNR elektr quvvatiga nisbatan aniqlanadi, bunda A elektr toki (yoki kuchlanish) bilan bog'liq. Kvantlangan diskret qiymatlar tegishli konversiya texnikasi yordamida raqamli formatga aylantirilishi mumkin. Impuls-pozitsiya modulatsiyasi deb nomlanadigan bitta sxemada, bit uyasidagi impuls joylashuvi diskret qiymat o'lchovidir. Boshqasida, impuls davomiyligi modulatsiyasi deb nomlanuvchi, impuls kengligi namunaviy qiymatga mos ravishda bitdan bitgacha o'zgaradi. Ushbu texnika amaliy optik aloqa tizimlarida kamdan kam qo'llaniladi, chunki tola ichida signal tarqalishi mobaynida impuls joylashishi yoki impuls kengligini yuqori daraja aniqlikda ushlab turish qiyin. Impuls-kodli modulatsiya (IKM) deb nomlanadigan deyarli hamma joyda ishlatiladigan texnika ikkilik hisoblash tizimiga asoslangan, unda ma'lumot qolgan holatlardagiga o'xshash bo'lgan axborot impulslar yo'qligi yoki mavjudligi bilan uzatiladi.

Ikkilik kod namunaviy qiymatni 1 va 0 bitlik qatorga aylantirish uchun ishlatiladi. Har bir namunani kodlash uchun zarur bo'lgan m bitlar soni M kvantlangan signal darajalarining soni

$$M=2^m \text{ yoki } m=\log_2 M, \quad (1.3)$$

nisbat bilan bog'liq.

Shunday qilib, IKM raqamli uzatish bilan bog'liq bit tezligi quyidagicha beriladi:

$$B=mf_{\geq}(2\Delta f) \log_2 M, \quad (1.4)$$

bu erda Nykvist mezonlari $f_s > 2\Delta f$, $M > A_{\max}/A_N$, ishlatilgan ekanligini e'tiborga olgan holda va (1.2) tenglamani $\log_{10} \approx 3,33$ bilan birga olgan holda

$$B > (\Delta f/3) \text{SNR}, \quad (1.5)$$

bo'ladi.

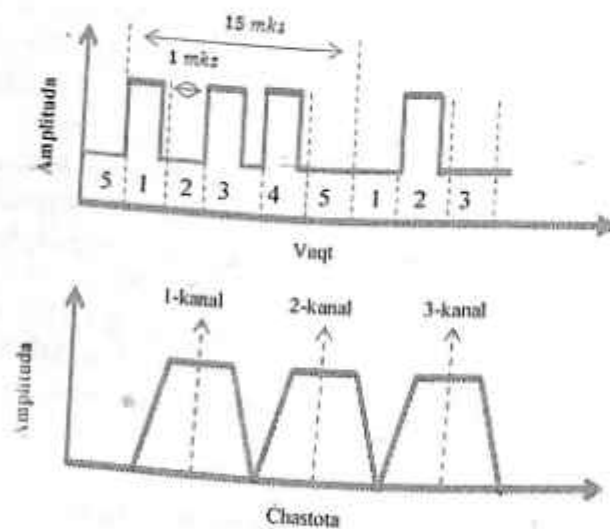
Bu erda SNR detsibel (dB) birliklarida ifodalanadi. Tenglama (1.5) Δf tarmoq kengligi analog signalning raqamli tarzda taqdim etilishi uchun zarur bo'lgan eng kichik bit tezligi va maxsus SNR ni ta'minlaydi. $\text{SNR} > 30$ dB bo'lsa, talab etilgan bit tezligi 10 (Δf) dan oshib ketadi, bu raqamli signallarning tarmoq kengligi talablarining sezilarli darajada oshishini ko'rsatadi. Ushbu o'sishga qaramay, raqamli format deyarli barcha optik aloqa tizimlari uchun ishlatilgan. Ushbu tanlov raqamli uzatish tizimlarining ustunlik bilan ishlashi tufayli amalga oshiriladi. Yorug'lik to'lqinlari tizimlari, tizim imkoniyatlarini (masalan, $\sim 10^5$ faktor orqali) mikroto'lqin tizimlariga taqqoslaganda shunday katta o'sishini taqdim etadi, bu esa ba'zi tarmoq kengligi yaxshilangan ishlashi sababli sotilishi mumkin.

Tenglama. Δf (1.2.4) da, telefonda xosil qilinadigan ovozli signalning raqamli signalga aylanishini ko'rib chiqilgan. Analog audio signali $\Delta f = 3.1$ kHz tarmoq kengligi ega 0.3-3.4 kHz oralig'idagi chastotalarni o'z ichiga oladi va taxminan 30 dB SNRga ega. (1.5) tenglama $B > 31$ kbit/s ekanligini bildiradi. Amalda, raqamli audio kanali 64 kbit/s da ishlaydi. Analog signal 125 mks (namunaviy tezligi $f_s = 8$ kHz) oralig'ida namunaqa bolinadi va har bir namuna 8 bit bilan ifodalanadi. Raqamli video signallari uchun talab qilinadigan bit tezligi 1000 faktordan ko'proqdir. Analog televizion signal taxminan 50 dB bo'lgan SNR da 4MHz tarmoq kengligiga ega bo'ladi. (1.5) tenglamaga ko'ra eng kichik bit tezligi - 66 Mbit/s dir. Amalda, raqamli video signal 100 Mb/s bit tezligi talab etadi yoki (MPEG-2 kabi) standart format yordamida siqilgan bo'ladi.

1.3.2. Kanallarni multipleksorlash

Avvalgi muhokamadan ko'rinadiki, raqamli ovoz kanali 64 kbit/s da ishlaydi. Ko'pgina to'liq optik aloqa tizimlari 1 Gbit/s dan ortiq tezlikda signal uzatishga qodir. Tizimning imkoniyatlarini to'liq ishlatish uchun multiplekslash yordamida ko'p kanallar davomiy tarzda signal uzatishi kerak. Bunga vaqtni kesimida multiplekslash (TDM) yoki chastota-kesimida multiplekslash (FDM) orqali erishish mumkin. TDM holatida, turli kanallar bilan

bog'langan bitlar kompozit bit oqimini hosil qilish uchun vaqt intervalida (interleaved) birlashtiriladi. Misol uchun, 64 kbit/sek da ishlaydigan yagona ovoz kanali uchun bit yacheykasi taxminan 15 mks dir. Agar ushbu ketma-ketlikdagi kanallarning bit oqimlari 3 mks orqali kechiktirilsa, bunday 5 ta kanal TDM orqali multiplekslanishi mumkin. 1.9- rasm (a), hosil bo'lgan bit oqimining 320 kbit/s kompozit bit tezligida sxematik tarzda ko'rsatilgan. FDM holatida kanallar chastotali domen oralig'ida joylashgan. Har bir kanal o'z tashuvchi to'liqini tomonidan tashiladi. Tashuvchi chastotalar kanalning tarmoq kengligidan ko'proqdir, shuning uchun kanal spektrlari ko'ringanidek ketma-ketlikda emas (1.9- rasm). FDM analog va raqamli signallarga mos keladi va radio va televidenie kanallarini uzatishda foydalaniladi. TDM raqamli signallarga osonlikcha amal qiladi va odatda telekommunikatsiya tarmoqlari uchun ishlatiladi. Buni tushunish muhimdir.



1.9- rasm. 64 kb/sek da ishlaydigan beshta raqamli ovoz kanallarini vaqt bo'yicha taqsimlash(a); uch analog signalni chastotali-bo'linish multipleksatsiyasi (b)

TDM va FDM elektr va optik sohalarda qo'llanilishi mumkin tushunish juda muhimdir; optik FDM odatda WDM deb nomlanadi. 7- bob optik multiplekslash texnikasiga bag'ishlangan. Ushbu bo'lim

universal tarzda qo'llaniladigan elektrli TDM ni o'z ichiga oladi, bu ko'p miqdordagi ovoz kanallarini bitta elektr bit oqimiga multiplekslash uchun ishlatiladi.

TDM tushunchasi raqamli ierarxialarni shakllantirish uchun ishlatilgan. Shimoliy Amerika va Yaponiyadagi birinchi daraja 24 ovozli kanalning 1,544 Mbit/s (ierarxiya DS-1) bit tezligi bilan multipleksorlanishiga to'g'ri keladi, Evropada 30 ta ovozli kanallar multipleksorlanib, kompozit bit tezligi 2,048 Mbit/sek etadi.

Multiplekslangan signalning bit tezligi qabul qiluvchi tomon kanallarini ajratishi (demultipleksorlash) uchun qo'shilgan ortiqcha nazorat bitlari tufayli bir necha kanalli 64 kbit/s tezlikka ega oddiy mahsulotga qaraganda bir oz katta. Ikkinchi darajali ierarxiya 4 DS-1 TDM kanallarini multiplekslash yo'li bilan olinadi. Bu Shimoliy Amerika yoki Yaponiya uchun 6,312 Mbit/s (DS-2 ierarxiyasi) va Yevropa uchun 8,448 Mbit/s ga teng.

Ushbu jarayon yuqori darajadagi ierarxialarni olishda davom etmoqda. Misol uchun, ierarxiyaning beshinchi darajasida, bit tezligi Evropada 565 Mbit/s va Yaponiyada 396 Mbit/s bo'ladi. Telekommunikatsiya sohasida 1980-yillardagi xalqaro standartlarning yetishmasligi, birinchi marta sinxron optik tarmoq (SONET) deb nomlangan yangi standart paydo bo'lishiga olib keldi va keyinchalik sinxron raqamli ierarxiya yoki SDH deb nomlandi. TDM raqamli signallarini uzatish uchun sinxron kadr tuzilishini belgilaydi.

1.1-jadval

SONET/SDH bit boyicha tezliklari

SONET	SDH	B, (Mbit/s)	Kanallari
OC-1		51,84	672
OC-3	STM-1	155,52	2,016
OC-12	STM-4	622,08	8,064
OC-48	STM-16	2,48832	32,256
OC-192	STM-64	9,953	129,024
OC-768	STM-256	39,81312	516,096

SONET ning asosiy qurilish bloki bit tezligi 51,84 Mbit/s gacha. Tegishli optik signal OC-1 deb nomlanadi, unda OC optik

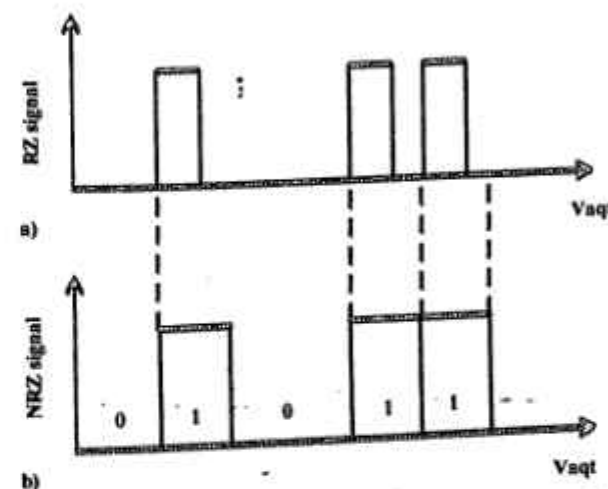
tashuvchini anglatadi. SDH ning asosiy qurilish bloki bit tezligi 155,52 Mbit/s ni tashkil etadi va STM-1 deb ataladi, bu erda STM sinxron transport moduli uchundir. SONET va SDH ning foydali xususiyati shundan iboratki, yuqori darajalar asosiy bit tezligining aniq ko'paytmasi bo'lgan bit tezligiga ega. 1.1-jadvalda SONET va SDH sathlarining ro'yxati berilgan. SDH qabul qilingan xalqaro standartni taqdim etadi. Haqiqatan ham, 1996 yildan beri STM-64 darajasida ishlaydigan yorug'lik to'lqinlari ($B=10$ Gb/s) mavjud. 2002 yilga kelib 40 Gbit/s ga yaqin savdo STM-256 (OC-768) tizimlari ishga tushirildi.

1.3.3. Modulyatsiya formatlari

Optik aloqa tizimini ishlab chiqishda birinchi qadam elektr signalining optik bit oqimiga aylanishini aniqlashdir. Odatda, yarim o'tkazgichli laser kabi optik manba chiqishi, elektr signali to'g'ridan-to'g'ri optik manbaga yoki tashqi modulyatorda qo'llanilishi orqali modulatsiyalanadi. Olingan optik bit oqimining modulyatsiya formati uchun ikkita variant mavjud. Ular 1.10-rasmda keltirilgan va ular "nolga qaytish" (RZ) va "nolga qaytmaslik" (NRZ) formatlari sifatida ma'lum. RZ formatida bit 1 ni ifodalovchi har bir optik impuls bit oralig'idan ancha qisqa va uning uzunligi tugash muddati tugashidan oldin uning amplitudasi nolga qaytadi. NRZ formatida optik impuls hamma bit oralig'ida qoladi va uning amplitudasi ikki yoki undan ortiq ketma-ketlikda 1 bit o'rtasida nolga tushmaydi. Natijada, impuls kengligi bit formatiga qarab o'zgaradi, lekin RZ formatida u o'zgarasdan qoladi. NRZ formatining afzalligi shundaki, bit oqimi bilan bog'liq bo'lgan tarmoqli kengligi on-off o'tishlari kamroq bo'lganligi tufayli u RZ formatiga qaraganda 2 barobarga kichikroqdir. Shunga qaramasdan, uni ishlatish impuls kengligining yanada qattiq nazoratini talab qiladi va optik impuls signal uzatish vaqtida tarqaladigan bo'lsa, bit-namunaga bog'liq ta'sirlarga olib kelishi mumkin. U bilan bog'liq signal uzatish kengligi kichikroq bo'lganligi tufayli, NRZ formati ko'pincha amaliyotda qo'llaniladi.

Optik demenda RZ formatini ishlatish 1999 yillarda undan foydalanish yuqori hajmdagi yorug'lik to'lqin tizimlarini ishlab chiqishda yordam berishi mumkinligi aniqlanganidan keyin diqqatni

jalb qila boshladi. Hozirgi vaqtgacha ushbu format deyarli faqat 40 Gbit/s yoki undan ko'p bo'lgan WDM kanallari uchun ishlatiladi. RZ formatining foydasi misoli psevdoliniyali tizimlar deb atalgan tizimlarda ko'rsatilgan, ular tolali kanallar orqali o'tgani uchun ko'p bitli uyalarda tez tarqaladigan nisbatan qisqa optik impulslardan foydalanadi. Ushbu tarqalish yuqori quvvatni checklaydi va aksi zararli bo'lishi mumkinligini isbotlashi mumkin bo'lgan bir qator noxiziqli ta'sirlarni kamaytiradi.

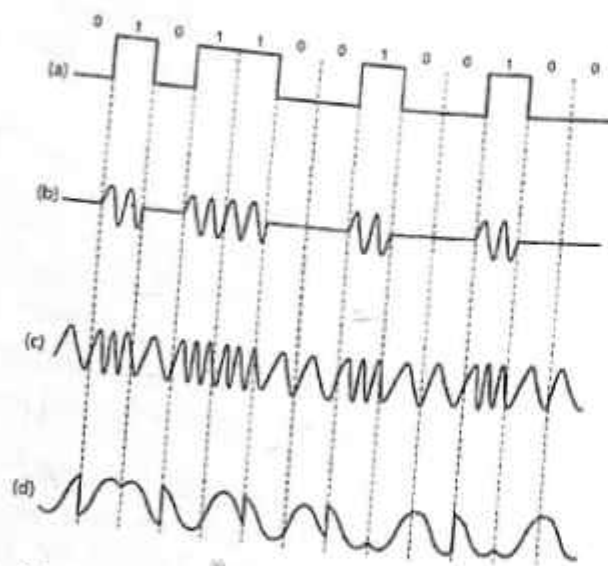


1.10- rasm. Raqamli bit oqimi 010110 ... (a) nolga qaytish (RZ) va (b) nolga qaytmaslik (NRZ) formatlarini qo'llash orqali kodlangan.

Impulslar oxirida dispersiyani boshqarish texnikasi yordamida asl kengliklariga qaytariladi. IChM-impuls-chastota modulatsiyali radio impuls (yoki CRZ) sifatida ma'lum bo'lgan RZ formatidagi qiziqarli variantni ishlatadi, unda optik impulslar tolaga kiritilishdan oldin impulslangan bo'ladi. Muhim masala optik tashuvchida ma'lumotlarni kodlash uchun modulyatsiya qilingan fizik o'zgaruvchini tanlash bilan bog'liq. Modulyatsiya qilishdan oldin optik tashuvchi to'lqinning formulasi quyidagi shaklda bo'ladi:

$$E(t) = \bar{e} a \cos(\omega_0 t - \phi) = \bar{e} \operatorname{Re}[a \exp(i\phi - i\omega_0 t)], \quad (1.6)$$

bu erda E elektr maydon vektori, yoki polarizatsiya birlik vektori, a –amplituda, ω – bu tashuvchi chastotasi va ϕ esa fazadir. E ning makonga qaramligi notatsiyasini soddalashtirish uchun qo'llaniladi. Modulyatsiyalash uchun a –amplituda, ω – tashuvchi chastotasi yoki 0 faza modulyatsiyalash uchun tanlanishi mumkin. Analog modulyatsiya holatida, uchta modulyatsiyon tanlash amplitudali modulyatsiya (AM), chastotali modulyatsiya (FM) va faza bo'yicha modulyatsiya (FM) sifatida ma'lumdir. 1.11-rasmda ko'rsatib o'tilganidek, xuddi shunday modulatsiya texnikasi raqamli holatda qo'llanilishi mumkin va ular amplituda modulyatsiya formati (ASK), chastota modulyatsiya formati (FSK) va faza bo'yicha modulyatsiya formati (PSK) deb nomlanadi.



1.11-rasm. (a) Elektr bit oqimi va (b) ASK, (c) FSK, (d) PSK modulyatsiya formatlari yordamida optik signalga aylantirilganda elektr maydon namunalari paydo bo'lishi bilan natijalanadi

Tashuvchi to'lqinining amplitudasi, chastotasi yoki fazasiga bog'liq holda binar raqamli signalning ikki sathi o'rtasida almashinadi. Eng oddiy texnika ikkita sath oralig'ida signal kuchini oddiygina o'zgartirishdan iborat, ulardan biri nolga o'rnatiladi va natijada paydo bo'ladigan optik signalning yoniq-o'chiq (on-off)

xususiyatini aks ettirish uchun odatda (off-off keying (OOK) amplituda modulatsiyasi deb ataladi. Yaqin vaqtgacha OOK juda ko'p raqamli yorug'lik to'lqinli tizimlar uchun tanlangan format edi.

Zamonaviy WDM tizimi ma'lumotlarning optik tashuvchining amplituda va fazasini qo'llagan holda kodlangan rivojlangan modulyatsiya formatlarini qo'llaydi. Yangi 1980-yillarda FSK va PSK formatlarini ishlatish izchil yorug'lik to'lqinlari tizimlarida o'rganilgan bo'lsa-da, bu formatlar qabul qilishning oxirgi nuqtasida da yuzaga kelgan murakkabliklar tufayli deyarli 1990 yilga qoldirildi. 2000 yildan so'ng, PSK foydalanish WDM tizimlarining spektr samaradorligini oshirish uchun zarur ekanligini anglab etdi. 2000 yildan keyin, PSK dan foydalanish WDM tizimlarining spektr samaradorligini oshirish uchun zarur ekanligi anglab etilganda bu holat o'zgardi. Zamonaviy WDM tizimi ilg'or modulatsiya formatidan foydalanadi, unda ma'lumotlar optik tashuvchining amplituda va fazasini qo'llagan holda kodlanadi.

Yangi formatlarning asosiy g'oyasi, (1.6) tenglamadagi elektr maydoni uchun murakkab notatsiyani foydalanish va "phasor" (kompleks amplituda) deb ataladigan $A = ae^{j\phi}$ ni taqdim etish deb tushunilishi mumkin. A ning haqiqiy va tasavvurdagi qismlari o'z navbatida x va y o'qlari bo'ylab chizilgan chiziqlar jami diagrammadagi to'rt modulyatsiya formatini ko'rsatadi.

Birinchi ikkita konfiguratsiya ikkita yoki ikkilamchi ASK va PSK formatlarini ifodalaydi, unda elektr maydoni fazasining amplitudasi doira bilan belgilangan ikkita qiymatga ega bo'ladi. Uchinchisi esa PSK (yoki QPSK) kvadratura formatini ko'rsatadi, bunda optik faza 4 ta mumkin bo'lgan qiymatni oladi. Ikki bit har bir vaqt oralig'ida uzatadi va samarali bit tezligi ikkiga bo'linadi. Mikro to'lqinli aloqa terminologiyasidan kirib kelgan, samarali bit tezligi tezlik ramzi (simvoli) (yoki baud) deb ataladi.

1.4. Tolali optik aloqa tizimlarining tasnifi

Optik tolali uzatish tizimlarining aloqa elektr kabellari bo'yicha ishlovchi an'anaviy tizimlar singari quyidagi tasnifi qabul qilingan.

Kanal hosil qiluvchi asbob-uskunalariga qarab:

- analogli tolali optik uzatish tizimlari, ularda kanal hosil qiluvchi asbob-uskunalar kanallari chastotalar bo'yicha ajratilgan

uzatish analogli tizimlar (CHAK) va mos ravishda tashuvchi chastota parametrlarning modulyasiya (amplitudali, chastotali, fazali modulyasiyalar va ularning kombinatsiyasi) analogli usullari yoki impulsning davriy izchilligi parametrlari (amplituda-impulsli, keng-impulsli, faza-impulsli modulyasiyalar va ularning kombinatsiyalari) asosida tuziladi;

- raqamli tolali optik uzatish tizimlari, ularda kanal hosil qiluvchi asbob-uskunalar impuls-kodli modulyasiya (IKM), delta-modulyasiyalar va ularning turlari; kanallari vaqt bo'yicha ajratilgan IKM asosida TOUT (tolali optik uzatish tizimlari) keng tarqalgan.

O'z navbatida raqamli tolali optik uzatish tizimlari (RTOUT) quyidagilarga ajratiladi:

- plezioxron raqamli ierarxiya RTOUT (PRI, PDH), agar kanal hosil qiluvchi asbob-uskunalar sifatida birlamchi, ikkilamchi, uchlamchi va to'rtlamchi raqamli oqimlarni (PDH Evropa standartining E1, E2, E3 va E4 oqimlari yoki PDH Amerika standartining DS1, DS2 va DS3 oqimlari) hosil qilish qurilmalari ishlatilsa;

- sinxron raqamli ierarxiya RTOUT (SRI, SDH), agar kanal hosil qiluvchi asbob-uskunalar sifatida STM-1, STM-4, STM-16, STM-64 va STM-256 sinxron transport modullarini (6-bobga qarang) shakllantirish qurilmalari ishlatilsa.

Ta'kidlash joizki, tolali optik aloqa texnikasi rivojlanishining dastlabki bosqichlarida analogli TOUT ishlab chiqish bo'yicha ilmiy-tadqiqot ishlar o'tkazilgan, ular esa bunday tizimlarni ko'p sonli kanallar bilan amalga oshirish iloji texnik qiyinchiliklar bilan bog'liq.

Birinchidan, bu kvant shovqin va optik nurlanish qabul qilgichlarida qo'llaniladigan fotodiodlarning xususiy shovqinlari sathining yuqori darajada bo'lishiga bog'liq.

Optik diapazonda kvant shovqinning sathi xususiy shovqin darajasidan ancha yuqori. Analogli tizimlarda xabarlarini uzatishda kerakli sifatga erishish uchun analogli optik signallarni qabul qilish va ishlov berishning maxsus usullari qo'llanilishi zarur, raqamli tizimlardan foydalanilganda esa uzatishda huddi shu sifat 30...40 dB ga signal/shovqin nisbatiga talablarni pasaytirish bilan ta'minlanadi. Shuning uchun raqamli TOUT amalga oshirish analogli TOUT nisbatan ancha qulay.

Ikkinchidan, tolali optik manbalar nohiziqli modulyasion xususiyatlarga ega, bu esa kelib chiqishi nohiziqli ruxsat etilgan xalaqitlarga talablarni amalga oshirishda sezilarli qiyinchiliklarga olib keladi. Ushbu talablarni bajarishda TOUTning kuchaytiruvchi sohasining uzunligi uzatish tizimlarning kuchaytiruvchi sohasining uzunligi bilan simmetrik va koaksial kabellar bo'yicha o'lchovdosh bo'lar ekan.

Shuning uchun analogli TOUT qo'llash texnik-iqtisodiy ko'rsatkichlar bo'yicha maqsadga javob bermaydi, ayniqsa jahon hamjamiyatida qabul qilingan telekommunikatsiyalarni "raqamlashtirish"ga bo'lgan tendensiyalarni hisobga olsak.

Hozirgi vaqtda optik kanallar bo'yicha ishlaydigan barcha ko'p kanalli telekommunikatsion tizimlar raqamlidir. Shuning uchun quyida faqatgina raqamli TOUT ko'rib chiqamiz.

Ikki tomonlama aloqaning tashkil qilinganlik sxemasiga ko'ra TOUT quyidagilarga ajratiladi:

- ikki tolali bir polosali bir kabelli, ularda optik signallarni uzatish va qabul qilish λ to'lqinning bir uzunligida ikkita optik tolalar (OT) orqali olib boriladi. Shunda har bir OT ikki o'tkazgichli fizik zanjirning ekvivalenti hisoblanadi. Kabelning optik tolalari o'rtasida o'zaro ta'sirlar yo'qligi uchun turli tizimlarning uzatish va qabul qilish traktlari bir kabel bo'yicha tashkil qilinadi, bu esa ikki tomonlama aloqani tashkil qilishning har qanday sxemasi uchun xosdir;

- bir tolali bir polosali bir kabelli, ularning asosiy xususiyati λ to'lqinning bir uzunligi bo'yicha signallarni uzatish uchun bir optik toladan foydalanish hisoblanadi;

- bir tolali ikki polosali, bir kabelli, ularda uzatish λ_1 optik nurlanish to'lqinining uzunligida bir yo'nalishda, teskari tomonga esa λ_2 da amalga oshiriladi;

Telekommunikatsiya yagona tarmog'ining birlamchi tarmoqlar ierarxiyasidagi o'rni va mo'ljallanishiga ko'ra TOUT quyidagilarga ajratiladi:

- xalqaro TOUT, ular davlatlar orasida xabarlarini uzatish, qabul qilish uchun mo'ljallangan;

- magistral TOUT, ular xabarlarini minglab kilometrlarga uzatish hamda respublika, viloyatlar, yirik sanoat va ilmiy markazlar xamda boshqalarni o'zaro bog'lash uchun mo'ljallangan;

- hududiy yoki ichki hududiy TOUT, ular respublika va viloyatlar ma'muriy chegaralarida aloqani tashkil qilish uchun mo'ljallangan;

- mahalliy tarmoqlar uchun TOUT, shahar va qishloq telefon tarmoqlarida stansiyalararo bog'lash liniyalarini tashqil qilish uchun mo'ljallangan;

- abonent ulanish tarmoqlari — telekommunikatsiya xizmatlaridan foydalanuvchilar terminallarini abonent aloqa liniyalari orqali tarmoqqa ulab beradi.

Bundan tashqari, raqamli TOUTni faqatgina ular uchun xos xususiyatlar bo'yicha tasniflash mumkin.

Optik nurlanish modulyasiya va demodulyasiya usullariga ko'ra quyidagi turlarga ajratiladi:

- nokogerent uzatish tizimlari, ularda optik nurlanishning intensivligi raqamli modulyasiya va to'g'ri fotodetektorlash usulida demodulyasiya amalga oshiriladi;

- kogerent uzatish tizimlari, ularda kogerent usuli qo'llaniladigan optik nurlanish modulyasiya (amplitudali, chastotali va manipulyasiyaning boshqa turlari) raqamli usullaridan foydalaniladi.

TOUT optik kanallar soni va optik tola orqali uzatish usullariga ko'ra quyidagilarga bo'linadi:

- bir tolali TOUT, ularda liniya trakti bo'yicha har qanday yo'nalish bo'yicha bitta modulyasiya qilingan optik tashuvchi (bir optik kanal) uzatiladi;

- ko'p to'lqinli TOUT yoki spektr bo'yicha (zichlangan) ajratilgan TOUT (SA-TOUT) yoki to'lqinlar uzunligi bo'yicha ajratilgan multipleksorlash (WDM, Wavelength Division Multiplexing), ularda bir OT bo'yicha bir vaqtning o'zida spektr bo'yicha yoyilgan optik tashuvchi uzatiladi, ushbu tashuvchilarning har biri tegishli kanal hosil qiluvchi asbob-uskunalarda shakllangan signal bilan modulyasiya qilinadi. Ko'p to'lqinli TOUT lar hozirgi vaqtda keng joriy etish bosqichidadir.

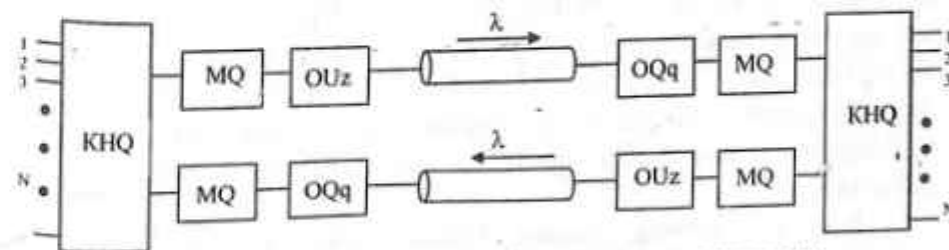
1.5. Optik aloqa tizimlarining tuzilish prinsiplari. Tolali optik uzatish tizimlarining ikki tomonlama liniya traktlarini tuzish prinsiplari

Abonentlar o'rtasida, inson va hisoblash mashinasi, hisoblash mashinalararo, hisoblash mashinalari va boshqaruv ob'ektlari orasida tabiiy dialogni ta'minlash uchun aloqa ikki tomonlama bo'lishi kerak. TOUT ikki tomonlama liniya traktlarini tashkil qilish usullarini ko'rib chiqamiz.

Koaksial kabelga o'xshab TOUT liniya traktining ikki tolali bir kabelli bir polosali tashkil qilish usuli xronologik birinchi o'zlashtirilgan va keng qo'llaniladi.

Ikki tolali bir kabelli bir polosali TOUT ni tuzish prinsipi 1.12-rasmda keltirilgan.

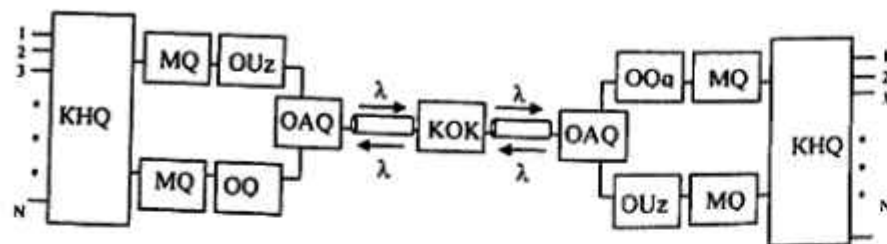
Bunday TOUTning afzalligi oxirgi va oraliq stansiyalarning qabul qilish va uzatish traktlar bir tipli asbob-uskunalaridan foydalanishdan iborat, kamchiligi esa — optik kabeldan hamda OT o'tkazish qobiliyatidan foydalanish koeffitsienti past.



1.12- rasm. Ikki tolali bir polosali bir kabelli TOUT

Optik nurlanishning xususiyatlari, uning qutblanish effektidan foydalanishni hisobga olgan holda TOUT ikki tomonli, bir tolali, bir polosali bir kabelli liniya traktini tashkil qilishi mumkin (1.13- rasm). Ushbu rasmda oldin qabul qilingan belgilarga yangisi qo'shildi: OAQ — optik ajratish qurilmasi bo'lib, unda yorug'lik to'lqinlarning qutblanishi va optik nurlanishning yo'naltirilgan to'lqin turlarini ajratish amalga oshiriladi. TOUT tuzilishning bunday usuli juda istiqbolli hisoblanadi, shu bilan birga qarama-qarshi yo'nalishlarda tarqaladigan axborot oqimlari o'rtasida kesishuvchi xalaqitlarning borligini hisobga olish zarur. Kesishuvchi xalaqitlar OT va

OAQlarda teskari yoyilishi, liniya uchlarida ulanish joylari va ajraladigan ulagichlardan yorug'lik aksi hisobidan paydo bo'ladi.

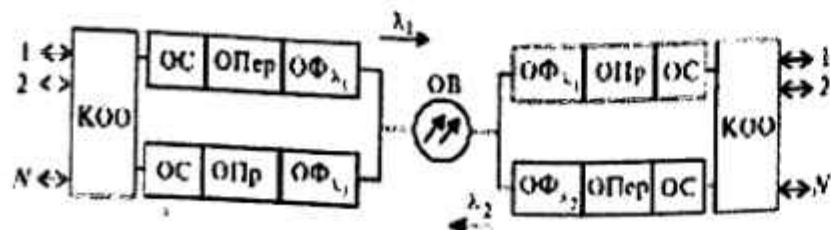


1.13- rasm. Bir tolali bir polosali bir kabelli TOUT

Kesishuvchi xalaqit darajasi va uning spektral tarkibi ko'p jihatdan uzatiladigan signalga (uzatish tezligi, optik nurlanish impuls shakllariga) hamda liniya trakti parametrlariga (tolaning so'nishi, uning uzunligi, sonli aperturasi, OTning sindirish ko'rsatkichi profiliga) bog'liq.

Optoelektronikaning rivojlanishi, turli xil optik filtrlar va multipleksorlar bir tolali bir kabelli ikki polosali sxema bo'yicha optik liniya traktlarini tashkil qilishga imkon beradi. Ushbu sxemada bir tomonga uzatish λ_1 optik nurlanish to'lqin uzunligi bo'yicha, ikkinchida esa - λ_2 da amalga oshiriladi. Uzatish yo'nalishlarini ajratish optik nurlanish to'lqinlarining tegishli uzunliklariga sozlangan yo'naltiruvchi optik filtrlar (OF) yordamida amalga oshiriladi.

Ikki tomonlama aloqani tashkil qilish bunday usulining umumlashtirilgan sxemasi 1.14- rasmda keltirilgan bo'lib, unda $OF_{\lambda 1,2}$ — tegishli uzunlikdagi to'lqinlarni ajratadigan yo'naltiruvchi optik filtrlar.

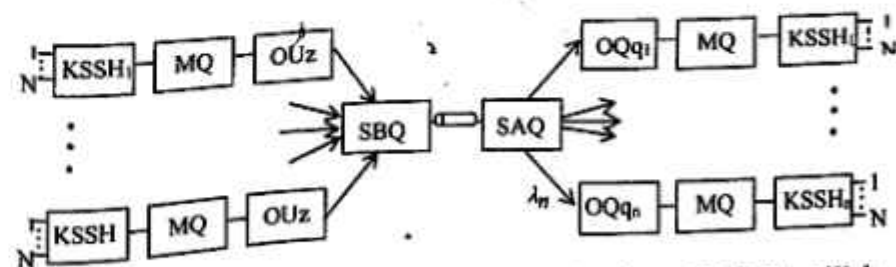


1.14- rasm. Bir tolali ikki polosali bir kabelli TOUT

1.6. Optik aloqa tizimlarida to'lqin uzunligi bo'yicha zichlashtirish

Ko'p kanalli elektr aloqa texnikasining asosiy vazifasi elektr aloqa yo'naltiruvchi tizimlar, ya'ni elektr va optik kabellarning o'tkazish qobiliyatidan foydalanish samaradorligini oshirishdan iborat. Tarixan kanallarni chastota bo'yicha ajratish usuli birinchi bo'lgan, hozirgi vaqtda esa u TOUT texnikasida to'lqin uzunligi bo'yicha ajratish bilan spektral zichlash yoki multiplekslash texnologiyasi (WDM) sifatida keng tarqaldi. Shu bilan birga bir OT bo'yicha bir vaqtning o'zida bir necha spektral yoyilgan yo'naltiruvchi optik tashuvchilar uzatilib, ularning har biri tegishli kanal hosil qiluvchi asbob-uskunalar tomonidan shakllangan ko'p kanalli signal bilan modulyasiya qilinadi. Bunday tizimlarni tuzish imkoniyati OT so'nish koeffitsientining tegishli shaffoflik darchasi doirasida optik tashuvchi chastotasiga (yoki to'lqin uzunligiga) bog'liq emasligi bilan asoslanadi. Shuning uchun chastotalar ajratish usullini qo'llab, bir OT bo'yicha bir necha keng polosali optik kanallarni tashkil qilish hamda shu bilan axborotni uzatishning natijaviy tezligini oshirish mumkin.

Optik kanallar bo'yicha spektral ajratish bilan TOUTning (SA-TOUT) umumlashtirilgan tuzilmaviy sxemasi 1.15- rasmda keltirilgan bo'lib, unda soddaroq tasvirlash uchun uzatishning bir yo'nalishi ko'rsatilgan.



1.15- rasm. To'lqin uzunligi bo'yicha ajratilgan TOUT tuzilish sxemasi

Qabul qilingan belgilanishlarga yangilari qo'shilgan:
KSSH — kanallar signalini shakllantiruvchi asbob-uskunalar, ular kanal hosil qiluvchi asbob-uskunalar (KHQ) va parametrlari

optik uzatuvchi (OUz) va optik priemnik (OQq) bilan moslashtirilgan elektr signalni shakllantirish uchun mo'ljallangan ulanish asbob-uskunalar (UA) yig'indisidan iborat;

SBQ — spektral birlashtirish qurilmasi, uning asosiy vazifasi OTda optik tashuvchilarni kiritishni amalga oshirishdan iborat;

SAQ — optik tashuvchilar bo'yicha spektral ajratish qurilmasi.

Uzatish stansiyasida n uzatish tizimlari (bir tipli yoki har xil tipli) mavjud. Ularning signallari turli optik tashuvchilari $\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_{n-1}, \lambda_n$ nur tarqatuvchi n optik uzatkichlarga uzatiladi. SBQ yordamida OT da turli tashuvchilarni kiritish amalga oshiriladi. SAQ qabul qilish tomonida optik tashuvchilar ajratiladi va optik qabul qilgichlarga va keyinchalik KSSH uzatiladi. Shunday qilib, har bir OT bo'yicha spektral ajratilgan optik (spektral) kanallarning n soni tashkil qilinadi, ya'ni OTning o'tkazish qobiliyati uzatishning optik tizimlarini an'anaviy tuzishga nisbatan n barobar oshadi. Bundan tashqari, ushbu usul aloqa tarmoqlarini rivojlantirishni qo'shimcha qurilish ishlarsiz, shuningdek yorug'lik oqimlarini ajratish joylarida spektral zichlashish elementlariga har qanday tuzilmaning keng tarmoqlarini yaratishga imkon beradi. Shu bilan birga turli signallarni uzatishda (telefoniya, televidenie, telemetriya, ma'lumotlarni uzatish va boshqalar) turli tezliklarda yoki chastotalar polosasi kengligi va raqamli va analogli modulyasiya turlari uzatish imkoniyatlari kengayadi.

Optik tashuvchilarni birlashtirish yoki ajratish uchun turli optik spektral qurilmalar (multipleksorlar va demultipleksorlar) qo'llanishi mumkin. Ularning ishi fizik optika hodisalarida, jumladan dispersiya, difraktsiya va interferensiya hodisalarida asoslangan. Multipleksorlar va demultipleksorlar tuzilmasi asosida optik prizma, ko'p qatlamli dielektrik, difraktsion panjara va b.q.

SA-TOUtlarda odatda bir modali OT (BM OT) va chiqishda nurlanish kuchi yuqori bo'lgan retranslyatorlar sifatida optik kuchaytichlar ishlatiladi. Bu bir modali OTda optik energiyasi yuqori zichlanishini hosil qiladi va nochiziqli effektlarni ifodalashiga olib keladi. Ko'zga tashlanadigan nochiziqli effektlardan biri majburiy kombinatsion yoyilish effekti (MKYO) hisoblanadi. MKYO effekti natijasida OTda turli spektral kanallarning optik signallari o'zaro ta'siri kuzatiladi, u esa, xususan to'liq uzunligi kichik bo'lgan optik tashuvchilar quvvatini

kamayishi va to'liq uzunligi katta bo'lgan optik tashuvchilar quvvatining oshishida namoyon bo'ladi.

Nazorat savollari

1. Optik signallarning qanday xususiyatlarini bilasiz?
2. OAT elektr tizimlardan qanday xususiyatlari bilan farqlanadi?
3. OATlari qanday tasniflanadi?
4. TOAT qanday afzalliklarga ega?
5. OOATdan nega keng foydalanilmaydi?
6. Optik aloqa tizimining tuzilish prinsipini tushuntiring.
7. Ochiq optik aloqa tizimining tuzilish prinsipini tushuntiring.
8. Tolali optik aloqa tizimining tuzilish prinsipini tushuntiring.
9. Ikki tomonlama TOATlarini tuzishning qanday usullarini bilasiz?
10. Ikki tolali, bir polosali, bir kabelli TOATning tuzilish sxemasini tushuntiring.
11. Bir tolali, bir polosali, bir kabelli TOAT qanday tuzilgan?
12. To'liq uzunligi bo'yicha ajratilgan TOATning sxemasi qanday tuzilgan?
13. TOAT liniyalarini zichlashtirishning qanday asosiy usullarini bilasiz?
14. TOAT liniyalarini vaqt bo'yicha zichlashtirish usulini tushuntiring.
15. TOAT liniyalarini chastota bo'yicha zichlashtirish usulini tushuntiring.
16. TOAT liniyalarini to'liq uzunligi bo'yicha zichlashtirish usulini tushuntiring.
17. TOAT liniyalarini zichlashtirish usullaridan qaysi biri maksimal axborot sig'imiga ega?

OPTIK TOLA VA KABELLAR

2.1. Optik tola va uning tuzilishi

Tolali optik aloqa tizimida optik tebranishlarning tarqalishini chegaralovchi va yorug'lik energiyasi oqimini berilgan yo'nalishda yo'naltiruvchi, uzatish va qabul qilish traktlarini bog'lab turuvchi muhit optik yorug'lik uzatgichlar deyiladi. Optik yorug'lik uzatgichlarning tavsiflari qisman aloqa tizimining sifatini aniqlaydi. Shuning uchun TOATni loyihalashtirishda nurlanish tarqaladigan uzatuvchi muhit - optik yorug'lik uzatgichlarning tavsiflarini hisobga olish kerak.

TOATda maxsus optik yorug'lik uzatgichlar-optik tolalar (OT) qo'llaniladi. Kichik so'nish koeffitsientiga ega bo'lgan optik yorug'lik uzatgichlar asosida optik signallarni uzoq masofalarga uzatishni ta'minlovchi optik kabellar yaratilgan.

Yorug'lik uzatuvchi optik tolalar o'zak va qobiqdan iborat bo'ladi. Ular qiymat bo'yicha bir-biriga yaqin turli sindirish ko'rsatkichlariga ega. O'zak uzatuvchi muhit, qobiq esa o'zi va o'zak orasida chegara hosil qiluvchi sifatida ishlatiladi. Bu chegara yorug'likni yo'naltiruvchi fizik kanalni shakllantirib, u orqali uzatilgan signalning tashuvchisi yorug'lik nuri tarqaladi.

Yorug'lik nurining faqatgina o'zak bo'ylab tarqalishini ta'minlash uchun (2.1-rasm)

$$n_1 > n_2 > n_3 > n_0,$$

shart bajarilishi kerak. Mos ravishda bu erda

n_1 - o'zakning sindirish ko'rsatkichi,

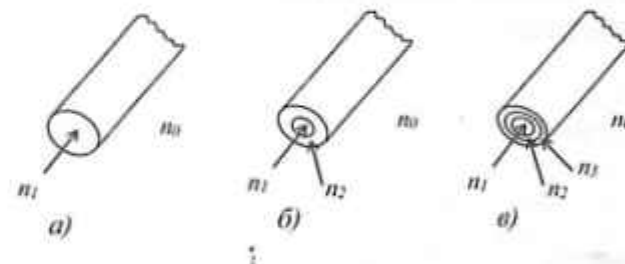
n_2, n_3 - qobiqlarning sindirish ko'rsatkichlari,

n_0 - tashqi muhitning sindirish ko'rsatkichi [5].

Optik yorug'lik uzatgichlarning sindirish ko'rsatkichi:

$$n = \sqrt{\epsilon \cdot \mu} \quad (2.1)$$

bu erda ϵ, μ -mos ravishda nisbiy dielektrik va magnit o'tkazuvchanlik.



2.1-rasm. Yorug'lik uzatuvchi optik tolalar

Yoki sindirish ko'rsatkichi n , yorug'likning vakuumdagi tezligini (s) materialdagi yorug'lik tezligiga (s_m) nisbati orqali ifodalanadi:

$$n = s / s_m.$$

Turli moddalardan yorug'lik turli tezliklarda tarqaladi. 2.1-jadvalda turli moddalarning sindirish ko'rsatkichlari va yorug'likning tarqalish tezliklari keltirilgan [2].

OTning tarkibiy qismlari 2.2-rasmida tasvirlangan. OT uchun asosiy material juda toza va tiniq kvars shishasi, kremniy ikki oksidi (SiO_2) hisoblanadi.

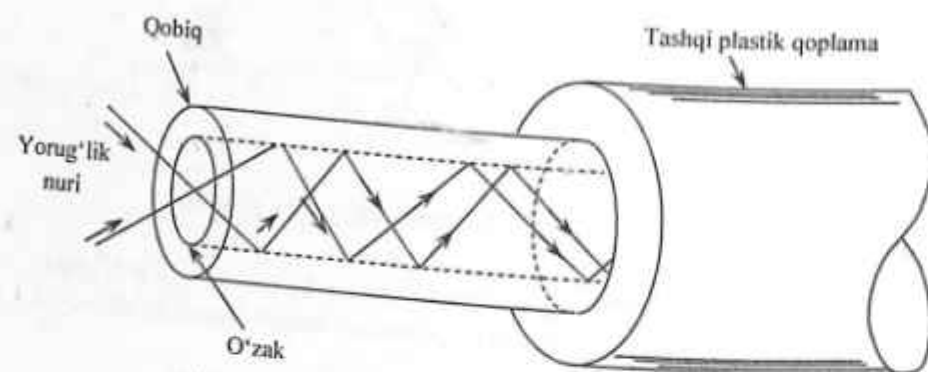
Agar dengiz suvi shunchalik tiniq bo'lganda, u xolda Tinch okeanida joylashgan 33,177 futli Mariana cho'kmasining eng chuqur joyini ko'rish mumkin bo'lardi [2].

2.1-jadval

Turli materiallarning sindirish ko'rsatkichlari

Materiallar nomi	Sindirish ko'rsatkichlari, n	Yorug'likning turli materiallardagi tezligi, s_m km/sek.
Vakuum	1.0	300 000
Xavo	1,0003(1)	300 000
Suv	1,33	225 000
Kvars	1,46	205 000
Shisha	1,5	200 000
Olmos	2,5	120 000

O'zak va qobiqning kerakli sindirish ko'rsatkichlarini olish uchun kvars shishasiga qo'shimchalar qo'shiladi. Masalan: germaniy va fosfor sindirish ko'rsatkichini oshiradi, bor va flor esa aksincha uni kamaytiradi.



2.2-rasm. Optik tolaning tuzilishi

Tolaning qo'shimcha qobiqlari himoya qobig'i xisoblanadi. 2.2-rasmda tashqi plastik qoplama ko'rsatilgan [4]. Tashqi plastik qoplama optik tolaning xususiyatlariga ta'sir etuvchi mexanik va atrof muhit ta'sirlaridan uni himoya qiladi.

2.2. Optik tola turlari va ularning tavsiflari. Bir modali va ko'p modali optik tolalar. Pog'onali, gradientli va maxsus sindirish ko'rsatkichli optik tolalar. Optik tolalarning standartlari

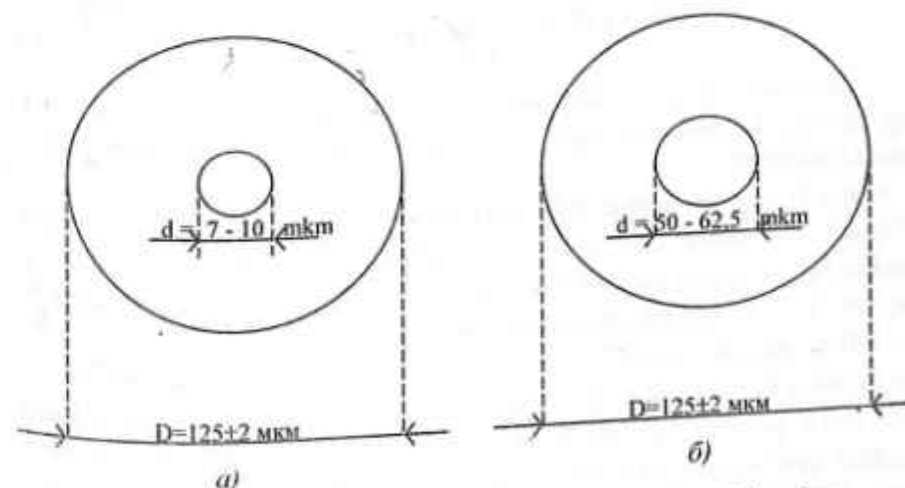
To'lqin uzunligiga nisbatan o'zak diametriga bog'liq ravishda optik tolalar bir modali va ko'p modaliga bo'linadi. Bir modali optik tolalarda ko'pincha o'zak diametri 7-10 mkm (2.3,a-rasm), ko'p modali optik tolalarda esa 50-62,5 mkm (2.3,b-rasm) bo'ladi. Ikkala turda qobiq diametri 125 mkm ni tashkil etadi. Amaliyotda ko'p modali va bir modali optik tola diametrlarining boshqa qiymatlari ham mavjud. Bir modali optik toladan faqat bir moda (yorug'lik tashuvchi) uzatiladi. Ko'p modali optik toladan esa apertura burchagi doirasida tola turli burchaklar ostida kiritiladigan bir necha yuzlab ruxsat etilgan modalarni bir vaqtda uzatish mumkin.

Barcha ruxsat etilgan modalar turli tarqalish yo'nalishi va vaqtiga ega.

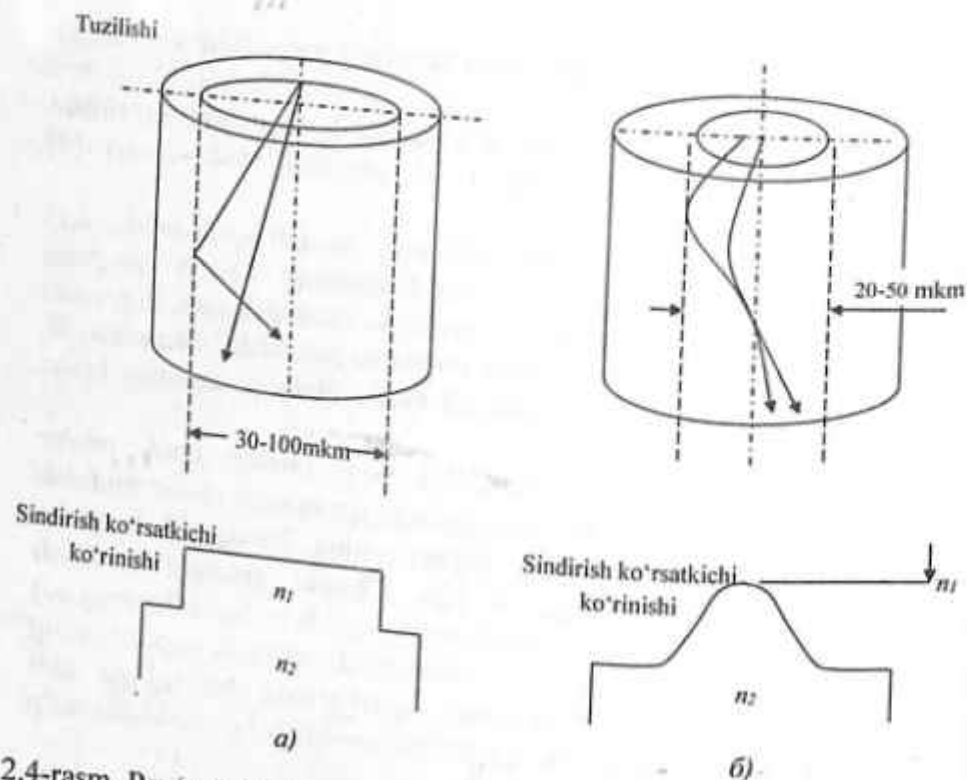
Ko'p modali optik tolalar sindirish ko'rsatkichi ko'rinishi bo'yicha pog'onali (2.4,a-rasm) va gradient (2.4,b-rasm) [4] tolalarga bo'linadi.

Pog'onali sindirish ko'rsatkichli ko'p modali optik tolalar ikki muhit chegarasida sindirish ko'rsatkichlarining keskin (pog'ona ko'rinishida) o'zgarishi (n_1 dan n_2 ga) bilan xarakterlanadi. Pog'onali sindirish ko'rsatkichli optik tolalar o'tkazish polosasini chegaralaydi, lekin gradient sindirish ko'rsatkichli optik tolalarga nisbatan arzon hisoblanadi.

Gradient sindirish ko'rsatkichli ko'p modali optik tolalar pog'onali sindirish ko'rsatkichli tolalarga qaraganda ravn sindirish ko'rsatkichiga va modalaro dispersiyaning kamayishi bo'yicha yuqori texnik ko'rsatkichlarga ega. Chunki gradient sindirish ko'rsatkichli optik tolada modalarning tarqalish tezligi (dispersiyasi) bir-biridan juda ham kattaga farq qilmaydi. Dispersiya impulslarning kengayib ketishiga, uzatilayotgan signallarning buzilishiga olib keladi. Shuning uchun hozirda gradient sindirish ko'rsatkichli ko'p modali optik tolalar keng tarqalgan.



2.3-rasm. Bir modali (a) va ko'p modali (b) optik tolalarning ko'ndalang kesimi

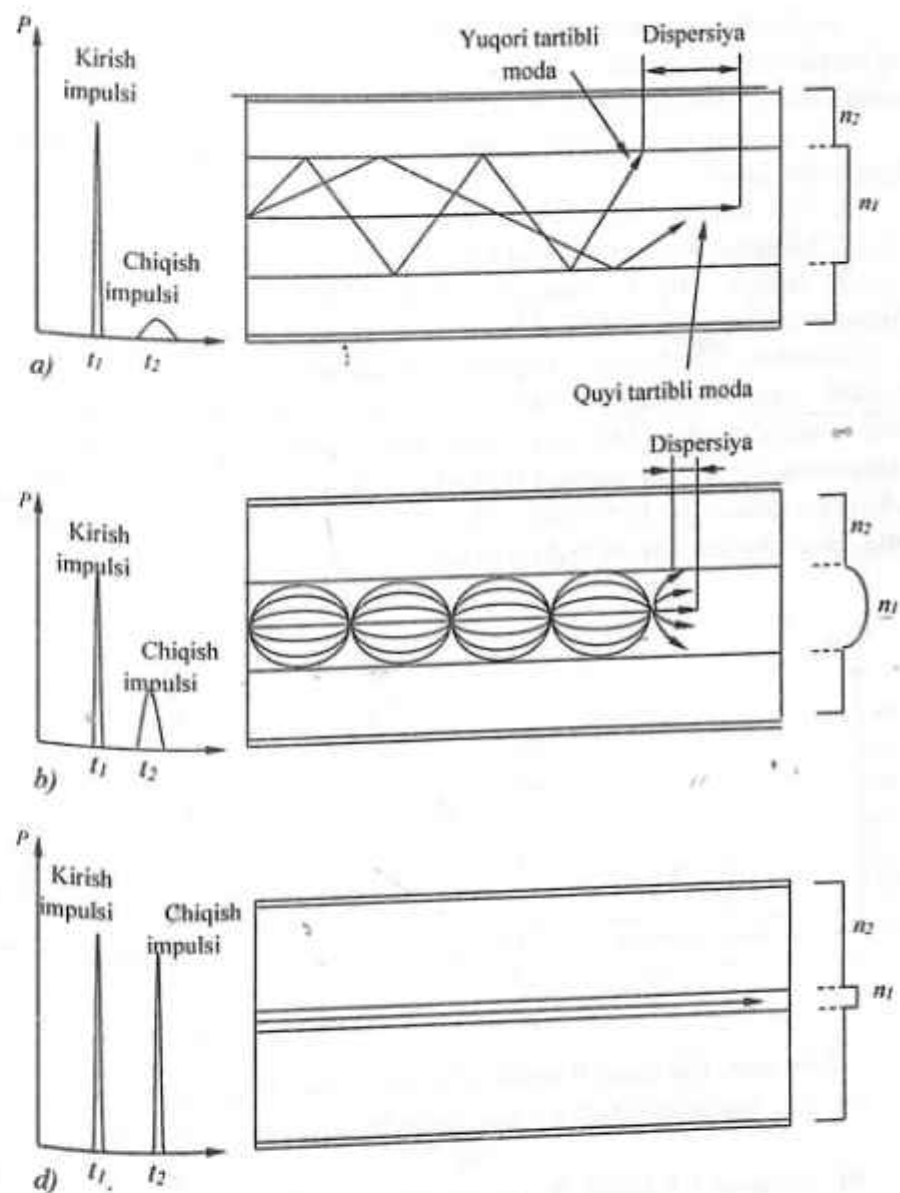


2.4-rasm. Pog'onali (a) va gradient (b) ko'p modali optik tolalarning tuzilishi va sindirish ko'rsatkichi ko'rinishlari

Gradient sindirish ko'rsatkichli ko'p modali optik tolalarning eng asosiy kamchiligi ularning qimmatligi va ishlab chiqarishni murakkabligidir.

Ko'p modali optik tolalarda modalararo dispersiya o'tkazish polosasi va aloqa masofasini chegaralaydi. Shuning uchun ko'p modali optik tolalar asosan lokal tarmoqlarda va nisbatan past tezlikli raqamli TOAT signallarini uzatishda ishlatiladi.

Bir modali optik tolalardan magistral aloqa tarmoqlarida foydalaniladi. Chunki bir modali optik tolalarda modalararo dispersiya yuzaga kelmaydi, shuning uchun signallar ko'p modali rejimga qaraganda kam buzilish bilan uzatiladi. Ya'ni bir modali optik tolalardan foydalanish o'tkazish qobiliyatini oshiradi, lekin uzatuvchi qismda birmuncha qimmat bo'lgan lazer diodlardan foydalanish talab etiladi. Turli tolalar bo'ylab optik signallarning tarqalishi 2.5-rasmga tasvirlangan [1].



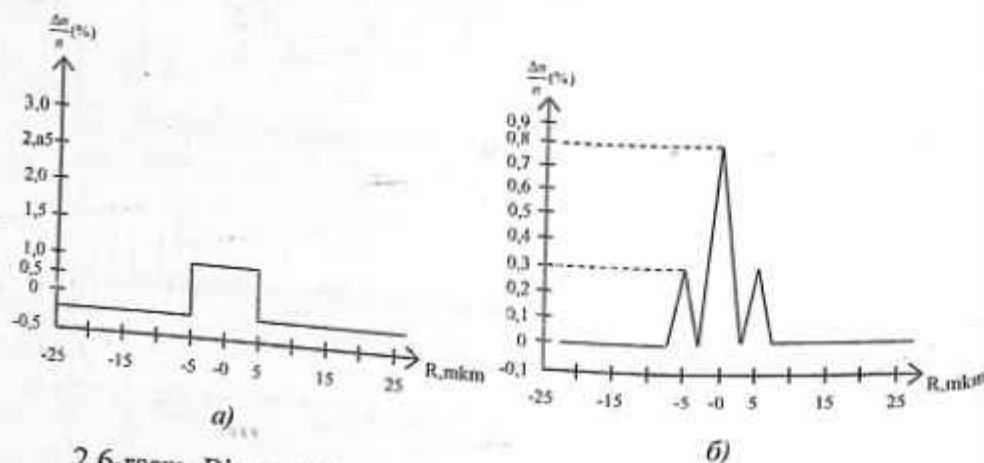
2.5-rasm. Turli optik tolalardan yorug'lik nurining tarqalishi va ularning sindirish ko'rsatkichlari ko'rinishlari:
a) - ko'p modali, pog'onali sindirish ko'rsatkichli optik tola;
b) - ko'p modali, gradient sindirish ko'rsatkichli optik tola;
v) - bir modali, pog'onali sindirish ko'rsatkichli optik tola.

Sindirish ko'rsatkichlariga qarab bir modali optik tolalar pog'onali (to'g'riburchakli) va maxsus turdagi uch tishli, W ko'rinishdagi tolalarga bo'linadi (2.6-rasm) [3].

Bir modali optik tolalar dispersiya qiymatlari bo'yicha ushbu turlarga bo'linadi:

1. Standart tola SF (Standart Fiber).
2. Siljigan dispersiyali tola DSF (Dispersion-Shifted Fiber).
3. Nolga teng bo'lmagan siljigan dispersiyali tola NZDSF (Non-Zero Dispersion-Shifted Fiber).

Standart SF tolalari pog'onali sindirish ko'rsatkichiga ega. Statistika ma'lumotlarga ko'ra eng ko'p yotqizilgan kabellar bir modali standart SF (Standart Fiber) tolalardan iborat. Xozirda SF tolalarining so'nish qiymatlari 0,18-0,19 dB/km gacha kamaytirilgan. Lekin, bu tolalarda 1550 nm to'lqin uzunligida dispersiya qiymati katta 17-20 ns/nm·km ni tashkil etadi.



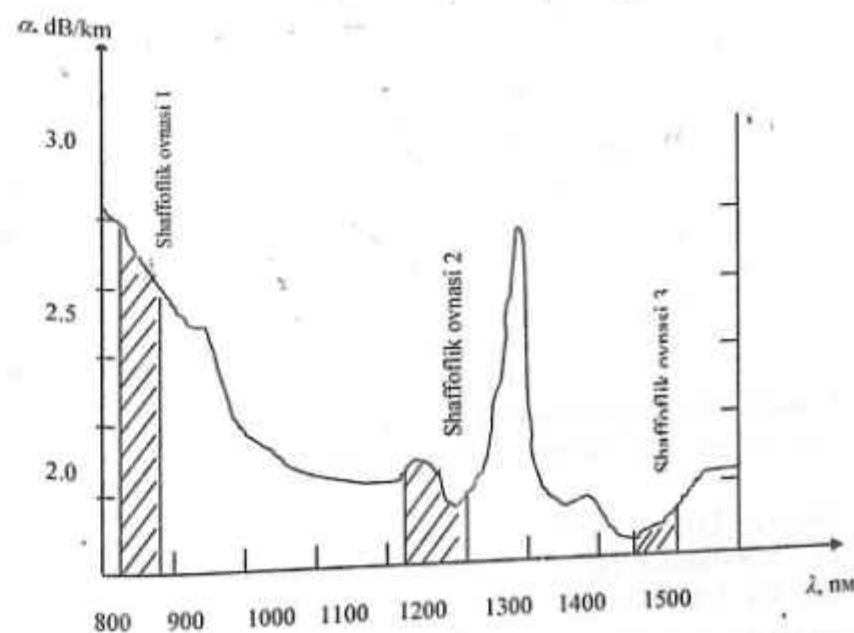
2.6-rasm. Bir modali optik tolaning sindirish ko'rsatkichlari:
a) - pog'onali sindirish ko'rsatkichli bir modali standart SF optik tola;
b) - maxsus uch tishli, W ko'rinishga ega sindirish ko'rsatkichli, dispersiyasi nolga siljigan bir modali optik tola.

1300 nm to'lqin uzunligida esa dispersiya qiymati minimal, lekin so'nish qiymatlari katta 0,35-0,5 dB/km ni tashkil etadi (2.7-rasm). Dispersiya qiymati kichik bo'lgani uchun 1300 nm to'lqin uzunligi dispersiyasi nolga teng λ_0 to'lqin uzunligi deb ataladi.

So'nish qiymatlari kichik, ya'ni 0,2-0,25 dB/km ni tashkil etadigan 1500 nm to'lqin uzunligida (2.7-rasm) dispersiya qiymatlarini ham kamaytirish maqsadida λ_0 to'lqin uzunligini 1550 nm ga siljitish orqali siljigan dispersiyali DSF tolalari ishlab chiqilgan.

DSF tolalarida $\lambda_0 = 1550$ nm ga teng bo'lib, bu to'lqin uzunligi nolinci dispersiya nuqtasi deb olingan.

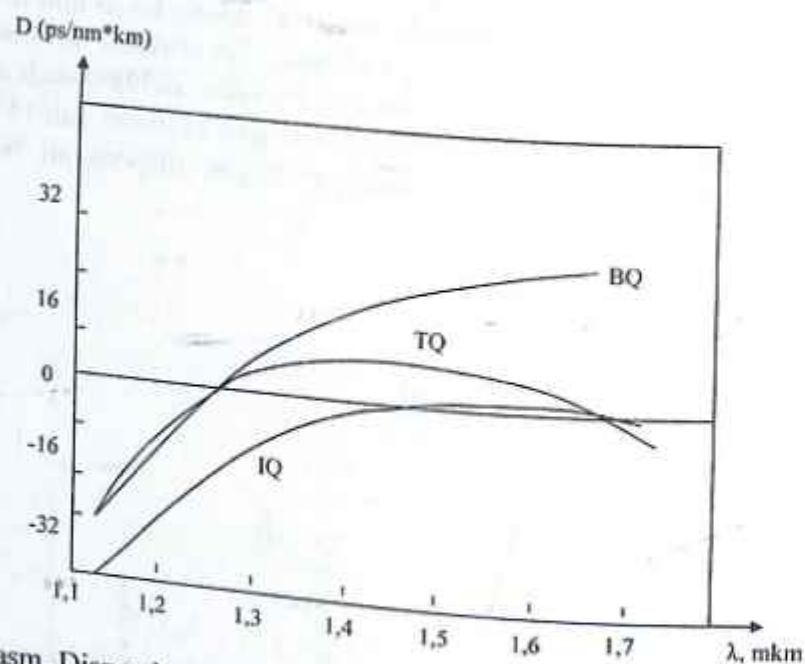
DSF va NZDSF tolalari maxsus turdagi W ko'rinishdagi sindirish ko'rsatkichlariga ega. Ammo 1550 nm to'lqin uzunligida DSF tolalarida to'lqin uzunligi bo'yicha zichlashtirish usulini amalga oshirib bo'lmaydi. Chunki; agarda 1550 nm to'lqin uzunligida to'lqin uzunligi bo'yicha zichlashtirish usulini qo'llasak, bu to'lqin uzunligi atrofida parazit optik kanallar, ya'ni noxiziqli effektlar hosil bo'ladi. Buni bartaraf etish va to'lqin uzunligi bo'yicha zichlashtirish usulini qo'llash uchun nolinci λ_0 to'lqin uzunligini 1520 nm dan 1560 nm gacha surib, nolga teng bo'lmagan siljigan dispersiyali NZDSF tolalari hosil qilingan.



2.7-rasm. To'lqin uzunligiga bog'liq ravishda optik tola so'nishining o'zgarishi

Nolinchi dispersiyali to'lqin uzunligini surish maxsus turdagi W ko'rinishdagi sindirish ko'rsatkichlarini qo'llash, ya'ni optik tola o'zagini sindirish ko'rsatkichlari turlicha bo'lgan ko'p qatlamli qobiqlar bilan qoplash orqali hosil qilinadi. Ikki qatlamli qobiqlarni qo'llab DSF tolalari, to'rt qatlamli qobiqlarni qo'llab, 1300 nm dan 1650 nm to'lqin uzunligida dispersiya qiymati $|D|=1-6$ ps/nm·km bo'lgan NZDSF tolalari hosil qilingan.

Dispersiyaning to'lqin uzunligiga va qobiqlar soniga bog'liqligi 2.8- rasmda tasvirlangan [1].



2.8- rasm. Dispersiyaning to'lqin uzunligiga va qobiqlar soniga bog'liqligi: BQ- bir qobiq; IQ-ikki qobiq; TQ-to'rt qobiq

Hozirgi kunda "Korning", "Lyusent Texnologiz", "Alkatel", firmalarining standart bir modali tolalari keng tarqalgan. NZDSF tolalarida esa $\lambda = 1550$ nm da dispersiya noldan farqli, ishorasi bir xil va 2-4 ps/nm·km dan kichik bo'lmisligi kerak.

Hozirgi kunda "Korning" firmasi SMF-LS, LEAF, "Lyusent Texnologiz" True Wave deb belgilangan NZDSF tolalarini ishlab

chiqarmoqda. Dispersiya qiymati kichik bo'lganligi uchun bu tolalar to'lqin uzunligi bo'yicha zichlashtirilgan uzatish tizimlarida qo'llaniladi.

Bir tashuvchili DSF - nolga teng bo'lgan siljigan dispersiyali tolalardan SDH (asosan STM-16 va undan yuqori) tizimlarda foydalaniladi. "Fujikura" firmasining DSM 8/125, "Korning" firmasining SMF-DS shu turdagi tolalari ishlab chiqarilgan.

Bir modali standart SF tolalari qo'llanilganda dispersiya qiymatini kamaytirish kerak. Dispersiyaning kamaytirish, regeneratsiyalash seksiyasi uzunligini oshirish, 2,5 Gbit/s tezlikdan yuqori 10 Gbit/s tezlikka o'tish, shuningdek to'lqin uzunligi bo'yicha zichlashtirish usullaridan foydalanilganda dispersiyaning kompensatsiya qiluvchi - DCF (Dispersion Compensating Fiber) tolalarni yoki dispersiyaning kompensatsiya qiluvchi modullarni DCM (Dispersion Compensating Module) qo'llash kerak. Dispersiyaning kompensatsiya qilish usullari quyida batafsil yoritilgan.

2.3. Yorug'likning optik tola bo'ylab tarqalish qonuniyatlari

2.3.1. Yorug'likning sinish jarayoni

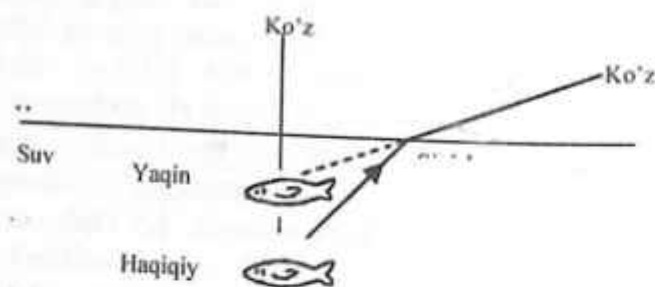
Optika qonuniyatlari yorug'lik nurining to'g'ri chiziqli tarqalishiga, tola muhiti bilan o'zaro ta'sirlashuviga va izotroplik xususiyatiga - muhitda barcha yo'nalishlarda yorug'likning bir xil tarqalishiga (shisha bir turdagi va izotropli muhit hisoblanadi) asoslangan. Bu qonuniyatlarga yorug'likning qaytish/sinish qonunlari va ularga asoslangan hodisalar ta'aluqli.

Yorug'lik bir materialdan boshqasiga o'tganda uning tarqalish tezligi o'zgaradi, ya'ni to'lqin nazariyasi nuqtadan bu xarakter to'g'ri yo'nalishining o'zgarishiga olib keladi. Bu hodisa - yorug'likning to'g'ri yo'nalishdan og'ishi sinish deb ataladi. Sinish hodisasini misollarda ko'rib chiqamiz.

Sinish hodisasiga baliq ovlashda ham duch kelinadi. Suv ostidagi baliqni ko'rganimizda, uning xaqiqiy joylashuvini emas, balki unga yaqin joylashuvini ko'ramiz (2.9-rasm).

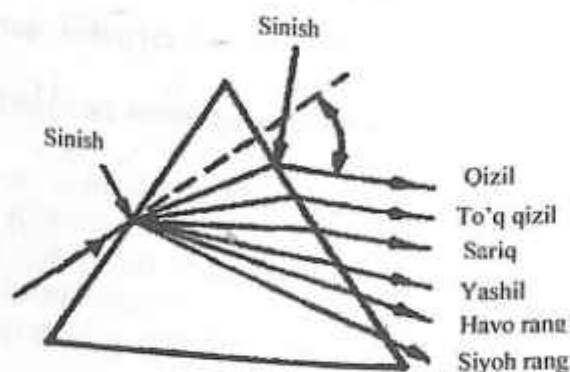
Agar baliqqa pastga vertikal qarasak, yorug'likning sinishi ro'y bermaydi va baliqning asl joylashgan joyini ko'ramiz. Agar unga burchak ostidan qarasak, sinish hisobiga asl joylashgan joyini

ko'rmaymiz, bunda baliq nazaramizdagi ko'rinishdan chuqurroqda joylashgan bo'ladi [2].



2.9-rasm. Yorug'likning sinishi

Sinish hodisasini prizmada ham ko'rish mumkin (2.10-rasm).



2.10-rasm. Prizmada yorug'likning sinishi

Prizmaga oq yorug'lik tushirilganda, prizma bu yorug'likni sindiradi va kamalakning turli ranglariga ajraladi. Qizil rang eng kuchli og'adi va kichik tarqalish tezligiga ega. Sinish prizma kirishida bo'lganidek, chiqishida ham xosil bo'ladi [2].

Optik toladan signallarning uzatilishida ham yuqorida ko'rib chiqilgan sinish hodisasi ro'y beradi. Bu quyida batafsil tushintirilgan.

2.3.2. To'liq ichki qaytish

Yorug'lik nuri sindirish ko'rsatkichi katta muhitdan sindirish ko'rsatkichi kichik muhitga o'tganda, ikki muhit chegarasida nur 2.11-rasmda tasvirlangandek perpendikulyardan og'adi. Tushish burchagi Θ_1 kichik bo'lganda (2.11,a-rasm) singan nur to'liq qobiqqa o'tib ketadi. Tushish burchagini oshirgan sari sinish burchagi Θ_2 90° ga intiladi. Sinish burchagi $\Theta_2 = 90^\circ$ ga teng bo'lgan xoldagi tushish burchagi – kritik burchak Θ_{kr} deyiladi. Yorug'lik nuri kritik burchak Θ_{kr} ostida tushganda singan nur ikki muhit chegarasi bo'ylab tarqaladi (2.11,b-rasm). Yorug'lik nuri kritik burchakdan katta burchak ostida tushganda, nur ikkinchi muhitga o'tmasdan, ikki muhit chegarasidan to'liq qaytadi (2.11,v-rasm). Bunda tushish burchagi sinish burchagiga teng $\Theta_1 = \Theta_2$ bo'ladi.

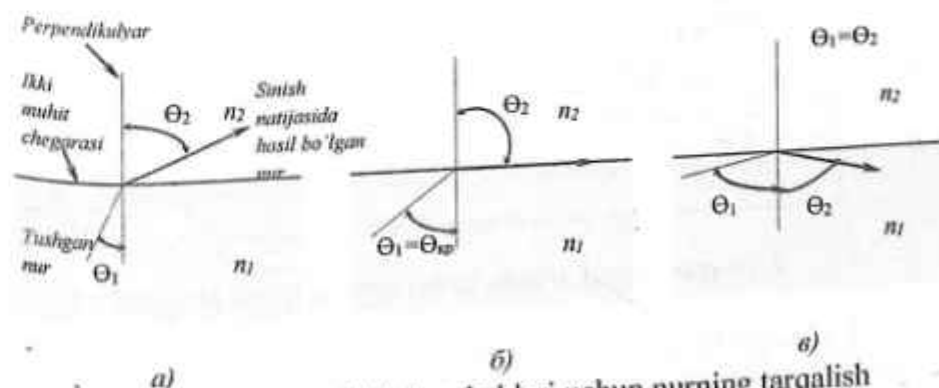
Snellius qonuni bo'yicha tushgan va qaytgan nurlar o'rtaidagi munosabat:

$$n_1 \sin \Theta_1 = n_2 \sin \Theta_2.$$

$\Theta_2 = 90^\circ$ da kritik tushish burchagi quyidagiga teng:

$$\Theta_{kr} = \arcsin(n_2 / n_1) \quad (2.2)$$

Θ_{kr} dan katta burchak ostida tushgan nurlar to'liq qaytadi.



2.11-rasm. Bir necha tushish burchaklari uchun nurning tarqalish yo'li, $n_1 > n_2$, bu erda n_1 va n_2 ikki turli muhitlarning sindirish ko'rsatkichlari

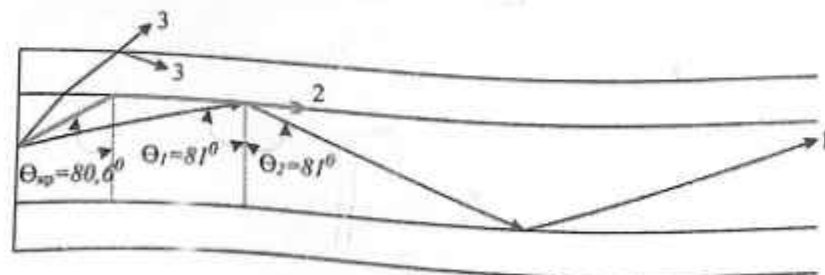
Bu jarayon, ya'ni yorug'lik energiyasining turli sindirish ko'rsatkichli ikki muhit chegarasidan to'liq qaytishi to'liq ichki qaytish (TIQ) hodisasi deyiladi. TIQ hodisasi yorug'lik uzatgich bo'ylab optik signallarni tarqalishining fizik asosi hisoblanadi. Uni amalga oshirish uchun optik tola o'zagining sindirish ko'rsatkichi n_1 qobiqning sindirish ko'rsatkichi n_2 dan katta bo'lishi kerak.

O'zak va qobiq tayyorlanadigan materiallarning sindirish ko'rsatkichlari nisbatini optimal tanlash orqali yorug'lik nurining o'zak ichida to'liq ichki qaytishi ro'y beradi va nurni faqatgina optik tola o'zagi bo'ylab zigzagsimon tarqalishi ta'minlanadi.

Masalan, optik tola uchun xos bo'lgan $n_1=1,48$, $n_2=1,46$ bo'lsa, u holda (2.2) qo'llab, kritik tushish burchagini aniqlash mumkin:

$$\Theta_{kr} = \arcsin(1,46 / 1,48) = \arcsin(0,9864) = 80,6^\circ.$$

Shunday sindirish ko'rsatkichlari nisbatiga ega, kritik tushish burchagi $\Theta_{kr}=80,6^\circ$ ga teng, tushish burchagi Θ_2 esa $\Theta_{kr}=80,6^\circ$ dan katta, masalan $\Theta_2=81^\circ$ bo'lganda nur ikkinchi muhitga o'tmay, boshlang'ich muhitda to'liq ichki qaytadi. Optik tola bo'ylab signallarning tarqalishi ana shu prinsipga asoslangan. Ana shunday sindirish ko'rsatkichlari, kritik chastota va tushish burchagi qiymatlariga ega optik tola orqali optik signallarning tarqalishi 2.12-rasmda ko'rsatilgan.



2.12-rasm. Optik tolada to'liq ichki qaytish jarayoni

2.12-rasmda kritik burchakdan katta burchak ostida $\Theta > \Theta_{kr}$ o'zak-qobiq chegarasiga tushgan nurlar (nur 1) chegarada to'liq ichki qaytadi. Tushish va sinish burchaklari teng $\Theta_1 = \Theta_2$ bo'lgani uchun,

nur 1 takroriy qaytishlarga uchrab, o'zak muhiti bo'ylab zigzaksimon tarqaladi.

Ideal xolda yorug'likning sochilishi va nolinci dispersiya bo'lmaganda nur 1 o'zak bo'ylab istalgan masofaga tarqalishi mumkin [1].

Nur 1 yo'naluvchi nur (moda) deyiladi. Nur 2 Θ_{kr} burchak ostida tushib, sinadi va o'zak-qobiq chegarasi bo'ylab tarqaladi.

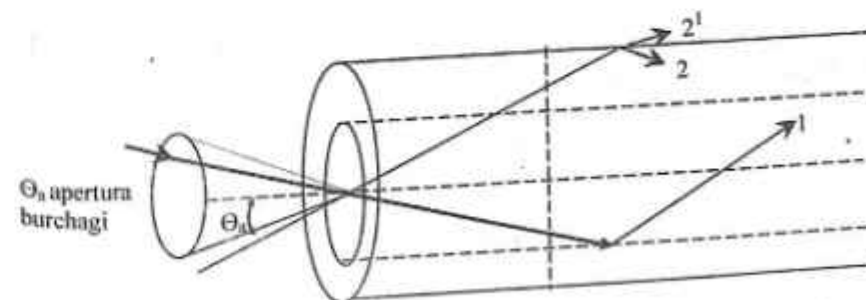
$\Theta < \Theta_{kr}$ ostida tushgan nur 3 sinadi va qobiq chegarasiga tushib, qobiq bo'ylab tarqalishida so'nadi yoki qobiqdan tashqariga chiqib ketadi. Ular nurlanuvchi nurlar deyiladi.

2.3.3. Sonli apertura

Optik tolaga bir emas, bir necha yorug'lik nurlarining yig'masi kirish konusini hosil qilib tushadi va faqat kritik burchakdan katta burchak ostida tushgan nurlargina OT o'zagi bo'ylab tarqaladi. Nurlarni tola o'zagiga maksimal tushish konusining yarim burchagi apertura burchagi - θ_a , kirish konusi $2\theta_a$ esa sonli apertura deyiladi (2.13-rasm). Sonli apertura NA bilan belgilanadi (inglizchadan Numerical Aperture) va o'zak, qobiq sindirish ko'rsatkichlari orqali quyidagi munosabatdan aniqlanadi:

$$NA_0 = \sin \theta_a = \sqrt{(n_1^2 - n_2^2)} = n_1 \sqrt{2\Delta_n} \quad \text{yoki} \quad (2.3)$$

$$NA_1 = k \sqrt{(n_1^2 - n_2^2)}$$



2.13-rasm. Optik tolaning apertura burchagi

(2.3) da adabiyotlarda uchrashi mumkin bo'lgan, sonli aperturani hisoblashning ikki formulasi berilgan. Ular sonli aperturaga yaqin qiymatlarini beradi. Birinchi formula nazariy, ikkinchisi esa amaliy hisoblashlar uchun ishlatiladi. Bu erda o'lchash usullariga bog'liq holda $k=0,98$ yoki $k=0,94$ (EIA-455-29 yoki EIA-455-44 standartlari bo'yicha mos ravishda).

Yuqoridagi 2.9-rasm uchun berilgan $n_1=1,48$, $n_2=1,46$ qiymatlar uchun, (2.3) formula bo'yicha sonli apertura qiymatlari: 0,242487 (nazariy) va 0,237637 ($k=0,98$) va 0,227938 ($k=0,94$) (amaliy) [1].

Sindirish ko'rsatkichlarining nisbiy farqi Δ_n quyidagiga teng:

$$\Delta_n = \frac{n_1^2 - n_2^2}{2n_1} \approx \frac{n_1 - n_2}{n_1}.$$

$\theta \leq \theta_a$ burchak ostida, ya'ni apertura burchagi doirasida tushgan nurlar (2.13-rasmdagi nur 1 mos keladi) to'liq ichki qaytib, optik tola o'zagi bo'ylab uzatiladi. $\theta > \theta_a$ apertura burchagi doirasidan katta burchak ostida tushgan nurlar sinib, o'zakdan qobiqqa o'tadi. Bu nurlar qobiq bo'ylab tarqalib, asta sekin so'na boshlaydi yoki qobiqdan chiqib ketadi (2.13-rasmdagi mos ravishda nur 2 va 2').

Apertura doirasiga mos keluvchi nurlar yo'naluvchi (nur 1), aperturadan tashqaridagi nurlar nurlanuvchi (nur 2 va 2') nurlar deyiladi. Aperturadan tashqaridagi qobiq bo'ylab tarqaladigan nurlar qobiq bo'ylab uzatiluvchi nurlar deyiladi [1].

Eng ko'p tarqalgan optik tolalarning parametrlarini tipik qiymatlari 2.2-jadvalda keltirilgan [15].

Optik tolalarning parametrlarini tipik qiymatlari 2.2-jadval

OT turi (kvars shishasi)	O'zak diametri, mkm	NA	Tola o'zagiga maksimal tushish burchagi, grad.	Δ_n
Ko'p modali OT	50 - 200	0,25 - 0,5	20 - 30	0,005 - 0,02
Bir modali OT	5 - 12	0,12 - 0,25	5 - 8	0,002 - 0,01

NA optik tolaning muhim xususiyati hisoblanib, yorug'lik nuri tolaga qanday kiritilishi va tarqalishini ko'rsatadi.

NA qiymati katta bo'lgan OT yorug'likni yaxshi qabul qiladi, NA kichik qiymatli optik tolalarga faqatgina tor yo'naltirilgan yorug'lik to'plamini kiritish mumkin.

Yuqori o'tkazish polosali OT kichik NA qiymatiga ega. Shu tarzda, ularda modalar soni kam, dispersiya kichik va ishchi o'tkazish polosasi keng bo'ladi.

NA katta qiymatga ega optik tolalarda mumkin bo'lgan yorug'lik yo'nalishlari, ya'ni modalar sonining ko'pligi natijasida modalararo dispersiya yuqori bo'ladi [2].

2.3.4. Yorug'lik nurining optik tola muhiti bilan ta'sirlashuvi

Yorug'lik elektromagnit to'lqin kabi optik tola moddasi bilan o'zaro ta'sirlashadi. Kvars shishasi bo'ylab tarqalish jarayonida yorug'lik elektronlar, molekulalar, ionlar va tola defektlari bilan o'zaro ta'sirda bo'ladi. Umumiy holda o'zaro ta'sirlashuv xarakteri turlicha bo'ladi. Tushayotgan yorug'lik - birlamchi to'lqin, zaryadlangan zarrachalar-elektronlarni, ya'ni elektrik izotrop molekulalarni ham tebranishga majbur etib, izotropik ko'rinishi bo'yicha birlamchi molekulalar bilan (yo'nalishi bo'yicha) mos keladigan, o'shanday chastotali ikkilamchi to'lqinlarni hosil qiladi.

Optik bir turdagi va izotrop muhitda birlamchi va ikkilamchi to'lqinlarning interferensiyasi (ustma-ust tushishi) natijasida o'tuvchi to'lqin hosil bo'ladi, uning fazali tezligi v_r chastotaga bog'liq.

Yorug'lik uzatgich moddasining elektrik va magnit xususiyatlari, uning yorug'lik to'lqinlari bilan o'zaro ta'sirlashuvini aniqlaydi va nisbiy dielektrik, magnit o'tkazuvchanlik ϵ , μ va solishtirma o'tkazuvchanlik bilan xarakterlanadi. Bunda to'lqinning fazali tezligi quyidagi munosabat bilan aniqlanadi:

$$v_\phi = c / \sqrt{\epsilon \cdot \mu} = c / n(\omega) \quad (2.4)$$

bu erda s -vakuumdagi yorug'lik tezligi, $n(\omega)$ - chastotaga bog'liq bo'lgan, muhitning sindirish ko'rsatkichi.

(2.4) dan ko'rinib turibdiki, fazali tezlik muhitning sindirish ko'rsatkichi n ga teskari proporsional [1].

2.3.5. Optik tolada hosil bo'ladigan modalar

Molekulalar bilan o'zaro elektromagnit ta'sirlashuv darajasida fazoviy E elektrik va N magnit maydonlar va qutblanish hodisasi hisobga olinadi, faqat aniq ma'lum yuzalarda mos ravishda (E , N) vektorlarning tebranishlarini ruxsat etuvchi, elektrik qutblanish R singari, magnit qutblanish V lar optik tolada ko'plab bir necha tebranish va moda turlarini hosil bo'lishiga olib keladi. Yorug'lik tebranishlarini tarqalishida quyidagi shartlarning saqlanishi hisobga olinadi: optik tolada yorug'likning to'lqin uzunligi $\lambda_{yo}=0,8-1,5$ mkm qiymatlarga, o'zak diametri $d_o=10\pm 60$ mkm qiymatlarga ega (ya'ni $\lambda_{yo} \ll d_o$ nisbat taxminan saqlanadi).

Tebranish yoki moda turlari Maksvell tenglamalar tizimining echimlari bilan aniqlanadi. Bunda optik tolani z bo'yлама o'qli idealssilindr sifatida keltirish mumkin (z_0 yorug'lik uzatgich boshlanishi hisoblanadi), x va y o'qlar esa ko'ndalang yuzada gorizontal (xz) va vertikal (yz) yuzalarni hosil qiladi. Bu koordinata tizimida to'lqinlarning 4 sinfi mavjud (E va N ortogonalligini hisobga olganda):

-ko'ndalang T: $E_z=N_z=0$; $E=E_y$; $N=N_x$;

-elektrik E: $E_z \neq 0$; $N_z=0$; $E=(E_y, E_z)$ - (yz) yuzada tarqaladi; $N=N_x$;

-magnit N: $N_z \neq 0$; $E_z=0$; $N=(N_x, N_z)$ - (xz) yuzada tarqaladi; $E=E_y$;

-aralash (gibrid) EN yoki NE: $E_z \neq 0$, $N_z \neq 0$; $E=(E_y, E_z)$, $N=(N_x, N_z)$ - (xz) va (yz) yuzalarda tarqaladi.

Maksvell tenglamalar tizimini echishdasilindrik koordinatalar (z , r , ϕ) ni qo'llash qulay, bunda echim E_z va N_z turdagi tarkibli to'lqinlar ko'rinishida topiladi:

$$E_z(r, \omega) = A(\omega) G'(\rho) \exp(im\phi) \exp(-\beta z),$$

$$N_z(z, \omega) = V(\omega) G'(\rho) \exp(im\phi) \exp(-\beta z),$$

bu erda $A(\omega)$ va $V(\omega)$ -normallashtiruvchi doimiylar, $G'(\rho)$ -noma'lum funksiya, β -modaning tarqalish doimiysi.

$G'(\rho)$ uchun yechimlar o'zak uchun Besselning $K_m(k_{qob}\rho)$ modifikatsiyalangan funksiyalardan va o'zak uchun Besselning $J_m(k_o\rho)$ sodda m funksiyalarning to'plami ko'rinishida olinadi. β parametr o'zak va qobiq chegarasida E_z va N_z maydon komponentlarning tangensial tashkil etuvchilarining uzluksizligini talab etuvchi, chegaraviy shartlar ustma-ust tushganda olinadigan xarakteristik tenglamalar echimi sifatida aniqlanadi. O'z navbatida xarakteristik tenglama har bir to'liq m uchun n echimlardan iborat (n butun indekslar) to'plamlarini beradi, ya'ni har bir aniq modaga mos keluvchi β_{mn} xususiy qiymatlarga ega bo'linadi. Natijada modalar to'plami ($m \cdot n$ matritsa) shakllanadi, ularni tanlash ikkilangan indeksni qo'llashga asoslangan.

Aniqlanishcha, optik tolada ikki turdagi NE_{mn} va EN_{mn} modalar mavjud. $m>0$ da gibrid modalarga, $m=0$ da esa TE_{01} va TN_{01} ko'ndalang modalarga ega bo'lamiz.

O'zak diametri kichraygan sari, yorug'lik oqimlarining kesishishi kamayadi, hamda tolada yuzaga keladigan modalar yoki turli xil tebranishlar soni ham (Maksvell tenglamalar echimi bilan aniqlanadigan) kamayadi. Bir modali tolada faqat bitta asosiy moda deb ataladigan gibrid NE_{11} moda uzatiladi. Ko'p modali toladan esa turli ko'ndalang va gibrid modalar uzatiladi.

Ko'rsatilgan modalarning hammasini ham hosil qilib bo'lmaydi. Qaysi modalar hosil bo'lishini tushuntirish uchun, etarlicha murakkab taxlil olib borish kerak [1].

2.3.6. Kritik chastota va modaning normallashtirilgan chastotasi

Yuqorida keltirilgan $G'(\rho)$ yechim $k\rho$ argumentdan funksiya hisoblanadi, bu erda («kappa») vektor $k=(k_o, k_{qob})$ k_o va k_{qob} tashkil etuvchilarga ega bo'lib, $k_o^2 = k_o'^2 - \beta^2$ va $k_{qob}^2 = \beta^2 - k_{qob}'^2$ sifatida aniqlanadi, ya'ni o'zak va qobiq to'lqin vektorlarining («k») ko'ndalang tashkil etuvchilari (k_o' va k_{qob}'). Chunki k_o' va k_{qob}' yoki k_o va k_{qob} quyidagi munosabat bilan bog'langan:

$$\kappa_y^2 + \kappa_{\text{qob}}^2 = k_y^2 - k_{\text{qob}}^2 = NA_0^2 \cdot k_0^2, \quad (2.5)$$

bu erda $k_0 = 2\pi / \lambda_0$ - to'lqin vektori, $k_y^2 = n_1^2 \cdot k_0^2$, $k_{\text{qob}}^2 = n_2^2 \cdot k_0^2$ - mos ravishda o'zak va qobiqning to'lqin vektorlari.

Muhim amaliy tushunchalardan biri kritik chastota f_{kr} (kesish chastotasi f_{kes} deb ham ataladi) hisoblanadi. Kritik chastota bu shunday chegaraviy chastotaki, undan quyi chastotalarda ma'lum indeksli modalarning vujudga kelishi mumkin emas. Optik tola uchun teskari kattalikni ishlatish qulay: o'zakning kesish to'lqin uzunligi $\lambda_{kes} = s/f_{kes}$.

$k_{qob}=0$ shartni hisobga olsak, u holda (2.5)dan $k_0 = NA_0 \cdot k_{qob}$ olinadi va kesish to'lqin uzunligini aniqlash mumkin.

k_0 o'rni $k_0 = 2\pi f_{kes}/s = 2\pi/\lambda_{kes}$ ni qo'yib, surat va maxrajini r_0 - o'zak radiusiga ko'paytirib quyidagiga ega bo'lamiz:

$$\lambda_{kes} = \pi \cdot d_0 \cdot NA_0 / k_0 \cdot r_0. \quad (2.6)$$

Normallashtirilgan chastota $V = \sqrt{(\kappa_y \cdot r_y)^2 + (\kappa_{\text{qob}} \cdot r_y)^2}$ tushunchacini kiritdik (normallashtirish k_p bo'yicha o'zak va qobiq chegarasida o'rtacha geometrikni ishlatish bilan, amalga oshiriladi: $p=r_0$), unda k_0 va k_{qob} qiymatlarni qo'yib ushbu ifodani hosil qilamiz:

$$V = k_0 \cdot r_0 \cdot NA_0. \quad (2.7)$$

Agar kesish sharti bajarilsa, unda $V_{kes} = k_0 \cdot r_0$, u holda (2.6)ni quyidagi ko'rinishda yozish mumkin:

$$\lambda_{kes} = \pi \cdot d_0 \cdot NA / V_{kes}. \quad (2.8)$$

Kesishning normallashtirilgan chastotasini har bir moda uchun β parametr orqali ifodalangan xarakteristik tenglamadan aniqlash mumkin. Quyidagi jadvalda bir modali va ko'p modali tolalarda mavjud bo'lgan TE_{0m} , TH_{0m} va HE_{1m} modalar uchun V_{kes} qiymatlari berilgan.

2.3-jadval

Kesishning normallashtirilgan chastota qiymatlari

M	V_{m1}	V_{m2}	V_{m3}	To'lqin turi
0	2,405	5,520	8,654	TE_{0m} , TH_{0m}
1	0	3,832	7,016	HE_{11}

Jadvaldan ko'rinib turibdiki HE_{11} asosiy moda uchun $V_{kes}=V_{11}=0$ ga teng, bunga mos holda $\lambda_{kes}=\infty$, bu shuni bildiradiki, bir modali optik tola uchun λ_0 ni tanlashda chegara rasman mavjud emas. Biroq, haqiqatda bir modali optik tola uchun $V_{kes} < 2,405$ bo'lishi kerak, ya'ni bir modalidan ko'p modaliga o'tishda, masalan d_0 oshishi hisobiga, birinchi navbatda kichik indeksli TE_{01} va TH_{01} modalar hosil bo'ladi, ular uchun $V_{01}=2,405$.

Misol. Korning kompaniyasining o'zak diametri $d_0=8,3$ mkm, $NA_0=0,13$; $n_1=1,4675$ ga teng bir modali optik tolasini uchun (2.8) formulani qo'llab kesish to'lqin uzunligini aniqlaymiz.

$$\lambda_{kes} = \pi \cdot d_0 \cdot NA / V_{kes} = 3,14 \cdot 8,3 \text{ mkm} \cdot 0,13 / 2,405 = 1,409 \text{ mkm}.$$

$\lambda_{kes}=1409$ nm ga ega bo'ldik. Nazariy jihatdan bu bunday tola orqali faqat $\lambda > 1409$ nm uchun bitta moda uzatilishini, 1409 nm dan kichik $\lambda=1300$ nm uchun esa bir necha modalarni uzatilishini, ya'ni ko'p modali optik tola ekanligini anglatadi. Ishchi to'lqin uzunligi λ , kesish to'lqin uzunligidan kichik $\lambda < \lambda_{kes}$ bo'lsa, optik tola ko'p modali rejimda ishlaydi.

Biroq, bevosita kabelda kesish to'lqin uzunligining amaliy o'lchangan qiymati $\lambda_{kes}=1260$ nm ga teng va shuningdek $\lambda=1300$ nm va undan yuqori to'lqin uzunligida tola xaqiqatdan bir modali rejimida ishlashi mumkin. Bundan xulosa qilish mumkinki, kabelda joylashgan tola uchun kesish to'lqin uzunligi λ_{kes} kamayadi (misolda 10,5% ga) [1].

Optik tola deformatsiyalanishi natijasida, bukilish joylarida yo'naluvchi modalar uchun (asosiy modadan tashqari) to'liq ichki qaytish sharti buzilishi va ba'zi modalar yo'qolishi mumkin. Bu shuni bildiradiki, optik kabelda va ulagichlarda kesish to'lqin uzunligi (2.8)ga nisbatan qisqa to'lqin uzunliklari tomon siljiydi [16].

E maydon HE_{11} asosiy to'liqin uchun bir modali optik tolada rasman 3 tashkil etuvchiga ega: E_x, E_y, E_z . Haqiqatda ikki ko'ndalang tashkil etuvchilari (E_x, E_y) dan biri, ya'ni asosiy to'liqin chiziqli qutblangan bo'lib chiqadi va ko'p hollarda LR_{01} to'liqin sifatida yoziladi [1].

2.3.7. Moda maydoni diametri

Yuqorida olingan nazariya va amaliyotni farq qilish bir qator sabablar bilan tushuntiriladi. Ulardan biri moda maydoni ko'ndalang tashkil etuvchilarning $G(x, y)$ (ya'ni optik tolaning ko'ndalang xy-kesimi yuzasida) haqiqiy tarqalishidir. Aniq echimlarning murakkabligi sababli ko'ndalang moda maydoni (shuningdek modali dog deyiladi)

$$G(x, y) = \exp\{-(x^2 + y^2)/r_{mm}\}, \quad (2.9)$$

ko'rinishdagi gaussov egriligi bilan approksimatsiyalanadi. Bu erda r_{mm} - moda maydonining haqiqiy radiusi.

Amaliyotda ko'rsatilgan gaussov egrilik kengligi bo'yicha maksimumdan $1/e(0,369)$ satxda ko'ndalang maydonning taqsimlanishi bilan o'lchanadigan, moda maydoning diametri d_{mm} yoki o'lchami o'zak diametri d_o dan katta. Ishlab chiqaruvchilar o'zakning fizik diametriga ekvivalent bo'lgan, moda maydoni diametri - d_{mm} ning o'lchangan qiymatini bir modali optik tolaning normaga solingan parametri sifatida keltirishadi. Tipik bir modali optik tola uchun d_{mm} etarlicha murakkab holda to'liqin uzunligiga bog'liq bo'lib, 1150 nm orliqda maksimum (12,7 mkm) ga, 1230 nm orliqda - minimum (9,4 mkm) ga ega (minimumga teng to'liqin uzunligi kritik to'liqin uzunligi λ_{kr} ham deyiladi) va bu to'liqin uzunligidan katta to'liqin uzunliklariga tomon chiziqli o'sib boradi [1].

2.3.8. Ko'p modali optik tolada modalar soni

Ko'p modali optik tolada yuzaga keladigan modalar soni N ni normallashtirilgan chastotani qo'llagan holda ham baholash mumkin. U $N = V^2 / \{2/(1 - 2/M)\}$ formuladan aniqlanadi, bu erda M - ni

profilining egri o'zgarishining daraja ko'rsatkichi (∞ -pog'onali profil uchun va 2-gradientli profil uchun), yoki

$$\begin{aligned} N &= V^2/2 \quad (M=\infty \text{ uchun}) \\ N &= V^2/4 \quad (M=2 \text{ uchun}), \end{aligned} \quad (2.10)$$

bu erda $V = \pi \cdot d_o \cdot NA_0 / \lambda_0$.

Misol. Keng foydalaniladigan, o'zak diametri minimal 50 mkm bo'lgan ko'p modali optik tola uchun, $\lambda_0 = 1300$ nm nurlanish to'liqin uzunligiga va $NA_0 = 0,20$ teng bo'lsa, (2.10) formuladan foydalanib, modalar sonini aniqlaymiz.

Pog'onali ko'p modali optik tola uchun uchun $N = 292$ ga teng, gradientli ko'p modali optik tola uchun uchun $N = 146$ ga teng.

Modalar soni ishlab chiqaruvchilar tomonidan normaga solinmaydi, lekin uni kamaytirish uchun kichik diametrlilik ko'p modali optik tolalarga o'tiladi: 200-100-62,5-50 mkm. Bu tolalarda (50 mkm) so'nish hozirda 0,5-0,8 dB/km qiymatgacha kamaytirilgan [1].

2.4. Optik tolaning asosiy fizik parametrlari. Optik toladagi so'nish hodisasi

Optik signal tola orqali uzatilganda yorug'lik to'liqlarining tola muhiti bilan chiziqli va nochiziqli o'zaro ta'siri natijasida signal quvvatining yo'qolishidan optik signal so'nadi. Ulardan asosiylari yorug'lik nurining yutilishi va sochilishi hisoblanadi. Bunda so'nishni o'zgarish qonuni quyidagi umumiy ko'rinishga ega:

$$P = P_0 \exp(-\alpha \cdot L), \quad (2.11)$$

bu erda P_0 - tolaga kiritiladigan quvvat;

L - tola uzunligi;

α - so'nish doimiysi yoki toladagi yo'qotishlar.

Bu munosabatni qo'llab solishtirma yo'qotishlarni dB/km da baholash ifodasini olishimiz mumkin [1]:

$$\alpha_{\text{solishtirma}} = - (10/L) \cdot \lg(P/P_0) = 4,343 \alpha. \quad (2.12)$$

Umumiy holda soʻnish optik signallarning sochilishi va yutilishidan hosil boʻluvchi yoʻqotishlar va kabel yoʻqotishlaridan yuzaga keladi.

Yutilish va sochilishdan hosil boʻladigan yoʻqotishlar xususiy yoʻqotishlar, kabel yoʻqotishlari esa qoʻshimcha yoʻqotishlar deyiladi.



2.14-pacm. Toladagi yoʻqotishlarning asosiy turlari

Tola yoʻqotishlarini toʻliq ularning yigʻindisi koʻrinishida yozishimiz mumkin:

$$\alpha = \alpha_x + \alpha_k = \alpha_{yu} + \alpha_s + \alpha_k, \text{ (dB/km)}. \quad (2.13)$$

2.4.1. Optik tolaning xususiy yoʻqotishlari

Xususiy yoʻqotishlarga yutilish va sochilishdan hosil boʻladigan yoʻqotishlar kiradi. Yutilishdan hosil boʻladigan yoʻqotishlar ichki va tashqi boʻladi.

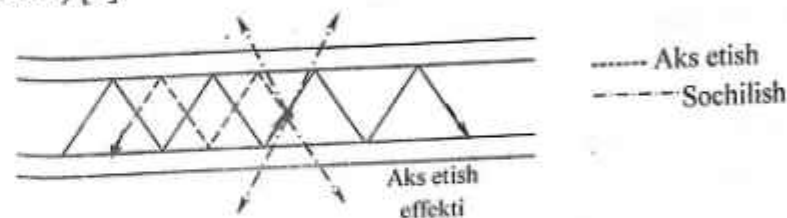
Ichki yutilish yoʻqotishlarini toza kremniy materiali hosil qilishi mumkin. Xar bir material molekulyar tuzilishiga koʻra maʼlum toʻlqin uzunliklarida signallarni yutishi mumkin. Masalan, SiO_2 ni ultra binafsha diapazonda $\lambda < 0,4$ mkm toʻlqin uzunligida elektron rezonanslari mavjud. Shuningdek, infraqizil diapazonda $\lambda > 7$ mkm toʻlqin uzunligida tebranuvchi rezonanslari mavjud. Demak bu rezonanslar yutish polosasi koʻrinishida mavjud boʻladi. Ikkinchi va uchinchi oynalarda yutilishning bu turi 0,03 dB/km dan koʻp boʻlmagan yoʻqotishlarga olib keladi.

Tashqi yutilish yoʻqotishlari yorugʻlikning tola qoʻshimchalarida yutilishidan hosil boʻladi. Zamonaviy ishlab chiqarish texnologiyalari bu yoʻqotishlar taʼsirini juda kichik darajaga kamaytirgan. Bu yoʻqotishlarni quyidagi qoʻshimchalar hosil qiladi: temir, mis, nikel, magniy, xrom. Zamonaviy ishlab chiqarish jarayonida bu metallarning tarkibi bir milliard qismgacha kamaytirilgan. Shuning uchun ular umumiy tashqi yutish yoʻqotishlarining juda kichik qismini tashkil etadi. Bulardan farqli ravishda gidroksil ion (OH) lar qoldigʻining mavjudligi, yaʼni ishlab chiqarish jarayonida tolada suv qoldiqlarining qolishi tashqi yutish yoʻqotishlarini sezilarli darajada oshiradi. Optik tola tarkibida OH ionlari birni yuz milliondan kam qismini tashkil etish kerak.

Zamonaviy optik tolalarda mikroqoʻshimchalar miqdori juda kichikligi uchun tashqi yutilish yoʻqotishlari minimal boʻlib, ularni hisobga olmasa xam boʻladi. Lekin OH konsentratsiyasi birdan million qismni tashkil etganda, 1390 nm toʻlqin uzunligida yoʻqotishlar 50 dB boʻlishi mumkin [3].

Nurning sochilishidan xosil boʻladigan yoʻqotishlar ichki yoʻqotishlar hisoblanib, optik tola oʻzagining defektlari: xavo puffakchalari, yoriqlar, tolaning bir turda emasligi, yaʼni qoʻshimchalar qoʻshilishidan shisha zichligining tasodifiy oʻzgarishi tufayli yuzaga keladi. Bu omillar yorugʻlik oqimi yoʻnalishini oʻzgartirib, ogʻishiga olib keladi, natijada sinish burchagi oshib, yorugʻlik nuri qobiqdan tashqariga sochilib ketadi.

Bundan tashqari optik tolaning bir turda emasligi, yaʼni qoʻshimchalar mavjudligi yorugʻlik oqimining maʼlum qismini teskari tomonga aks etishiga - teskari sochilishga olib keladi (2.15 - rasm) [3].



2.15 - rasm. Optik tolada yorugʻlikning sochilishi va aks etishi

2.4.2. Kabel yo'qotishlari

Kabel yo'qotishlari makrobukilishlar va mikrobukilishlar hisobiga hosil bo'ladi.

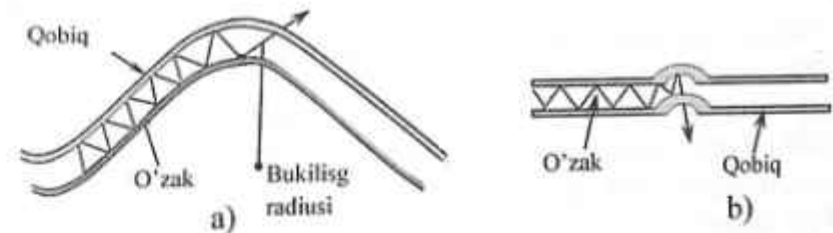
Makrobukilishlar. Minimal ruxsat etilgan radiusdan oshgan katta bukilishlarga makrobukilishlar deyiladi. Bir modali optik tolalarni bukishning ruxsat etilgan minimal radiusi 10 sm ni tashkil etadi. Bunday bukilishda yorug'lik impulslari kuchsiz buzilish bilan tarqaladi. Bukilish radiusining kamayishi, tolani ruxsat etilgandan ortiq bukish optik impulslarning tola qobig'i orqali sochilish effektini oshiradi [3].

Ishlab chiqaruvchilar tomonidan kabelning minimal bukish radiusi ko'rsatilgan bo'lishi kerak. Kabel (katushka) g'altakka o'ralganda, albatta g'altak radiusi bo'yicha bukiladi. Kabel binolarda yotqizilganda, u bino burchaklarida bukilishi mumkin. Kabelni yotqizuvchi bukish radiusini minimal ruxsat etilgan qiymatdan kamaytirmasligi, ortiqcha bukmasligi kerak. Tolali optik kabelni ruxsat etilgan chegaradan kuchli bukib, kabelni yaroqsiz qilish, xattoki kabelda tolalarni uzilishiga olib kelish mumkin. Bu ham tola so'nishining oshishiga sezilarli ta'sir etishi mumkin. Makrobukilishlar 2.16,a-rasmda ko'rsatilgan [4].

Mikrobukilishlar. Mikrobukilishlar bu ishlab chiqarish jarayonida tola o'zagi geometriyasining mikroskopik o'zgarishi, tolani etarli tekis bo'lmagan tashqi himoya qoplamalari bilan qoplanishi natijasida o'zakni o'q markazida joylashmasligi, o'qqa nisbatan qiyshiq joylashishidan, ya'ni tolani mukammal emasligidan yuzaga keladi.

Mikrobukilishlar kabeldagi yo'qotishlarini oshiradi. Bu yo'qotishlar juda katta bo'lishi va ba'zi hollarda 100 dB/km dan ham oshishi mumkin. Mikrobukilishlar 2.16,b-rasmda ko'rsatilgan [4].

Ishlab chiqarilgan optik tolani mukammal emasligi, tola geometriyasining o'zgarishlari tolalarni oson, tez va sifatli payvandlanmasligiga olib keladi.

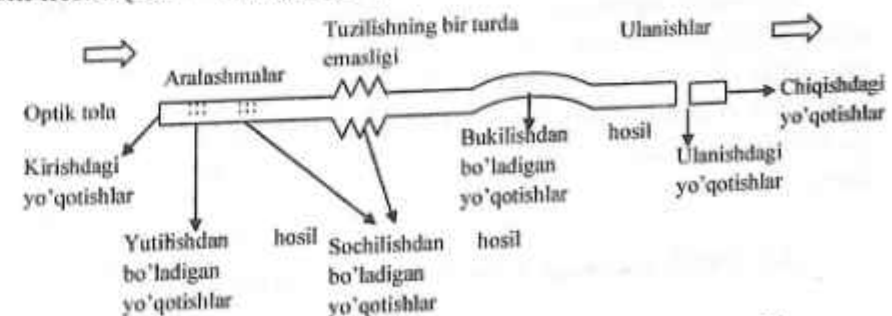


2.16-rasm. Optik tolani makrobukilishlari (a) va mikrobukilishlari (b)

Payvandlashda, tolalarni ulashda yo'qotishlarga olib olib keladigan sabablar quyidagilar:

- tola o'zaklari o'lchamlarining moslashmaganligi;
- tolalarni sindirish ko'rsatkichlarining farqlanishi;
- tolalarni ulashda uzunasiga o'qlarning chatishmasligi;
- tolalarning burchak aperturalarini farqlanishi;
- tolalarni zich ulamaslikdan havo puffakchalarini hosil bo'lishi.

Bu omillarni barchasi so'nishni, yo'qotishlarni oshiradi. So'nish va yo'qotishlarni kamaytirish uchun ishlab chiqarish jarayonida tola geometriyasining yuqori aniq bo'lishiga katta e'tibor berish kerak. Buning uchun ishlab chiqarishda o'zakni qobiq shishasida markazlashgan holda joylashishiga, ishlab chiqarilgan tolalarning diametrlarini bir xil bo'lishiga, tolani bukilishlariga katta talablar qo'yiladi. Optik tolani to'liq so'nish ko'effitsientini aniqlash uchun yuqorida aytilgan barcha omillar e'tiborga olinishi kerak (2.17 - rasm) [3].



2.17 - rasm. Optik signalni uzatish sifatiga ta'sir qiluvchi omillar

Optik nurlanishni berilgan to'lqin uzunligi uchun so'nish koeffitsienti tolaga kiritiladigan optik quvvatni toladan qabul qilingan optik signal quvvatiga nisbati orqali aniqlanadi. Odatda so'nish koeffitsienti detsibelda (dB) o'lchanadi va optik tola parametrlariga, shuningdek to'lqin uzunligiga ham bog'liq. So'nishni to'lqin uzunligiga bog'liqligi noxiziqli xarakterga ega bo'lib, bu bog'lanish grafigi 2.7-rasmda ko'rsatilgan edi. Turli to'lqin uzunliklari uchun so'nish qiymatlari 2.4-jadvalda berilgan.

Birinchi shaffoflik oynasi keng polosali yorug'lik nurlanish manbalari va qisqa to'lqinli lazerdan foydalanib, signallarni yaqin masofalarga uzatishda qo'llaniladi.

2.4 – jadval

Turli to'lqin uzunliklari uchun so'nish qiymatlari		
Shaffoflik oynalari	To'lqin uzunligi λ , mkm	So'nish α , dB/km
1	0,85	2-3
2	1,3	0,4-1,0
3	1,55	0,2-0,3

Ikkinchi shaffoflik oynasining to'lqin uzunliklari telekommunikatsiyada ko'p qo'llaniladi. Bu oyna nisbatan kam so'nish koeffitsientiga ega bo'lib, bu diapazonda signallarni uzatish uchun keng polosali optik nurlanish manbalari ishlatiladi. Buning asosiy sababi ushbu diapazonda kvars shishasi minimal xromatik dispersiya qiymatiga ega bo'lib, u arzon nurlanish manbalaridan foydalanish imkonini beradi.

Uchinchi oynaning asosiy afzalligi so'nish koeffitsientining minimalligi hisoblanadi. Biroq yuqori tezlikli tizimlarning oqimlarini uzatishda dispersiya qiymati oshib ketadi. Dispersiya qiymatini kamaytirish uchun dispersiyani kompensatsiya qiluvchi qurilmalarni qo'llanilishi talab etiladi, bu esa tolali optik aloqa tizimlarining narxini oshiradi.

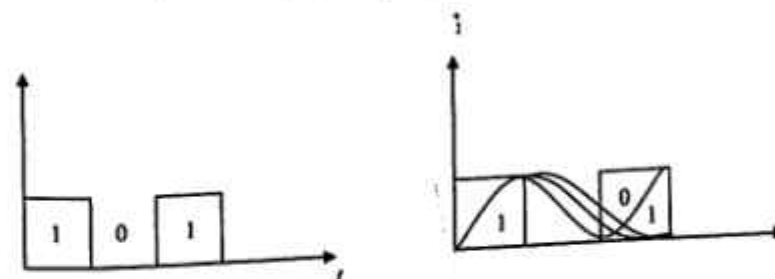
2.5. Optik toladagi dispersiya hodisasi va uning turlari

Optik tolada signallarni uzatish sifatiga ta'sir qiluvchi eng muhim omillardan biri dispersiya hisoblanadi. Dispersiya bu

yorug'lik impulslari oxirlarining cho'zilishi, ya'ni impulslarning kengayishidir. Impulslar kengayib, bir birini qoplaydi, simvollararo buzilishlar yuzaga keladi va qabul qilishda impulslar ketma-ketligidan uzatilgan foydali informatsiyani ajratib bo'lmay qoladi (2.18-rasm).

Dispersiya o'tkazish qobiliyatini kamaytirib, optik tizimlarning ish tezligini chegaralaydi. Dispersiya – impulslarning kengayishi, L uzunlikli kabelning kirish va chiqishdagi impulslar davomiyligining kvadratik farqi sifatida quyidagi formuladan aniqlanadi:

$$\tau(L) = \sqrt{t_{chiq}^2 - t_{kir}^2} \quad (2.14)$$



2.18 –rasm. Optik tolada impulslarning kengayishi

Dispersiyaning quyidagi turlari mavjud.



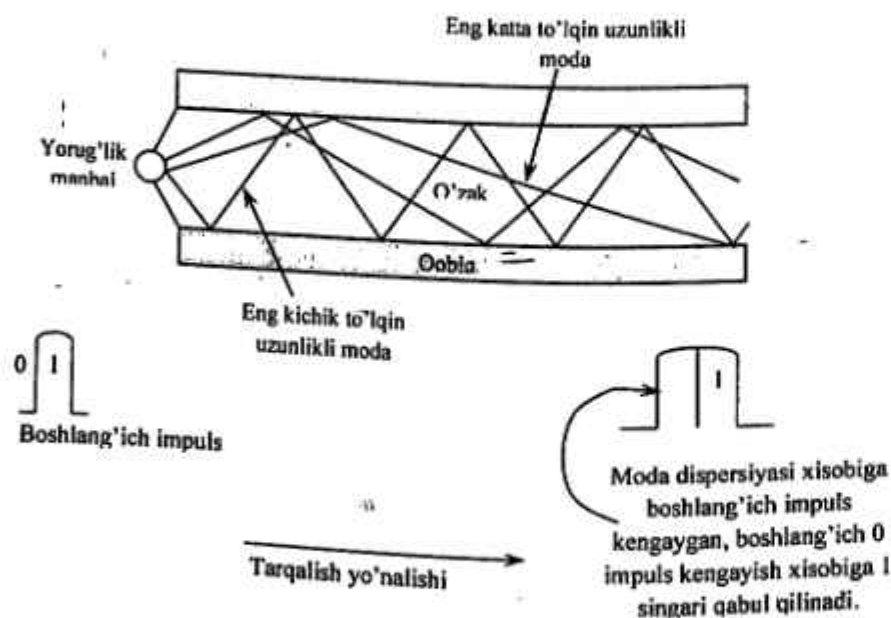
2.19 – rasm. Dispersiya turlari

Odatda dispersiya bir kilometr hisobida me'yorlashtiriladi va ps/km da o'lchanadi.

2.5.1. Modalararo dispersiya

Modalararo dispersiya tola bo'ylab modalarni turli yo'nalishlarda turli vaqtda tarqalishi bilan bog'liq. Ko'p modali tolaga sonli apertura burchagi doirasida bir necha ruxsat etilgan modalar kiritilishi mumkin (2.19-rasm) [4].

Modalar turli yo'nalishlarda tarqaladi va uzatuvchi manbadan qabul qilgichga turli vaqtlarda etib keladi. 2.19-rasmida eng katta to'lqin uzunlikli moda 2 ta qaytishga ega bo'lsa, eng kichik to'lqin uzunlikli moda tolaning shu kesimida 7 ta qaytishga ega. Natijada kichik to'lqin uzunlikli moda energiyasi katta to'lqin uzunlikli moda energiyasiga qaraganda kechikadi.



2.19-rasm. Ko'p modali optik tola kesimida yorug'lik manbaidan berilayotgan uchta modaning tarqalishi ko'rsatilgan (ideallashtirilgan rasm)

Qabul qilingan impulsar yig'indisida bir impulsni qo'shni impuls intervalig: tushishidan qo'shni impuls xato qabul qilinadi. Modalararo dispersiya ko'p modali uzatish tizimlarining kamchiligi

hisoblanadi. Bu turdagi dispersiya buzilishlarini bir modali tolalarni qo'llash orqali bartaraf etish mumkin. Chunki undan faqat bitta asosiy moda uzatiladi.

2.5.2. Xromatik dispersiya

Xromatik dispersiya ham dispersiyaning boshqa turlari kabi impulslarning kengayishi tufayli hosil bo'ladi. Xromatik dispersiyani material va to'lqin uzatuvchi (tola) dispersiyalarining yig'indisi tashkil etadi:

$$D_x = D_m + D_t. \quad (2.15)$$

Xromatik dispersiya pikosekund/nanometr*kilometr (ps/nm·km) da o'lchanadi. (1 ps = $1 \cdot 10^{-12}$ s, 1 nm = $1 \cdot 10^{-9}$ m). Bu 1 nm kenglikdagi impulsni 1 km uzunlikdagi tola orqali o'tgandagi ps da kengayishidir. Masalan: bir modali standart tolalarda 1550 nm to'lqin uzunligida xromatik dispersiya qiymati 17 ps/nm·km atrofida bo'ladi. Dispersiyaning bu turi bir modali tolalarga ham, ko'p modali tolalarga ham xos. Lekin bir modali tolalarda ko'proq namoyon bo'ladi.

2.5.3. Material dispersiyasi

Material dispersiyasi to'lqin uzunligini tola materialining sindirish ko'rsatkichiga bog'liqligi bilan aniqlanadi. Natijada tola materiali orqali turli to'lqin uzunliklari turli tezliklarda uzatiladi.

Optik tola asosan kvars shishasidan (SiO_2) ishlab chiqariladi. 1-Xar bir to'lqin tola materialidan turli tezliklarda uzatiladi. 1-shaffoflik oynasida katta to'lqin uzunliklari katta tezlikda, qisqa to'lqin uzunliklari kichik tezliklarda uzatiladi. Masalan: 865 nm to'lqin uzunligi 835 nm ga nisbatan katta tezlikda uzatiladi.

Bunga teskari 3-shaffoflik oynasida qisqa to'lqin uzunliklari katta tezlikda, uzun to'lqin uzunliklari nisbatan kichik tezlikda uzatiladi. Masalan: 1535 nm to'lqin uzunligi 1560 nm ga qaraganda tezroq uzatiladi.

2-shaffoflik oynasining 1310 nm to'lqin uzunligi nol dispersiyali to'lqin uzunligi deyiladi. Chunki 1310 nm to'lqin uzunligida kvars shishasini sindirish ko'rsatkichi minimal.

Material dispersiyasi bir modali optik tolalarda dispersiyaning asosiy tashkil etuvchisi hisoblanadi. Uzatish tizimlarining tezliklari oshgan sari bitlar orasidagi interval kamayadi, natijada dispersiya oshadi.

2.5.4. To'lqin uzatish bilan bog'liq dispersiya

To'lqin uzatish bilan bog'liq (tola) dispersiya – bu impulslarning tarqalish tezligini to'lqin uzunligiga bog'liqligidir. Dispersiyaning bu turi tolaning geometrik formasiga va sindirish ko'rsatkichlari profiliga bog'liq.

Xar qanday real nurlanish manbalari ma'lum chastota polosasida to'lqin uzunliklarini nurlantiradi desak, turli to'lqin uzunligiga ega yorug'lik impulslari toladan turli vaqt bo'yicha kechikib keladi. Natijada boshlang'ich impulslar buziladi. Signallarning turli to'lqin uzunligida turli tezliklarda uzatilishi yuqorida keltirilgan edi.

Shuningdek, yuqorida aytib o'tilgandek 1310 nm to'lqin uzunligida dispersiya qiymati minimal bo'lib, nolga teng, lekin so'nish qiymati katta. Shuning uchun ham dispersiya, ham so'nish qiymatlarini kamaytirish maqsadida dispersiyaning nol qiymati so'nish qiymati kichik bo'lgan 3-tiniqlik oynasiga surilgan. Bu kvars shishasini legirlash yordamida amalga oshiriladi. Bunday tolalar siljigan dispersiyali tolalar deyiladi. Bu tolalardan yuqori tezlikli tizimlarda, shuningdek oraliq punktlar soni kam bo'lgan signallarni uzoq masofalarga uzatishda qo'llaniladi.

2.20-rasmda turli tolalar uchun xromatik dispersiya qiymatining to'lqin uzunligiga bog'liqligi keltirilgan [4].

Uzatish liniyasining xromatik dispersiyasi qiymati quyidagilarga sezgir:

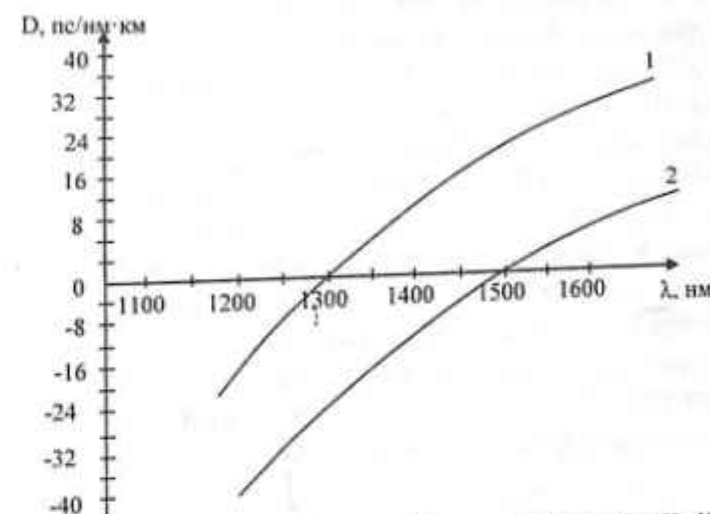
- tandem bog'lanishlar sonining va uzatish liniyasi uzunligining oshishiga;

- uzatish tezligining oshishiga.

WDM to'lqin uzunligi bo'yicha zichlashtirilgan tizimlarda xromatik dispersiyaga quyidagilar ta'sir qiladi:

- kanallar orasidagi qadamning kamayishi;

- kanallar sonining oshishi. Xromatik dispersiyani kamaytirish uchun dispersiyani kompensatsiyalash usullaridan foydalaniladi.



2.20 – rasm. Xromatik dispersiyaning to'lqin uzunligiga bog'liqligi:

- 1 – toza kvars shishasini xromatik dispersiya xarakteristikasi;
- 2 – siljigan dispersiyali tolani xromatik dispersiya xarakteristikasi

2.5.5. Qutblangan moda dispersiyasi

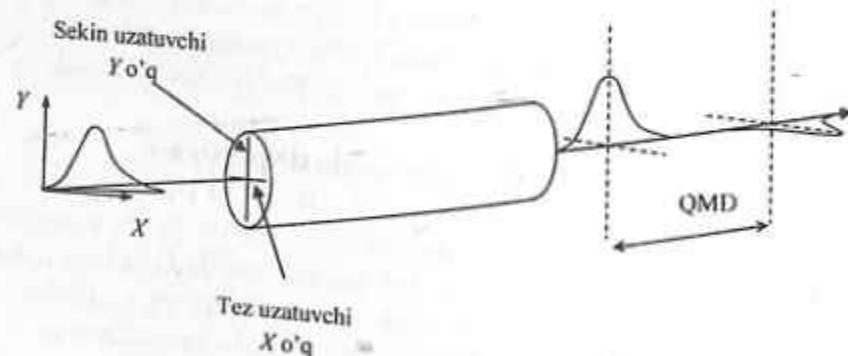
Bir modali optik tolalarda asosan bitta asosiy moda uzatiladi. Biroq, qutblanishni hisobga olsak bir modali tolalarda ikkita moda uzatiladi. Ular boshlang'ich asosiy modaning o'zaro perpendikulyar qutblangan ikki tashkil etuvchilaridir. Bu tashkil etuvchilaridan biri dominant hisoblanib, gorizontall X o'qi bo'ylab, ikkinchisi vertikal yuzadan Y o'qi bo'ylab tarqaladi. X o'qidan uzatilgan moda Y o'qidan uzatilgan modaga nisbatan tez etib borgan uchun X o'qini "tez uzatadigan o'q", Y o'qini "sekin uzatadigan o'q" deyiladi.

Signal ideal aniq geometriyaga ega toladan uzatilganda edi, modalar qabul qiluvchi punktga bir xil tezlikda, bir xil vaqtda etib borardi. Lekin, amaliyotda tolaning geometrik noidealligi, shuningdek turli mexanik va optik omillar tufayli sindirish ko'rsatkichlari assimetriyasining yuzaga kelishi sababli ikki o'zaro perpendikulyar qutblangan modalar vaqt bo'yicha turlicha kechikishi natijasida turli tezliklarda tarqaladi. Tola chiqishida boshlang'ich

signalning asosiy modasi buzilgan xolda etib keladi. Ikki o'zaro perperdikulyar qutblangan tashkil etuvchi modalarning turli tezliklarda tarqalishidan boshlang'ich signalning buzilgan xolda qabul qilinishi qutblangan moda dispersiyasi (QMD) deyiladi.

QMD hosil bo'lishi 2.21-rasmda ko'rsatilgan [7].

QMD hosil bo'lishiga asosiy sabab bu tola o'zagi geometriyasining buzilishi, noidealligidir. Tola o'zagining noidealligi (ovalligining buzilishi), tola geometriyasining o'zgarishi ishlab chiqarish yoki foydalanish jarayonlarida yuzaga keladi. Shuningdek, tolaning bukilishlari, tolni jo'natish uchun maxsus g'altaklarga o'rash, so'ng uni yotqizishdagi mexanik harakatlar tola profilini yoki o'zakning qobiq markazida joylashuvini buzadi va tola deformatsiyasiga olib keladi, bularning barchasi ham tola geometriyasining o'zgarishiga ta'sir etib, qutblangan moda dispersiyasining hosil bo'lishiga olib keladi.



2.21 -rasm. Qutblangan moda dispersiyasining hosil bo'lishi

Qutblangan moda dispersiyasi pikosekundda (ps) da o'lchanadi. Tola defektlarining qo'shilishi va qutblangan moda dispersiyasi bilan o'zaro ta'sirda bo'lishi natijasida seksiyadan seksiyagacha signal etib borguncha qutblangan moda dispersiyasi oshib boradi. Tolani xarakterlovchi bunday xoldagi qutblangan moda dispersiyasi ps/nm^{1/2} da o'lchanadi. Bir necha seksiyalardan iborat trassa uchun har bir uchastkalarga mo' keluvchi qutblangan moda dispersiyalarining o'rtacha kvadratik yig'indisini qo'llash kerak.

Tolali optik aloqa tizimlariga qutblangan moda dispersiyasining ta'siri ushbu xollarda oshadi:

- kanalda uzatish tezligi oshganda;
- regeneratorlar orasidagi masofa uzaytirilganda;
- kanallar soni oshganda (DWDM)- zich to'lqin uzunligi bo'yicha zichlashtirilgan texnologiya qo'llanilganda.

Tolani ishlab chiqarish jarayonini qat'iy nazoratga olish bilangina qutblangan moda dispersiyasi qiymatini kamaytirish mumkin.

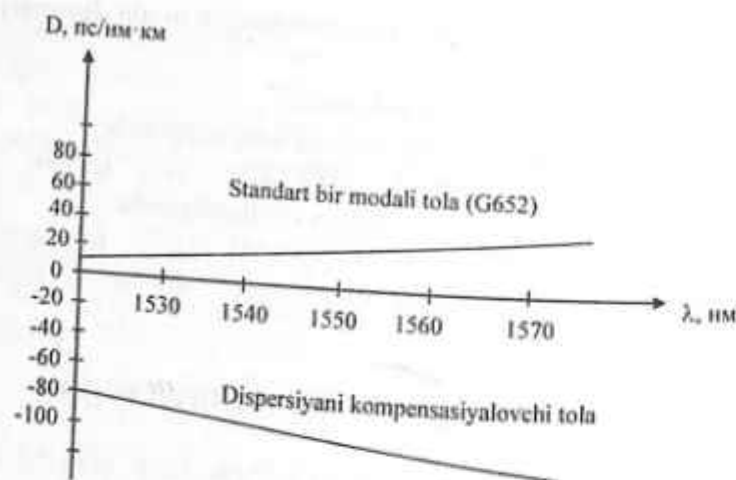
2.5.6. Dispersiyani kamaytirish usullari

Dispersiya qiymatlari minimal bo'lgan DSF, NZDSF tolalarini qo'llash dispersiyani kamaytirish usullaridan biridir. O'zbekiston respublikasi tolali optik aloqa liniyalarida eng ko'p yotqizilgan bu SF - standart tolali kabellardir. SF tolalarida yuqorida aytib o'tilgandek xromatik dispersiya qiymati katta. Standart tolali kabellarni olib tashlab, o'rniga dispersiya qiymati kichik bo'lgan DSF, NZDSF tolali optik kabellarni yotqizish iqtisodiy qimmatga tushadi. Shuning uchun bu usuldan yangi qurilayotgan tolali optik aloqa liniyalarini tuzishda foydalangan maqqul.

Eng ko'p yotqizilgan standart tolali kabellar bo'lgani uchun, bu tolalar qo'llanilganda DSF (Dispersion Compensating Fiber) dispersiyani kompensatsiya qiluvchi tolalardan foydalanish kerak.

DSF-dispersiyani kompensatsiyalovchi tolalardan asosan xromatik dispersiyani kamaytirishda, regeneratsiyalash seksiyasi uzunligini oshirishda, past tezlikdan yuqori tezlikli tizimlarga o'tishda, to'lqin uzunligi bo'yicha zichlashtirilgan TOATda foydalaniladi. DSF tolalarida dispersiya qiymati manfiy katta qiymatlarga ega bo'ladi. Xromatik dispersiyasi musbat ishchi tolaga dispersiyasi manfiy DSF tolalarini ulash natijasida dispersiya nolga yaqinlashadi, ya'ni kompensatsiya qilinadi (2.22-rasm).

DSF tolalari "Corning", "Lucent Technologies", "Sumitomo Electric" kompaniyalari tomonidan ishlab chiqarilmoqda.



2.22 – rasm. DSF yordamida dispersiyani kompensatsiyalash

Lekin DSF tolalarni qo'llash bir qancha muammolarni tug'diradi:

- dispersiyasi musbat va manfiy turli tolalarni ulash, montaj va ta'mirlashni murakkablashtiradi;
- DSF tolalari ishchi tolagaga qaraganda katta yo'qotishlarni yuzaga keltiradi, bu yo'qotishlar $\alpha = 0,4-1,0 \text{ dB/km}$ bo'lib, uzatish liniyasining umumiy yo'qotishlariga qo'shiladi;
- 10-12 km ishchi tolaning dispersiya qiymatini kompensatsiyalash uchun 1 km atrofida DSF tolalari talab etiladi;
- noxiziqli effektlarni oshishiga olib keladi.

Kompensatsiyalash samarali bo'lishi uchun, ishchi tolaning umumiy dispersiya qiymatini va DSF tolasining dispersiya parametrlarini o'lchash kerak.

Kamchiliklarni yo'qotish maqsadida DSF tolalari maxsus modullarga joylashtirilib, ular uzatish tizimlarining ustunlariga yoki optik kuchaytirgichlarning 1 va 2 kaskadlari orasiga qo'yiladi. Bu dispersiyani kompensatsiyalovchi modullar DCM (Dispersion Compensating Module) deyiladi. Dispersiyani kompensatsiya qiluvchi modullarning DCM o'lchamlari xar xil bo'lishi mumkin. Masalan, "Corning" B turdagi modullari $235 \times 235 \times 40 \text{ mm}$, D turdagi $267 \times 267 \times 40 \text{ mm}$, S turdagi $278 \times 432 \times 44 \text{ mm}$, "Sumitomo" firmasining $228 \times 20 \times 41 \text{ mm}$.

Lekin, DCM qo'llanilganda ham kamchiliklar mavjud:

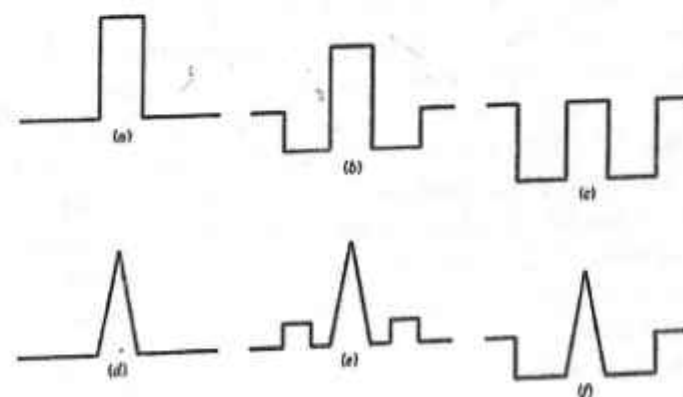
- qo'shimcha yo'qotishga olib keladi;
- qutblangan moda dispersiyasi QMD qiymati oshib ketadi.

To'lqin uzunligi bo'yicha zichlashtirilgan tizimlarda va yuqori tezlikli tizimlarda QMD qutblangan moda dispersiyasi $0,1-0,2 \text{ ps/km}^{1/2}$ dan oshmasligi kerak. DCM modullari qo'llanganda yuqoridagi kamchiliklarni e'tiborga olish zarur.

2.6. Tolali optik aloqa kabellari

Ushbu bo'limda kremniy shisha yoki mos plastik material yordamida tayyorlangan optik tolalar muhandislik aspektlari muhokama qilinadi.

Asl yorug'lik to'lqinlar tizimida foydalanish uchun mos keladigan tolaning kabellarini ishlab chiqarish bir nechta kitoblarda mavjud bo'lgan juda ko'p amaliy ma'lumotlarga e'tibor qaratgan holda murakkab texnologiyani o'z ichiga oladi. Biz kremniy tolalari bilan boshlaymiz va keyin plastik tolalarni ko'rib chiqamiz. So'nggi yillarda ikkala turdagi materiallar alohida qismda muhokama qilingan mikrotuzilmali tolalarni hosil qilish uchun ishlatilgan.

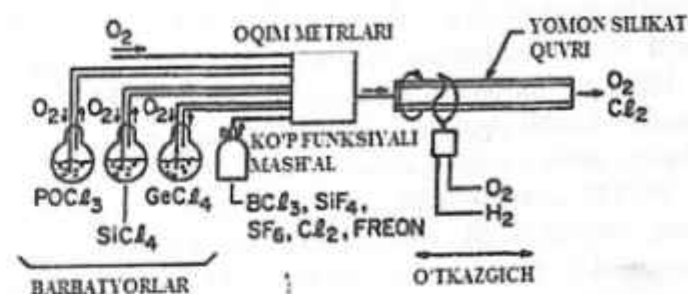


2.19-rasm. Bir modali tolalarni ishlab chiqarishda ishlatiladigan bir nechta ko'rsatkichlar. Yuqori va pastki qatorlar standart va dispersiyalashtiriladigan tolalarga mos keladi

Kremniyli tolalar

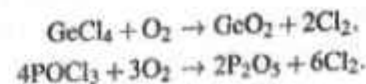
Kremniyli tolalar uchun, ham o'zak va ham qoplama asosiy material sifatida kremniy dioksidi (SiO_2) yoki kremniy yordamida amalga oshiriladi. Sinish indeksidagi farq, o'zakni yoki qoplamani yoki har ikkalasini ham mos materiallar bilan doping qilish orqali amalga oshiriladi. GeO_2 va P_2O_5 kabi birikmalar kremniyning sinish indeksini oshiradi va o'zak uchun mos holga keladi. Boshqa tomondan, B_2O_3 va fluor kabi birikmalar kremniyning sinish indeksini kamaytiradi va qoplama uchun mos keladi. Asosiy dizayn masalalari sinish ko'rsatkichi profiliga, birikmalar miqdori va o'zak va qoplama o'lchovlariga bog'liqdir. Eng tashqi qoplama qatlamning diametri barcha aloqa sifatli kremniy tolalari uchun 125 μm standart qiymatiga ega. 2.19-rasmda har xil tolalar uchun ishlatilgan odatiy indekslar ko'rsatilgan. Yuqori qator 1,1-1,2 μm oralig'ida kesilgan to'lqin uzunligi ega 1,3 μm ga yaqin eng kam tarqalishga ega bo'lish uchun mo'ljallangan standart tolalarga to'g'ri keladi; Eng oddiy dizayn [2.19- rasm (a)] $\Delta \approx 3 \times 10^{-3}$ ni olish uchun sof-kremniy qoplama va GeO_2 bilan biriktirilgan o'zakdan iborat bo'ladi. Keng tarqalgan o'zgarish [2.19- rasm (b)] qoplama indeksiflor bilan dopinglash orqali o'zakka biriktirilgan hudud bo'ylab pasaytiradi. 2.20 (s)-rasmda ko'rsatilgan dizayn yordamida qo'shimcha moddalarsiz o'zakka ega bo'lish mumkin. Ushbu turdagi tolalar ikki marta qoplangan yoki bosimga bardoshli qoplama tolalar deb nomlanadi. Ular shuningdek, indeks profilining shakli aks ettirgan holda W tolalar deb ham ataladi. 2.19-rasmdagi pastki qator 1,45-1,60 μm oralig'ida tanlangan nol dispersli to'lqin uzunligi dispersiya o'zgarish tolalari uchun ishlatiladigan uchta indeks profilini ko'rsatadi (2.1-jadvalga qarang). Bu maqsadda, odatda, depressiyalangan yoki ko'tarilgan qoplama uchburchak indeks profili ishlatiladi.

Sinish indeksleri va turli qatlamlarning qalinligi istalgan dispersiyon xususiyatlarga ega bo'lgan tola uchun optimallashtirilgan. Ba'zan to'rtta qoplama qatlami dispersiyalashtirilgan yassi tolalar uchun qo'llaniladi (2.10-rasmga qarang).



2.20- rasm. MCVD jarayoni odatda tola ishlab chiqarish uchun ishlatiladi

Telekommunikatsiya standartidagi kremniy tolalarni ishlab chiqarish ikki bosqichdan iborat. Birinchi bosqichda istalgan sinish indeksi profili bilan silindrl shakl yasash uchun juft fazada cho'kish metodidan foydalanildi. Xomaki shakl odatda 1 m uzunlikda va 2 sm diametrda bo'ladi va to'g'ri nisbiy o'lchamlari bilan o'zak va qoplama qatlamlarini o'z ichiga oladi. Ikkinchi bosqichda xomaki shaklni pechga to'g'ri tezlikda kiritadigan aniq kiritish mexanizmidan foydalangan holda tola ichiga uzatadi. Xomaki shaklni tayyorlash uchun bir necha usullardan foydalanish mumkin. Uchta keng tarqalgan usullar bu kimyoviy-bug' chiqishi (MCVD), tashqi bug' chiqishi (OVD) va bug' o'qli chiqish (VAD) hisoblanadi. 2.20-rasmda MCVD jarayonining sxematik diagrammasi keltirilgan. Ushbu jarayonda SiO_2 ning ketma-ket qatlamlari SiCl_4 va O_2 ning bug'larini taxminan 1800° C haroratda aralashtirish orqali eritilgan kremniy naychasining ichki qismiga joylashtiradi. Bir xillikni ta'minlash uchun ko'ptolali mash'ala avtomatik translatsiya bosqichi yordamida quvur uzunligi bo'ylab oldinga va orqaga harakatlanadi. Qoplama qatlamlarining sinish indikatori trubaga fluor qo'shilishi bilan boshqariladi. Yetarli qoplama qalinligi saqlanib qolganda, GeCl_4 yoki POCl_3 bug'larini qo'shib o'zak hosil qilamiz. Bu bug'lar GeO_2 va P_2O_5 birikmalarini hosil qilish uchun kislorod bilan reaksiyaga kirishadi:



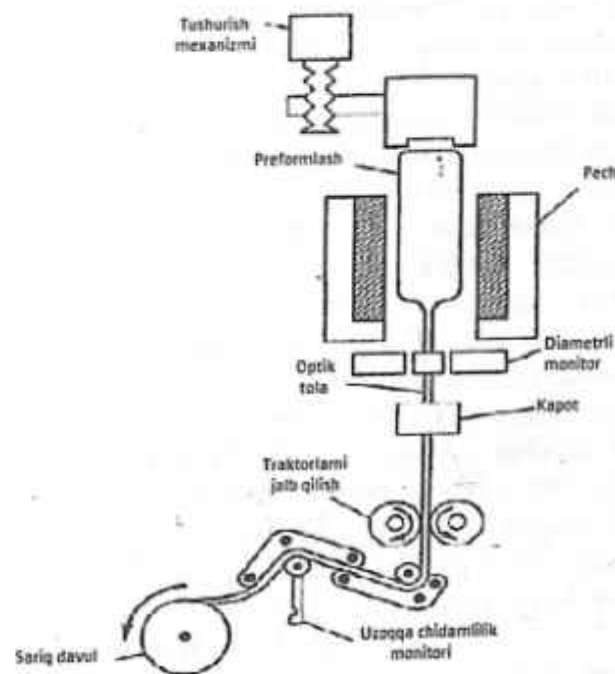
GeCl_4 yoki POCl_3 ning oqim tezligi o'zakning sinish indeksidagi birikmalar miqdori va o'sishga mos kelishni belgilaydi. Uchburchak-indeksli o'zak qatlamdan qatlamgacha oqim tezligini o'zgartirish yo'li bilan tayyorlanishi mumkin. Yadroni tashkil etuvchi barcha qatlamlar biriktirilganda, mash'ala harorati naychani xomaki shaklning qattiq simga aylantirish uchun ko'tariladi.

MCVD jarayoni ichki bug'ni biriktiruvchi usul sifatida ham ma'lum, chunki o'zak va qoplamali qatlamlar kremniy naychasida saqlanadi. Plazma bilan ishlaydigan kimyoviy bug'ni biriktirish jarayoni deb nomlanadigan tegishli jarayonda kimyoviy reaksiya mikroto'liqlik plazma bilan boshlanadi. Bunga javoban, OVD va VAD jarayonlarida o'zak va qoplama qatlamlari olov gidrolizi texnikasi yordamida aylanadigan mandrelning tashqarisida saqlanadi. Mandrel (umindol) qizdirishdan oldin o'chiriladi. Keyinchalik kop kristal kremniy quyqasi bug'shisha idishni shakllantirish uchun qizdirish pechiga joylashtiriladi. Markaziy teshik, bug'aralashmasidan tashkil topgan Cl_2 -He aralashmasida degidratsiya orqali suv bug'larini kamaytirishning samarali usulini beradi, ammo u indeks profilidagi markaziy cho'kishga olib keladi. Cho'kish tuproqni sintirlash vaqtida teshikni yopish orqali kamaytirish mumkin.

Tolalarni uzatish bosqichi xomaki shaklni tayyorlash uchun ishlatiladigan jarayondan qat'iy nazar bir xil bo'ladi. 2.21-rasmda uzatuvchi qurilma sxematik tarzda ko'rsatilgan. Xomaki shakl plyonka ichiga nazorat qilinadigan usulda yuboriladi, bu erda taxminan 2000°C haroratda isitiladi. Erigan xomaki shakllar aniq-ta'minlash mexanizmi asosida tolaningichiga uzatiladi. Tola diametri toladan lazer orqali chiqadigan so'nuvchi nur orqali optik tarzda kuzatiladi. Diametrdagi o'zgarish diffraksiya modelini o'zgartiradi, bu esao'z navbatida fotodiod oqimini o'zgartiradi. Ushbu oqim o'zgarishi tolaning o'ram tezligini biriktiradigan servis-nazorat mexanizmi uchun signal sifatida ishlaydi.

Ushbu texnikada tolaning diametri 0,1% gacha turg'un saqlanishi mumkin. Uzatish bosqichida polimer qoplama optik kabel tolasiga qo'llaniladi. Mexanik muhofaza qilish va tolaning uzatuvchi xususiyatlarini saqlab turishi sababli u ikki maqsadga xizmat qiladi. Qoplangan tolaning diametri odatda $250\text{ }\mu\text{m}$, biroq ko'p qoplamalar ishlatilganda 900 μm ga yetishi mumkin. Tolalarning elastiklik

quvvati uning g'altakka o'ralish paytida kuzatiladi. O'ralish tezligi odatda 0,2-0,5 m/s dir.



2.21-rasm. Qurilma tolalarga signal yuvorish uchun ishlatiladigan apparat

Bitta xomaki shaklni taxminan 5 km uzunlikdagi tolagga aylantirish uchun bir necha soat talab qilinadi. Ushbu qisqacha munozara umumiy fikr berishga mo'ljallangan. Optik tolalarni ishlab chiqarish odatda bir necha matnlarda muhokama qilingan ko'plab muhandislik detallariga e'tiborni qaratadi.

Plastik optik tolalar

Plastik optik tolalarga bo'lgan qiziqish 1990 yillarda o'sdi, chunki qisqa masofalarga (odatda $<1\text{ km}$) ma'lumotni uzatish imkoniga ega bo'lgan arzon tolalar ehtiyoji aniqlandi. Bunday tolalar nisbatan katta o'zakka ega (diametri 1 mm gacha), natijada yuqori

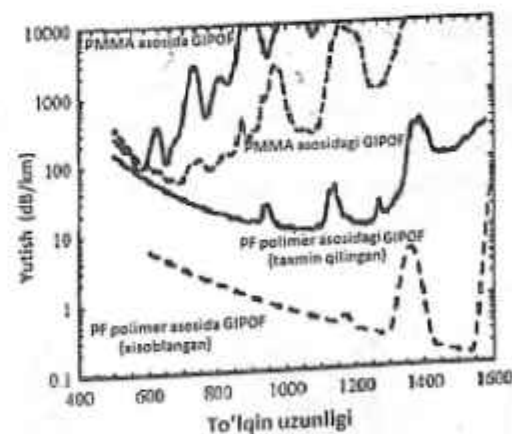
raqamli diafragma va yuqori ulash samaradorligi, ammo ular yuqori yo'qotishlarni (odatda 20 dB/km dan yuqori) namoyish etadi. Shuning uchun ular qisqa masofalar bo'yicha (1 km yoki undan kam) 10 Gbit/s gacha bit tezligi ma'lumotlarini uzatish uchun ishlatiladi. 1996 yilgi namoyishda, 10 gigagertsli signal 0,5 km dan ortiq masofaga kamroq 10^{-11} kamroq bit-xatotezlikda uzatildi. Bosqichli indeksli plastik optik tolalar kompyuterlar orasidagi ma'lumotlarni uzatish uchun ideal echimni ta'minladi va Gigabit Ethernet va 1 Gb/s dan ortiq bit tezligini talab qiladigan Internetga bog'liq boshqa ilovalar uchun tobora muhim ahamiyatga ega bo'ladi.

Nomida nazarda tutilganidek, plastik optik tolalar plastmassadan o'zakva qoplamani tayyorlash uchun organik polimerlar shaklida ishlatadi. Ushbu maqsadlar uchun keng foydalaniladigan polimerlar polimetil metakrilat (PMMA), polistirol, polikarbonat va amorfli florinli polimer poli (perfloro-butenilvinil eter) yoki CYTOP sifatida ma'lum bo'lgan PFBVE hisoblanadi. PMMA plastmassasi 1968 yilgacha pog'ona-indeksli tolalarni ishlab chiqarish uchun ishlatilgan. 1995 yilga kelib, texnologiya nisbatan keng tarmoqli kengligi bilan pog'onali indeks plastmassa tolalarini ishlab chiqarishga imkon beradigan darajada rivojlangan edi. O'sha kundan boshlab, $1,3 \mu\text{m}$ ga yaqin to'lqin bo'yi mintaqasida hatto nisbatan kam bo'lgan yo'qotishlar bilan yangi plastik tolalarni ishlab chiqarishda sezilarli muvaffaqiyatga erishildi. Plastik tolalarning o'zakdiametri qo'llanilishiga qarab $10 \mu\text{m}$ dan 1 mm gacha o'zgarishi mumkin. Arzon narxlardagi qo'llanishlarda o'zakkattaligi odatda $120 \mu\text{m}$, qoplama diametri esa $200 \mu\text{m}$ ga yaqinlashadi. Zamonaviy plastmassa tolasi ishlab chiqarish kremniy tolalari uchun ishlatiladigan bir xil ikki bosqichli jarayonga to'g'ri keladi, ya'ni xomaki shaklning to'g'ri sinish indeksli profili bilan tayyorlanadi va undan so'ng tolalar shakliga aylantiriladi. Bosqich indeksli plastmassa tolalarini tayyorlash uchun ishlatiladigan muhim texnika interfeys gelining polimerlash usuli sifatida ma'lum. Ushbu texnikada, polimer (PMMA kabi) qoplamada foydalanish uchun mo'ljallangan, ichi bo'sh silindr bilan boshlanadi. Bu bo'shliq tsilindrni polimerizatsiya jarayonini boshlashda yordam beruvchi kimyoviy birikma, polimer qoplama polimeriga nisbatan yuqori sinishi ko'rsatkichi ega bo'lgan bir dopant va boshqa kimyoviy moddalar sifatida ma'lum bo'lgan polimer qoplamasining

monomerining aralashmasi bilan to'ldiriladi. zanjir-uzatish agenti. To'ldirilgan silindr 95°C atrofida bo'lgan haroratgacha isitiladi va 24 soatgacha bo'lgan davrda o'z o'qiga aylanadi. Yadroning polimerizatsiyasi silliqning ichki devoriga yaqinlashib, jel effekti deb ataladi va keyin asta-sekin kolba markaziga qarab harakatlanadi. Polimerizatsiya jarayonining oxirida, bitta silindr shaklida bosqich indeksli xomaki shakl hosil bo'ladi. Tolalarni kiritish bosqichi kremniy tolalari uchun ishlatilgani bilan bir xildir. 2.21- rasmda ko'rsatilgan kiritish apparati o'xshash apparat shu maqsadda ishlatiladi. Asosiy farq shundaki, plastmassalarning erish harorati kremniydan (200°C atrofida) ancha past bo'ladi (180°C darajasida).

Tola diametri mos optik usul bilan doimiy monitoringlanadi va mos optik texnikani qo'llagan holda tolaga boshqa plastik qoplama qo'llaniladi. Ushbu yuqori plastik qoplama tolalarni mikrobukilishlarga qarshi himoya qiladi va uning ishlashini osonlashtiradi.

2.22-rasmda bir nechta plastik tolalarning yo'qotish spektrlari ko'rsatilgan.



2.22-rasm. Bir nechta plastik optik tolalarning zararli spektrlari. Noktalanagan egri nazariy chegarani ko'rsatadi

PMMA tolasi odatda 100 dB dan oshganda yo'qotishlarni namoyish etadi. Va aksincha, zamonaviy PFBVE tolasi yuqori yo'qotishlari keng to'lqin uzunlik diapazonida 800 dan $1,300 \text{ nm}$

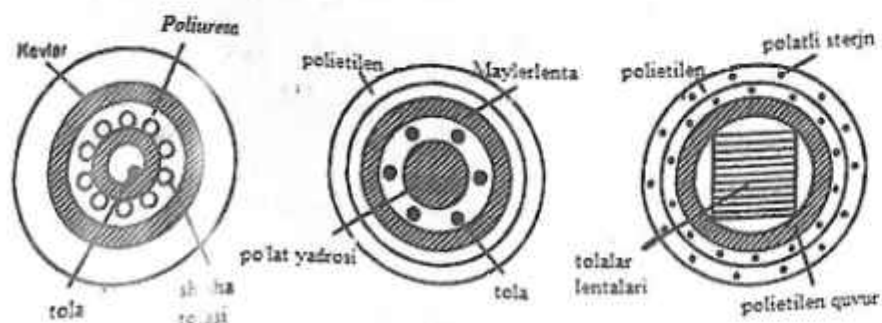
gacha cho'zilgan va 20 dB/km ga yaqin masofada qayta tiklanadi va 10 dB/km dan pastga tushirilishi mumkin. Kremniy tolalari singari, materiallarning erishi ichki va tashqi toifalarga bo'linadi.

Plastik tola uchun ichki emissiya yo'qolishi tolalarni tayyorlash uchun ishlatiladigan organik polimer ichidagi turli molekulyar birikmalarning vibratsiyali usullaridan kelib chiqadi. Ushbu usullarning vibratsiyali chastotalari to'lqin uzunligi oralig'ida 2 μ m dan ortiq bo'lsa-da, ularning garmonikalari hatto infraqizil va ko'rinadigan hududda ham barcha plastik tolalar uchun katta yo'qotishlarni keltirib chiqaradi. Tashqi absorbsiya tolaning o'zagi ichidagi qo'shimcha moddalar bilan bog'liq.

Fe, Co, Ni, Mn va Cr kabi o'tish metallarining aralashmalari 0,6-1,6 μ m to'lqin uzunligi oralig'ida kuchli so'riladi. Hatto bir milliarddan kichik qismga qadar bo'lgan iz miqdori hatto 10 dB/km dan ortiq yo'qotishlarni keltirishi mumkin. Kremniy tolalar holati kabi, qoldiq suv bug'lari 1,390 nm atrofida kuchli cho'qqiga olib keladi. Bu muammo PFBVE tolalari uchun kamroqdir, chunki fluropolimerlar suvni osongina so'rmaydi.

2.6.1. Optik kabellar

Optik tolalarni kabel orqali ulash va o'rnatish vaqtda ularni buzilishdan himoya qilish zarur. Kabel dizayni qo'llanish turiga bog'liq. Ba'zi qo'llanishlar uchun tolalarni plastik qopqoq ichiga joylashtirish uchun bufer qilish etarli bo'lishi mumkin. Boshqalari uchun sim po'lat majmuasi kabi mexanik jihatdan mustahkam bo'lishi kerak.



2.23- rasn. Optik tolali kabellarining tipik namunalari

Yengil vazifali kabel tolalarni atrofiga qattiq plastinka tampon o'rab qo'yish orqali amalga oshiriladi. Chizma jarayonida qo'llaniladigan asosiy qoplamaning ustki qismida 0,5-1 mm qalinlikdagi tamponli plastik qoplamni qo'llash orqali qattiq qoplama ta'minlanishi mumkin. Boshqa usulda tola plastmassa naychani ichiga kiritiladi. Mikrobukilishdagi yo'qotish bu bo'shliqli tuzilmada deyarli yo'qotiladi, chunki tolaning naycha ichida o'zini sozlashi mumkin. Ushbu tuzilma shuningdek, ko'p tolali kabellarni har bir tolaga mo'ljallangan boshqa naychaga ega turli quvur yordamida ham ishlatilishi mumkin. Boshqa narsalar qatorida dengiz osti qo'llanishlar uchun zarur bo'lgan og'ir vazifani bajaruvchi kabellar mexanik quvvatni ta'minlash uchun po'lat yoki Kevlar kabi kuchli polimerlardan foydalaniladi. 2.23- rasmda uch turdagi kabellar ko'rsatilgan. Kolba tuzilmasida poliuretan ichiga o'rnatilgan shisha tolalar va Kevlar ko'ylagi zarur mexanik quvvatni (chapchizma) beradi. Xuddi shunday dizayni markaziyo'lato'zak atrofida bir nechta tolalarni joylashtirish orqali ko'p tolali naychalarga ham qollanilishi mumkin, (o'rta rasm). Ko'p sonli tolalarni bitta kabelga joylashtirish kerak bo'lganda, lenta kabeli ishlatiladi (o'ng chizma). Lenta odatda, ikkita polyester bant o'rtasida 12 ta tolani joylashtirish orqali ishlab chiqariladi. Keyin bir nechta lentalar polietilen trubaning ichiga joylashtirilgan to'rtburchaklar shaklida to'planadi. Ikkita tashqi polietilen ko'ylagi po'lat simlar yordamida mexanik quvvatni ta'minlaydi. Bunday tolali kabellarning tashqi diametri odatda 1 dan 1,5 sm gacha boladi. Konnektorlarning har qanday haqiqiy yorug'lik to'lqin tizimida optik tolalarni ishlatish uchun kerak. Ularni ikki toifaga bo'lish mumkin. Ikki tola orasida doimiytolalar bog'lanishi tola birikishlar sifatida ma'lum va ular orasidagi ajratib olinadigan bog'lanish tolalar ulagichi yordamida amalga oshiriladi. Ulagichlar ikkita tolali segmentga doimiy ravishda ulanish uchun foydalanilganda tolali kabelni transmitter (yoki qabul qiluvchi) bilan ulash uchun ishlatiladi.

Birlashtiruvchi va ulagichlardan foydalanishdagi asosiy masala yo'qotish bilan bog'liq. Ba'zi kuchlar har doim yo'qoladi, chunki ikki tola uchi amalda hech qachon mukammal tarzda bir biriga mos kelmagan. 0,1 dB dan past bo'lgan ulanish yo'qotishlari muntazam ravishda termoyadroviy biriktirish usuli yordamida amalga oshiriladi. Ulagichning yo'qotilishi odatda kattaroq bo'ladi. Zamonaviy

konnektorlar taxminan 0.3 dB da o'rtacha yo'qotishlarni ta'minlaydi. Splitlar va konnektorlarning dizayni texnologiyasi juda murakkab. Mukammal tafsilotlar uchun o'quvchi iqtibosga murojaat qiladi, kitob butunlay shu masalaga bag'ishlangan.

2.6.2. Optik kabellarning tasniflanishi

Optik kabel (OK) umumiy namlikdan himoya qiladigan qobiqqa kiritilgan ma'lum tizimda o'ralgan optik tolalarning birikmasi hisoblanadi. Qobiqning ustidan ishlatish sharoitlariga bog'liq ravishda himoya qoplamalari qoplanishi mumkin. Zarurat bo'lganida OK kuch (mustahkamlaydigan) va dempfirovchi elementlar, metall simlarga ega bo'lishi mumkin. OKning asosiy vazifasi mavjud ishlatish sharoitlarida talab qilinadigan uzatish sifatini ta'minlash hisoblanadi.

OKga an'anaviy elektr aloqa kabellari kabi quyidagi talablar qo'yiladi:

- elektr aloqa kabellari yotqilishidagidek sharoitlarda yotqizish imkoniyati;
- dala sharoitlarida uzaytirish va montaj qilish imkoniyati;
- qurish va ishlatish jarayonida tashqi mexanik va iqlim ta'sirlariga barqarorlik;
- berilgan rad etmaslik, uzoq vaqt ishlash va ta'mirlashga yaroqlilik va boshqa ko'rsatkichlarli ekspluatatsion ishonchlilik.

OK konstruksiyasi asosan ularning vazifasi va qo'llanish sohasi orqali aniqlanadi. Ular OKning himoya qobiqlari turi, OTni kabel o'zagi tarkibiga joylashtirilishi xarakter, bo'yлама va radial ta'sirlardan OKni mustahkamlash xarakteri va usuli orqali farqlanadi.

O'zining vazifasi bo'yicha OKlar birlamchi tarmoqdagi o'rni bo'yicha quyidagilarga bo'linadi:

- magistral;
- zonaviy (ichki zonaviy);
- mahalliy (shahar, tuman);
- ob'ektlar va montaj qilish uchun.

Magistral va zonaviy OKlar ma'lumtlarni katta masofalarga uzatish va ko'p sonli kanallarni tashkil etish uchun mo'ljallangan. Ular katta keng polosalilikka, kichik so'nishga va dispersiyaga ega.

Mahalliy OKlar shahar va tuman ATSlari orasida bog'lanish liniyalari sifatida ishlatiladi. Ular oralik regeneratlarsiz, ya'ni nisbatan qisqa masofalarda (bir necha o'nlab kmgacha) va nisbatan uncha katta bo'lmagan kanallar sonida ishlashga mo'ljallangan.

Ob'ektlar OKlari ob'ektning ichida kichik masofalarda turi masofalarni uzatish uchun xizmat qiladi va ko'p sonli OTlarga ega bo'ladi.

Montaj qilish OKlari apparaturalarni ichik va bloklararo montaj qilishga mo'ljallangan

Yotqizish va ishlatish sharoitlariga bog'liq ravishda OK quyidagilarga bo'linadi:

- tashqi yotqizish uchun OKlar;
- ichki yotqizish uchun OKlar;
- maxsus.

Tashqi yotqizish kabellari istalgan aloqa liniyalarida (qishloq, shahar, zonaviy va magistral) qo'llanadi va yotqizish sharoitlari bo'yicha ularni havo, er osti, suv osti kabellariga bo'lish mumkin.

Havoda yotqizish kabellari har xil turlardagi tayanchlarga osiladi va o'z navbatida, quyidagi kabellarga bo'linadi:

- o'zi boradigan - har xil turlardagi tayanchlarga, shu jumladan EUL va temir yo'llar kontakt tarmog'i tayanchlariga osiladigan tashuvchi trossli yoki trossiz;
- mahkamlanadigan - maxsus qisqichlar yordamida tashuvchi simga mahkamlanadi;
- o'raladigan - tashuvchi, masalan, faza simi yoki yashindan himoyalash trossi atrofiga o'raladi;
- yashindan himoyalash trossiga o'rnatiladigan.

Er ostiga yotqiziladigan kabellar quyidagilarga bo'linadi:

- kabel kanalizatsiyasiga yotqiziladigan (40. . . 100 mm diametrli plastmassa quvurlarda - bitta OK bitta quvurda, >100 mm diametrli asbestotsement yoki plastmassa quvurlarda - bir necha OKlar bitta quvurda, temir yo'l plotnosi ariqchalari sirtlarida - bir necha OKlar bitta ariqchada, suv quvurlarida suv bilan birga, gaz quvurlarida gaz bilan birga);

- tonnellarda yotqiziladigan (tonnel devorlarining konsollarida kuch kabellaridan pastda, kuch kabellari bilan birga, kuch kabellaridan yuqorida);

-erga ko'miladigan (to'g'ridan to'g'ri tuproqda, temir yo'l polotnosida, avtomobil yo'li asfaltida);

-maxsus quvurlarda, masalan, polietilen quvurlarda avtomatik yotqizish.

Suv osti kabellari quyidagilarga bo'linadi:

-kema qatnamaydigan daryolar, chuqur bo'lmagan ko'llar va botqoqliklar tubiga yotqiziladigan;

-dengizlar va okeanlar tubiga yotqiziladigan.

Ichki yotqizish kabellari telefon stansiyalari, ofislar, binolar va inshootlar ichida ishlatiladi. Yotqizish sharoitlari bo'yicha bu kabellar quyidagilarga bo'linadi:

-vertikal va gorizontal yotqizish kabellari;

-kommutatsiyalash shnurlari.

2.6.3. Optik kabellarning konstruktiv elementlari. Asosiy elementlari

OTning tayyorlash, yotqizish va ishlatish jarayonida mexanik ta'sirlar va atrof-muhit omillariga yuqori sezgirligi OKni konstruksiyalashga alohida yondashishni talab qiladi. OTni cho'zilish va bukilishdan saqlash, OKni tashqi mexanik ta'sirlardan kuch himoyalash elementlari bilan mustahkamlash zaruratini hisobga olish kerak bo'ladi.

OKning yuqori ishonchliligi materiallarni mos tanlanishi va OKning konstruktiv elementlarini hisoblash bilan ta'minlanadi. OKning to'g'ri ishlab chiqilgan konstruksiyasi ularni oddiy metall kabellar kabi yotqizishga imkon beradigan yuqori mexanik puxtalikka ega bo'ladi. bundan tashqari, OK konstruksiyasi 25 ... 30 yildan kam bo'lmagan OKning xizmat ko'rsatish muddati davomida OTning uzatish xarakteristikalarini kafolatlashi va ta'minlashi kerak.

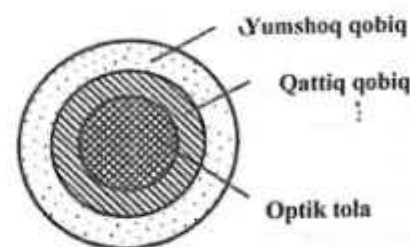
Yuqorida aytib o'tilganidek, OKda OTdan tashqari, quyidagi konstruktiv elementlar mavjud:

-yaxlit plastmassa tolalar ko'rinishidagi to'ldiruvchilar;

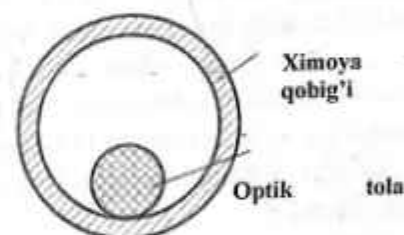
-uzilishga bo'ylama yuklamani o'ziga qabul qiladigan kuch (mustahkamlaydigan) elementlar (po'lat, mis va alyuminiy simlar, shuningdek shisha-plastik tolalar va sterjenlar);

-mexanik radial ta'sirlarda OKning barqarorligini oshiradigan armirlovchi elementlar;

-tashqi himoya qoplamasi – namlik, xavfli moddalar bug'lari kirishidan va tashqi mexanik ta'sirlar ta'siridan himoyalaydigan qobiq (metall tasmalarli yoki metall qatlamlarli metall-plastmassali, plastmassali, kuch elementlarili plastmassali, metall tasmalarli presslangan kuch elementlarili plastmassali, kabelning bronlangan qobig'i);



2.9- rasm. Qo'sh himoya qobig'idagi optik tola



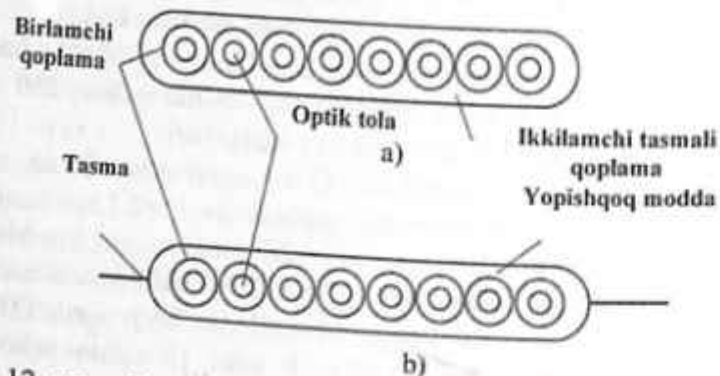
2.10- rasm. Quvursimon himoya qobig'idagi optik tola

- liniyadaga turli qurilmalarning elektr ta'minoti uchun izolyasiyalangan mis simlar;

- OKga namlikni kirishiga to'sqinlik qiladigan gidrofob kompaundlar.

Modul

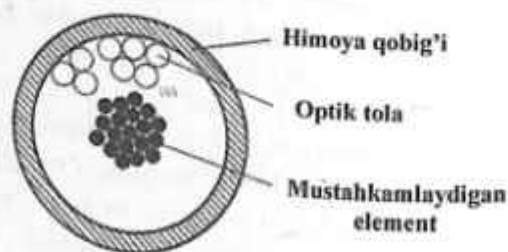
Optik kabellarni tayyorlashda, ularni yotqizishda OT ularni deformatsiyalaydigan va ko'ndalang yo'nalishda suradigan ko'ndalang kuchlar ta'siriga uchraydi, bu yakuniy hisobda OTning uzatish xarakteristikalarini o'zgarishiga olib keladi. Shuning uchun



2.12- rasm. Tasmali modullarda OTni qayd etish usullari

Kuch elementlari

OT OK konstruksiyalarida ishlatiladigan ko'plab materiallarga qaraganda yuqori taranglik moduliga ega. OT konstruksiyasida katta kuchanishlarning paydo bo'lishin yo'qotish uchun kuch (mustahkamlaydigan) elementlari kiritiladi. Konstruktiv jihatdan mustahkamlaydigan element yaxlit materialdan kordel yoki yupqa tolalardan (simlardan) jgut ko'rinishida bajariladi. Mustahkamlaydigan element sifatida jgutdan foydalanish OKning etarli egiluvchanligini ta'minlaydi.



2.13- rasm. Mustahkamlaydigan element markazda joylashtirilgan OK

Mustahkamlaydigan elementlarni (ME) OKda joylashtirishda ikkita konstruktiv echimlar variantlarini bo'lishi mumkin. Birinchi variantda ME label o'zagining markazida joylashadi (2.13- rasm),

ikkinchi variantda ME periferiyada joylashadi. Birinchi variantda ME OKning eng yaxshi egiluvchanligini ta'minlaydi, ikkinchi variantda egiluvchanlik kichik, lekin radial kuchanishlar va zarbalarga samarali qarshi turish mavjud.

Himoya qoplamalari

OKni yotqizish va ishlatish jarayonida tashqi muhit ta'sirlari va mexanik shikastlanishlardan OTni himoyalash uchun o'zak yonishni tarqatmaydigan polietilen, alyumoplietilen, polivinilxlorid va galogensiz materialdan bo'lishi mumkin tashqi qobiq bilan himoyalanaadi.

Polietilen qobiq asosan tashqi yotqizish bronlangan kabellarida, alyumoplietilen qobiq pnevmatik tortish usuli bilan plastmassa quvurlarga yoiqiziladigan bronlanmagan OKlarda ishlatiladi. Konstruktiv jihatdan alyumoplietilen qobiq bir yoki ikki tomondan polimer yupqa qatlami bilan qoplangan 0,12...0,2 mm qalinlikdagi alyuminiy tasmalardan shakllantiriladi. Polimer yupqa qatlami va qobiq payvandlanadi va natijada oddiy polietilen qobiqqa qaraganda sezilar kam namlikni singdiruvchanlikli monolit konstruksiyani hosil qiladigan ekran olinadi.

Yong'inga xavfli joylarda yotqiziladigan kabellarda yonishni tarqatmaydigan va yonishda tutun va boshqa zaharli moddalarni deyarli ajratmaydigan polivinilxlorid yoki galogensiz materialdan qobiq qo'llanadi.

OKga katta tashqi yuklamalarda uning konstruksiyasigabronli qoplamalar kiritiladi. Bronlar uchta tasmali, bir o'ramli (bittalik) dumaloq simli va ikki o'ramli (qo'sh) dumaloq simli turlarda bo'lishi mumkin.

OKda kabel kanalizatsiyasi, quvurlar, kollektorlar, tonnellar, ko'priklar va estakadalarda yotqizish uchun po'lat tasmali bronlar ishlatiladi. Tashqi tomonidan polimer qoplangan 0,15...0,25 mm qalinlikdagi po'lat qat-qat tasma OK ichki qobig'ini qoplashi bilan bo'ylama qo'yiladi.

Muzlashlar, deformatsiyalarga uchramaydigan tuproqlarda, chuqur bo'lmagan kema qatnamaydigan daryolar, ko'llar va botqoqliklarda yotqizish uchun OKlarda turli diametrlardagi po'lat

rux bilan qoplangan dumaloq simlardan bir o'ramli bronlar qo'llanadi.

Barcha guruhlardagi murakkab tuproqlarda, shu jumladan, muzlashli deformatsiyalarga uchragan tuproqlarda, shuningdek kema qatnaydigan chuqur daryolar orqali o'tishlarda yotqizish uchun OKlarda ikki o'ramli dumaloq simlardan bronlar qo'llanadi. Bu bronlarda po'lat simlarning har ikkala o'ramlari oraliq polietilen qobiq bilan ajratilishi mumkin. Asosan bronlar cho'zilish kabi tashqi mexanik ta'sirlarga OKning barqarorligini ta'minlaydi.

Bronlarga apolietilen yoki yonmaydigan galogensiz materialdan tayyorlanadigan himoya shlangi kiydiriladi. Himoya shlangiga mexanik kuchaytirish uchun ikkita yo'g'on simlar presslanishi mumkin.

Havoda osish uchun OKlar himoya qoplamalariga alohida talablar qo'yiladi. Osiladigan kabellar metall elementlarga ega bo'lmasligi va to'liq ielektrik tayyorlanishi sababli, ularning himoya qoplami polietilen qobiq, aramid tolalar ikkita o'ramlari yoki shisha-plastik sterjenlar va polietilendan himoya shlangidan tashkil topgan.

2.6.4. Optik kabellarning asosiy konstruksiyalari

Hozirgi vaqtda vazifasi, yotqizish va ishlatish sharoitlariga bog'liq ravishda har xil turlar va konstruksiyalardagi OKlar ishlab chiqilgan va ishlab chiqarilmoqda. Ularning katta xilma-xilligi orasidan to'rtta turlardagi OKlarni ajratish mumkin (2.14- rasm):

- ko'p o'ramli yoki burama o'ralgan kabellar;
- tutamli o'ralagan kabellar;
- profilli tashuvchili o'zakli kabellar;
- tasmali konstruksiyalar.

Burama o'ralgan OK (2.14,a- rasm) modullar soni 20 ta bo'lganda samarador bo'lgan MKE atrofida o'ralgan optik modullardan o'ramalar ko'rinishida bajarilgan.

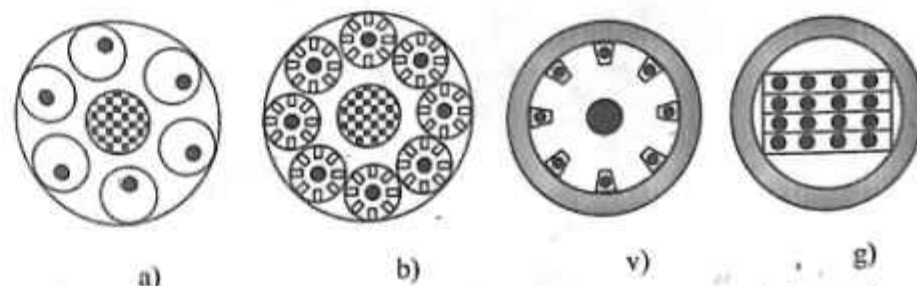
O'rama OKning asosiy konstruksiyasi 6 dan 8 tagacha optik modullarga tashkil topadi va 12 mm tashqi diametriga ega bo'ladi.

MKE atrofida 6 dan kam bo'lgan modullar soni bitta o'rama o'ralganida ular orasidagi oraliqlar modulning diametriga teng bo'lgan diametrli yaxlit kesimli plastmassa kordellar bilan

to'ldiriladi. To'ldirish uchun izolyasiyalangan mis simlar ham ishlatilishi mumkin.

Tutamli o'ralgan OKlar MKE atrofida o'ralgan optik modullar tutamlaridan tashkil topadi (2.14,b- rasm). Tutam ichida OT erkin joylashtirilgan bo'ylama ariqchalarli profilli o'zak joylashtirilgan polimer quvur hisoblanadi. Bu turdagi kabellar 25 dan 500 tagacha modullarga ega bo'ladi, ularning tashqi diametri 15...25 mmni tashkil etadi.

Profilli tashuvchili o'zakli OKlar birlamchi himoya qobig'idagi OT yoki optik modullar erkin joylashtirilgan vintsimon ariqchalarli tashuvchi plastik element hisoblanadigan o'zakdan tashkil topgan (2.14,v- rasm). Ariqchalarli profillangan o'zakning diametri tolalarning soniga bog'liq ravishda 6...12 mm ni tashkil etadi.



2.14- rasm. Kabellar konstruksiyalari turlari: a – burama o'ralgan; b- tutamli; v – profilli o'zakli; g - tasmali

Tasmali OKlarning o'zagi bir-birlaridan ma'lum masofalarda parallel joylashtirilgan alohida OT tekis tasmalardan yig'ilgan (2.14, g- rasm).

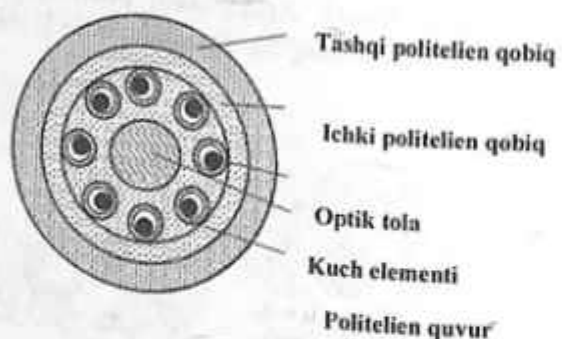
Tasma uchun odatda 250 mkm diametrli birlamchi qoplamali oddiy OTlar ishlatiladi. Odatda bitta tasmada 2 dan 24 tagacha tolalar bo'ladi. Taxlangan tasmalar kabelning o'zagini tashkil etadi. Ko'rsatilgan konstruksiyada zichlashtiradigan elementlar qobiqda joylashtirilgan. OTning zich joylashtirilishi tufayli kabelning konstruksiyasi uncha katta bo'lmagan diametriga ega (masalan, 144 talik OTli OK 12 mm tashqi diametriga ega).

Optik kabellarning mavjud bir necha turlarini ko'ib chiqamiz.

2.15- rasmda OK-50 turdagi shahar aloqasi OK kesimi keltirilgan.

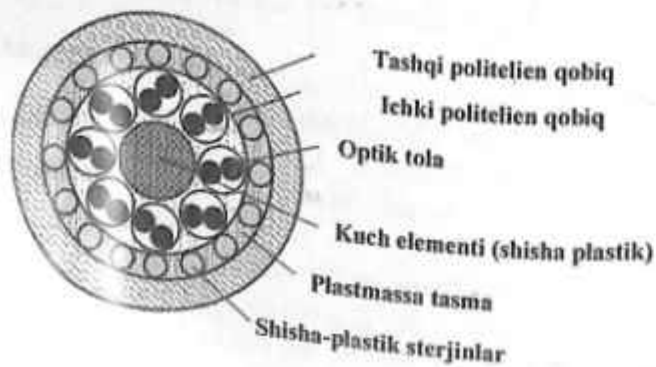
O'zagi burama o'ralgan kabel markazda sintetik yuqori molekulyar plastmassa tolalaridan mustahkamlaydigan kuch elementiga ega. Tolalar plastmassa quvurlarga joylashtirilgan, tashqi tomondan esa lavsan tasma va plastmassa qobiq bilan o'ralgan. Namlikka barqarorlik uchun OKning o'zagi tayyorla jarayonida gidrofob (namlikni yuqtirmaydigan) massa bilan to'ldiriladi.

Kabel telefon kanalizatsiyasiga yotqizish uchun mo'ljallangan va shuning uchun tashqi armirolovchi qoplamalarga ega emas.



Belgilanishi

OK - optik kabel; 50 - o'zakning diametri, mkm; 1 va 2 ishlab chiqish nomeri; 3 yoki 5 - so'nish koeffitsienti, dB/km; 4 yoki 8 - OTlar soni.



2. 6- rasm. OKK-50 turdagi kabel

Masalan, OK-50-2-5-4 - o'zagi 50 mkm diametrli to'rtta OTlardan chiziqli kabel, 2-ishlab chiqish, gidrofob to'ldirishli, MKEga ega, uning atrofiga polimer qoplamadagi OTlar o'ralgan, ulardan har biri fluoroplast quvur bilan himoyalangan, polietilendan tashqi qobiqli va 5 dB/km gacha so'nishi. Stansion OK ON belgilashga ega.

Masalan, ON-50-1-5-2 - o'zagi 50 mkm diametrli ikkita OTli stansion kabel, 1-ishlab chiqish, polimer qoplamali, himoya fluoroplast quvurli, polivinilxloriddan tashqi qobiqli va 5 dB/km gacha so'nishli.

Chiziqli OKning qurilish uzunligi odatda 1000 metrdan kam emas, stansion OKning qurilish uzunligi 100 metrdan kam emas. OTning geometrik o'lchamlari quyidagicha: OT qobig'i diametri 125 ± 3 mkm; OT diametri 50 ± 3 mkm; OT o'zagi 50 ± 3 mkm.

Nazorat savollari

1. Optik tolaning optik aloqa tizimidagi o'rniga tafsiv bering.
2. Optik tola qanday tuzilgan?
3. Optik tola qanday materiallardan tayyorlanadi?
4. Tolali optik aloqa tizimida qo'llaniladigan optik tolalarning qanday turlari mavjud? Ularga tafsiv bering.
5. Tolali optik aloqa tizimlarida optik tolalarning, qanday standartlaridan keng foydalaniladi? Ularga tafsiv bering.
6. Ikki muhit chegarasidagi tekislikka tushgan yorug'lik nurining tushish va sinish burchaklari orasidagi bog'lanishni ifodalovchi Snellius qonuni qanday munosabat bilan aniqlanadi?
7. Optik tolaning muhim parametrlaridan biri - sindirish ko'rsatkichining nisbiy farqi qanday munosabat bilan aniqlanadi?
8. Yorug'lik nurining to'liq ichki qaytish burchagi uchun miqdoriy munosabatni yozing va uni tafsivlang.
9. Apertura burchagi va soniga ta'rif bering.
10. Pog'onali va gradientli sindirish ko'rsatkichlariga ega bo'lgan optik tolalar uchun apertura sonlari qaysi miqdoriy munosabatlar bilan aniqlanadi?
11. Normalashtirilgan chastotaga ta'rif bering?
12. Pog'onali optik tola uchun modalar soni qanday miqdoriy munosabat bilan aniqlanadi? Unga tafsiv bering.

13. Gradientli optik tola uchun modalar soni qanday miqdoriy munosabat bilan aniqlanadi? Unga tafsiv bering.
14. Kesish to'liq uzunligiga ta'rif bering. Pog'onali bir modali optik tola uchun va optik kabel uchun kesish to'liq uzunliklarini aniqlash usullarini tafsivlang.
15. Optik tolaning so'nish va dispersiya bo'yicha baholanishi nimaga bog'liq?
16. Yorug'lik nurlanishining optik toladagi so'nishiga ta'sir etuvchi omillarni sanab ko'rsating.
17. Optik tolaning xususiy yo'qotishlari qanday hosil bo'ladi?
18. Optik tolaning kabel yo'qotishlari qanday hosil bo'ladi?
19. Dispersiya tushunchasini ta'riflang.
20. Dispersiyaning qanday turlarini bilasiz? Ularni ta'riflang.
21. Modalararo dispersiyani ta'riflang.
22. Xromatik dispersiyani ta'riflang.
23. Qutblangan moda dispersiyasini ta'riflang.
24. Dispersiyani kamaytirish maqsadida qaysi usullardan foydalaniladi?
25. Tolali optik kabellar vazifasi, tuzilishi va tayyorlangan materialiga bog'liq ravishda qanday turlarga bo'linadi?

III-BOB

OPTIK ALOQA TIZIMLARINING PASSIV ELEMENTLARI

Tolali optik vositalarning ketma-ketligi ro'yxati – ulanuvchi optik tarmoq komponentlari kvant aktiv va optik passiv elementlarga bo'linadi.

Aktiv komponentlarga:

- optik signallarni uzatishni ta'minlovchi optik nurlanuvchi manba;

- optik komponent va optik nakachkani amalga oshiruvchi optik nurlantiruvchi manbalar;

- axborotli optik signallarni uzatishda optik kuchayishni ta'minlovchi optik kuchaytirgichlar;

- keng diapazonda to'liq uzunligi tushuvchi kirishdagi optik signallarni o'zgartirishni ta'minlovchi transponderlar, masalan ikkinchi shaffoflik darchasi chegarasida (1260-1340 nm) yoki uchinchi shaffoflik darchasi atrofida (1480-1580 nm) kirish optik signallarida kanallarni to'liqlik ajratuvchi aniq optik uzatish tizimlari;

- berilgan algoritim bo'yicha kirishdagi optik signallarni kommutatsiyalash uchun mo'ljallangan optik kommutatorlar kiradi.

Passiv optik komponentlarga:

- optik tarmoqlagichlar (to'liq uzunligi bo'yicha ajratmaydigan);

- optik attenuatorlar;

- optik filtrlar;

- sozlanuvchi optik filtrlar;

- optik izolyatorlar;

- optik almashlab ulagichlar;

- dispersiyaning passiv kompensatorlari;

- optik yakunlar;

- ajraladigan optik ulagichlar;

- ajralmaydigan optik ulagichlar;

- to'liq uzunligi bo'yicha optik multipleksorlar va demultipleksorlar;

- optik tola kiradi;

Mukammal ravishda passiv optik komponentlarni ko'rib chiqamiz.

3.1. Optik tarmoqlagichlar

Optik tarmoqlagichlar (OT) umumiy xolatda ko'p qutbli qurilma hisoblanib, bunda optik nurlanishning bir qismi kirishda optik qutblarga (portlarga) bo'linadi, shuningdek uning qolgan optik qutblari (portlari) orasida tarqatiladi.

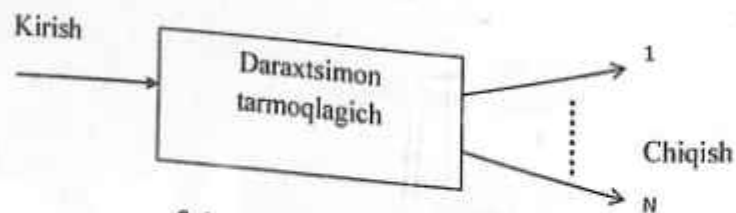
Boshqa so'z bilan aytganda optik tarmoqlagichlar, mos holda optik signallarni bir necha kanallar bo'yicha muxitli ajratishni, shuningdek turli optik kanallarning optik signallarini bitta optik kanalga birlashtirishni bajaruvchi qurilmalarga kiradi.

Optik nurlanish quvvatining belgilangan qismini ajratish uchun mo'ljallangan, bitta kirish va ikkita chiqish portlariga ega optik tarmoqlagichlar shahoblagichlar deyiladi.

Yo'naltirilgan va ikki yo'nalishli (yo'naltirilmagan) optik tarmoqlagichlarga shuningdek optik nurlanish sathi bo'yicha va to'lqin uzunligi bo'yicha optik tarmoqlagichlarga bo'linadi. Ikki yo'nalishli optik tarmoqlagichlarda har bir optik qutb (port) optik signallarni qabul qilishda yoki uzatishda ishlashi mumkin yoki uzatish yoki qabul qilish bir vaqtda amalga oshishi ham mumkin.

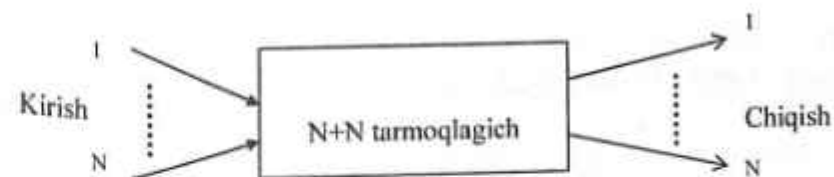
OTning asosiy turlari: daraxtsimon tarmoqlagichlar, yulduzsimon tarmoqlagich, yo'naltirilgan shahoblagich, ko'p to'lqinli shahoblagich.

Daraxtsimon tarmoqlagich (yoki shahoblagich), N chiqish signallariga ajratadi (3.1- rasmda ko'rsatilganidek) yoki teskari funksiyani bajaradi, ya'ni kirishdagi N signallarni bitta chiqish signaliga birlashtiradi.



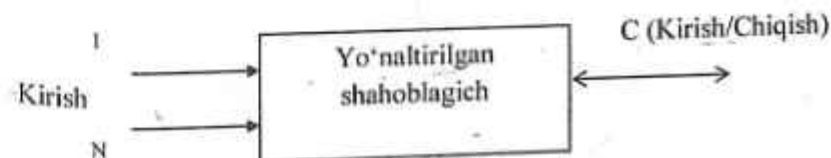
3.1- rasm. Daraxtsimon tarmoqlagich

Yulduzsimon tarmoqlagichda optik signal kirishidagi N qutblar (portlar)ning birortasidan o'tadi va teng darajada chiqishdagi N qutblar (portlar) orasida 3.2- rasmda ko'rsatilgandek taqsimlanadi.



3.2- rasm. Yulduzsimon tarmoqlagich

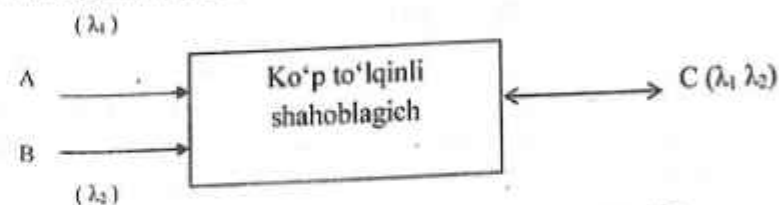
Yo'naltirilgan shahoblagich uch portli shahoblagich deb faraz qilinib, optik signalni bir yo'nalishda uzatish imkonini beradi, masalan 3.3- rasmda ko'rsatilgandek. A portdan C portgacha optik signal kabi boshqa yo'nalishdagi shu to'lqin uzunligi qabul qilinadi va C portidan B portiga uzatiladi.



3.3- rasm. Yo'naltirilgan shahoblagich

Ko'p to'lqinli shahoblagich – bu optik tarmoqlagich bo'lib, bunda optik signallarni tarmoqlash to'lqin uzunligi bo'yicha amalga oshadi.

3.4- rasmda 3 portga ega bo'lgan ko'p to'lqinli shahoblagich sxemasi keltirilgan. Bunday sxema, bitta optik toladan (C port) turli to'lqin uzunliklariga ega λ_1 va λ_2 (A va B portlarda) optik signallarni uzatish imkonini beradi.



3.4- rasm. Ko'p to'lqinli shahoblagich

Ko'p to'lqinli shahoblagich 3.3- rasmdagi sxema bo'yicha ham qo'llanilishi mumkin. Bunday holda u bir yo'nalishda λ_1 to'lqin uzunligiga ega optik signalni uzatish imkonini beradi, boshqa to'lqin

uzunligidagi λ_2 optik signal boshqa yo'nalishdan C portidan B portiga qabul qilinadi. Optik tarmoqlagichning asosiy xarakteristikalariga quyidagilar kiradi:

- olib kiradigan yo'qotish (insertion loss, IL) – optik tarmoqlagichning porti (i) va chiqish (j) portlari orasida optik nurlanish quvvati sathining farqi kabi aniqlanadi:

$$IL = -10 \lg \frac{P_i}{\sum P_j};$$

- aks qaytuvchi so'nish (return loss, RL) – i nchi kirish porti (P_{klr}) va shu port va aks qaytgan quvvat ($P_{aks\ qi}$) ning optik nurlanishning kirishdagi optik nurlanish quvvatining sathining farqi kabi aniqlanadi:

$$RL = -10 \lg \frac{P_{aks\ i}}{P_{klr\ i}};$$

- to'liq uzunligining ishchi diapazoni (passband) optik tarmoqlagichning ishi aniqlangan chegaradagi to'liq uzunligi diapazoni:

- tarmoqlangandagi yo'qotish (splitting loss, SL) – bu chiqish portlari orasida kirish signalining optik nurlanish quvvatining xaqiqiy taqsimlanishi bilan bog'liq bo'lgan yo'qotish. Masalan, portlar soni N bo'lganda va barcha chiqish portlari orasida kirish quvvati teng taqsimlanganda:

$$SL = -10 \lg 1/N;$$

- taqsimlanish nisbati (splitting ratio, SR) – chiqish portlari orasida optik nurlanish quvvati taqsimlanishini aniqlaydi. Bu xarakteristika, chiqish portlari bo'yicha xuddi uzatish koeffitsientlari majmuasi ko'rinishidagi kabi, chiqish quvvatining yig'indisi 100% qabul qilingan joyda, chiqish portlari bo'yicha optik nurlanish quvvatining foiz miqdoridagi ko'rinishi kabi ifodalanishi mumkin.

Optik multipleksor (OM) yoki optik demultipleksor rejimida ishlovchi, to'liq uzunligi bo'yicha optik tarmoqlagichlar ham yo'nalishi (OM) va izolyasiyasi (OD uchun) bo'yicha xarakterlanadi:

- yo'nalish (directivity, Di) – optik multipleksorning kirish portlarini izolyasiya o'lchovi hisoblanadi (yaqinda kesishuvchi xalaqitlar) va i-nchi kirish porti uchun xuddi i-nchi optik kanalning (λ_i to'liq uzunligida) kirishdagi optik nurlanish quvvati sathi va boshqa kirish portlari j#i oquvchi quvvati orasidagi farq aniqlanadi:

$$D_i = 10 \lg P_{kirish\ i}(\lambda_i) / P_{qutish\ j}(\lambda_j).$$

- izolyasiya (isolation, Ii) optik demultipleksorlarning (uzoqda kesishuvchi xalaqitlar) chiqish portlari izolyasiyasi o'lchovi hisoblanadi va i-nchi chiqish porti uchun xuddi λ_i to'liq uzunligida optik nurlanishning chiqish quvvati sathi va boshqa chiqish portlari orqali j#i oquvchi shu kanal quvvati orasidagi farq kabi aniqlanadi:

$$I = 10 \lg P_{qutish\ j}(\lambda_j) / P_{qutish\ i}(\lambda_i).$$

3.2. Optik attenyuatorlar

Optik attenyuatorlar (OA), kirish signalining optik nurlanish quvvatini zaiflashtiradi (so'ndiradi). 0-20 dB atrofida so'nish qiymatini to'g'rilash mumkin bo'lgan, o'zgaruvchan (yoki to'g'rilash mumkin bo'lgan) optik attenyuatorlar va so'nish qiymati o'rnatilgan qaydlovchi optik attenyuatorlarga bo'linadi.

OA ning asosiy xarakteristikasi olib keladigan yo'qotishning nominal va xaqiqiy qiymatlari orasidagi farq kabi aniqlanuvchi, olib keladigan yo'qotishga yo'l qo'yish hisoblanadi.

Faqatgina o'zgaruvchan optik attenyuatorlarning asosiy xarakteristikalariga:

- olib kiradigan (boshlang'ich) so'nish;
- so'nishni to'g'rilaydigan diapazon kiradi.

3.3. Optik filtrlar

Optik filtrlar bu ajratish (o'tkazish) yoki signalning optik nurlanish spektrida to'liq uzunligining ma'lum bir diapazonga og'ishini ta'minlovchi (o'tkazishi) qurilmadir. Qaydlovchi va sozlovchi (to'g'rilovchi) optik filtrlar mavjud.

Birinchisiga, to'liq uzunligi kodlovchi soxa bilan uzatiladigan optik filtrlar kiradi. Ular ishchi to'liq uzunligining katta o'tkazuvchanlik polosasi bilan xarakterlanuvchi bir tomonlama (keng polosali) va qo'shnilarini rad etgan holda to'liq uzunligini bir diapazonda o'tkazuvchi tor polosali optik filtrlarga bo'linadi.

Ikkinchisiga, markaziy to'liq uzunliklarni sozlash va filtrning o'tkazuvchanlik polosasi amalga oshishi mumkin bo'lgan interferensiyali optik filtrlar kiradi.

Optik filtrlarning asosiy xarakteristikalariga:

- to'liq uzunligining ishchi diapazoni (to'liq uzunliklarini "o'tkazuvchi" diapazon);
- optik signalning (to'liq uzunligi) spektral tashkil topuvchilarini "o'tkazuvchi" uzatish koeffitsienti kabi aniqlanuvchi;
- olib kiradigan (qo'shiladigan) so'nish;
- aks qaytish so'nishi;
- optik signal to'liq uzunligining o'tkazmaydigan spektral tashkil topuvchilari uchun uzatish koeffitsienti kabi aniqlanuvchi izolyasiya.

3.4. Optik izolyatorlar

Optik izolyatorlar, optik signallarga to'g'ri yo'nalishda kam so'nish (1-2 dB) va teskari yo'nalishda esa katta so'nish hosil qiladigan optik signallarni uzatishni ta'minlaydi.

Optik izolyatorlarning asosiy xarakteristikalariga quyidagilar kiradi:

- markaziy to'liq uzunligi – optik izolyator to'liq uzunligining ishchi diapazoni aniqlanadigan to'liq uzunligi;
- to'liq uzunligining ishchi diapazoni (operation wavelength range) – shunday to'liq uzunligi diapazoni, uning uchun optik izolyatorlarning uzatish xarakteristikalari aniqlangan;
- kiritiladigan yo'qotishlar (insertion loss) – optik signal so'nishini to'g'ri yo'nalishda (to'g'ri yo'nalishning uzatish koeffitsienti) aniqlaydi;
- ajratish (backward loss) – optik signal so'nishini teskari yo'nalishda (teskari yo'nalishning uzatish koeffitsienti) aniqlaydi;
- qutblanishga bog'liq bo'lgan yo'qotishlar (polarization dependent loss) – qutblanish xolatidan yuzaga kelib kiritiladigan

yo'qotishlar variatsiyalarining maksimumi.

3.5. Dispersiyaning passiv optik kompensatorlari

Dispersiyaning passiv optik kompensatorlari - bu tolali optik traktida xromatik dispersiyani kompensatsiyalash uchun ishlatiladigan komponent. U optik tola qirqimidan iborat bo'lib, xromatik dispersiyaning to'liq uzunligiga chiziqli bog'lanish egriligiga ega, bu bog'lanish optik traktida optik tola uchun qarama-qarshi egri.

3.6. Ajraladigan optik ulagichlar

Ajraladigan optik ulagichlar (A-OU) optik nurlanishni kiritish yoki chiqarish joylarida ulanuvchi optik tarmoqning turli komponentlarini ko'p martalab ulash/ajratish uchun ishlatiladi.

Ulanish turi bo'yicha quyidagi A-OU farqlanadi:

- FC/RU – kalit bilan rezbalı;
- ST – kalit bilan bayonetli qaydlov;
- SC – fiksator.

A-OU ning asosiy xarakteristikalariga quyidagilar ta'luqli:

- kiritiladigan yo'qotishlar;
- aks etish so'nishi;
- aks etish koeffitsienti;
- geometrik parametrlar;
- ulash/ajratishlar soni (ishonchliligi).

3.7. Ajralmaydigan optik ulagichlar

Ajralmaydigan optik ulagichlar (Ay-OU) ulanuvchi optik tarmoqlarning optik traktini doimiy montaj (ulash) joylarida qo'llaniladi.

Payvandlashli va mexanik Ay-OU lar farqlanadi.

Ay-OU asosiy xarakteristikalariga quyidagilar kiradi:

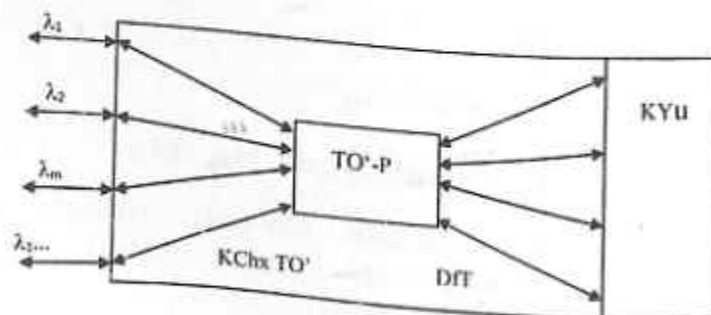
- kiritilgan yo'qotishlar;
- aks etish so'nishi;
- aks etish koeffitsienti;
- geometrik parametrlar.

3.8. Optik multipleksorlar va demultipleksorlar

Optik multipleksorlar (OM) va optik demultipleksorlar (OD) to'liq uzunligi bo'yicha ajratilgan tolali optik uzatish tizimlarida qo'llaniladi.

Optik multipleksorlash va optik demultipleksorlash qurilmalarning texnologik konstruksiyasi va ish prinsiplari o'xshash. 3.5- rasmda ko'zguli aks etuvchi qoplamali OM/OD ning tipik sxemasi keltirilgan.

Masalan, optik demultipleksorlash rejimida sxemaning ish prinsipini ko'rib chiqamiz. Natijaviy kirish optik signali ($\lambda_1, \dots, \lambda_m$) mos keluvchi kirish (chiqish) to'liq o'tkazgich (KCHx TO') orqali to'liq o'tkazgich-plastina (TO'-P) ga tushadi, bu erda difraksiya tuzilma (DFT) ni namoyon etuvchi, ko'plab to'liq o'tkazgichlarga taqsimlanadi. DFT ning har bir to'liq o'tkazgichidan signal natijaviy (to'liq uzunligi bo'yicha ajratilgan) optik signal bo'lib qoladi, har bir ($\lambda_1, \dots, \lambda_m$) kanal esa barcha to'liq o'tkazgichlarda keltirilgan bo'lib qoladi. Keyin signallarni ko'zguli yuza (KYU) dan aks etishi ro'y beradi, natijada yorug'lik oqimlari yana TO'-P da yig'iladi, bu erda ularning fokuslanishi va interferensiyasi amalga oshadi – ya'ni turli kanallarga mos keluvchi, intensivlikning muhitli taqsimlangan interferensiyon maksimumlari xosil bo'ladi.



3.5- rasm. Optik multipleksor va demultipleksor sxemasi

TO'-P geometriyasi, shu jumladan chiqishlarning joylashuvi va to'liq o'tkazgichlarning DFT ning uzunliklari, shu tarzda hisoblanadiki, interferensiyon maksimumlar TO'-P chiqishlari bilan mos kelishi kerak. Shu tarzda, λ_i ($i=1 \dots m$) kanalning optik signali shakllanadi, u mos keluvchi KCH x TO' orqali OD ning i-nchi

chiqishiga keladi.

Shunga o'xshash, lekin teskari yo'l bilan sxemaning OM rejimida ishlashi amalga oshadi.

OM va OD ning asosiy parametrlariga quyidagilar ta'aluqli:

- kiritiladigan yo'qotishlar (OM va OD uchun);
- yig'indi kiritiladigan yo'qotishlar (OM uchun);
- yo'nalganlik (OM uchun);
- aks etish so'nishi (OM va OD uchun);
- izolyasiya (OD uchun).

3.9. Optik kommutatorlar. Asosiy tushunchalar

Element bazasining borgan sari kichiklashib borayotgani hisobiga elektron komponentalarning unumdorligi oshib bormoqda.

Elektron komponentalar o'lchamining kichrayib borish chegarasiga etib qoldi va elektr kommutatsiya sistemalarining yagona muqobili optik kommutatsiya sistemalari hisoblanadi.

Optik kommutator – bu ma'lum to'liq uzunligidagi yorug'lik impulslari shaklida taqdim etilgan signallar kommutatoridir [4-5].

Optik kommutator – tolali optik telekommunikatsiya tarmoqlarining muxim elementlaridan biri bo'lib, u telekommunikatsiya tarmoqlarining optik signallarni o'ta yuqori tezliklarda uzatish qobiliyatida ishlashiga imkon beradi va signallarning yo'nalishlari (mashinlashtirilishi) uchun o'zgaruvchan platformani ta'minlaydi.

To'liq uzunligi bo'yicha bo'linish bilan multipleksirlash va kommutatsiya (to'liq uzunliklari kommutatsiyasi) bir – biri bilan juda yaqin bog'liq. Signallar kommutatsiyasi sistemasida va DWDM agregat oqimida har bir to'liq uzunligi o'tishdagi xalaqitlarni iloji boricha kamaytirish uchun qo'shni to'liq uzunliklardan aniq ajratilishi kerak.

Optik aloqa sistemalarining servislariga kirish imkoni bo'lishi bilan mijozlar bazasini ancha oshirish va transport trafika bo'lgan talabning o'sishi ko'zda tutiladi. Shu paytgacha keng polosali elektron kross – kommutatorlar tarmoqda trafikni taqdim etish talablarini qanoatlantirar edi, biroq bu sistemalarning murakkabligi va ularning kommutatsiya matritsalarining o'lchamlari aslida imkoni bor chegarasiga etdi. Optik kross-kommutatorlar trafikni yuklash darajasi

yuqori bo'lgan elektron raqamli kross-kommutatorlarning o'lchamlarini va murakkabligini kamaytirishi va marshrutlashtirishni to'liq uzunliklari darajasida amalga oshirishi mumkin.

Signallar STM-1 ga qaraganda yuqoriroq darajada marshrutlashtirilishi va optik darajada samarali ishlov berilishi mumkin. Optik matritsa haqiqatda, elektron matritsaga nisbatan kam quvvat iste'mol qiladi, yuqoriroq tezlikda ulaydi va katta xajmdagi trafiklarni kichikroq murakkablikda ishlov beradi.

Optik kommutator telekommunikatsiya tarmoqlarining yuqori unumdorligini, tarmoqning yaxshi ishlashini, xizmat ko'rsatish qiymatining pastligini va optik darajada signallarni marshrutlashtirish rekonfiguratsiyalanuvchi yo'llarni ta'minlaydi. Bu imkoniyatlar telekommunikatsiya sohasida raqamli kommutatsiyaning murakkab va qimmat operatsiyasining zarurligini yo'qotishga yordam beradi.

Optik kommutatorlarning asosiy vazifalari

Optik kommutatorlar tarmoqda bir qancha asosiy vazifalarni bajaradi [3]:

Tashish (transportirovka) – bir portdan boshqasiga tolali – optik kabelni butun o'tqazish polosasini, chastotalar polosasini yoki aloxida to'liq kanallarini kommutatsiyalash.

Tiklash – tolali – optik kabellarning ishdan chiqqan komponentlarini yoki uzilishlarini chetlab o'tish imkoniyati.

Tarmoqli testlash va boshqarish – sinov asboblari masalan, vaqt bo'yicha ajratish qobiliyatiga ega optik reflektorlarda kommutatsiyalanuvchi elementlar uzoqdagi bo'g'inlarda tolali – optik kabellarning to'plamini tekshirish uchun yoki trafikning faolligini uning o'tishini buzmaydigan usul bilan nazorat qilish uchun foydalaniladi.

Optik kommutatorlarning asosiy parametrlari

Kommutatorlar quyidagi parametrlar bilan tavsiflanadi [6]: "O'chirilgan" rejimida "ulangan" rejimiga nisbatan chiqishda kommutatsiyalanuvchi signalning susayish koeffitsienti (kommutatorning turiga bog'liq holda 40-50 dB dan 10 – 15 dB gacha o'zgartirilishi mumkin);

Kommutator tomonidan kiritilayotgan yo'qotishlar – kommutator tomonidan vujudga keltiriladigan signalning susayishi;

o'tish o'chishi – kerakli chiqishda signal quvvatining qolgan barcha chiqishlardagi signallar quvvatiga nisbati;

polyarizatsion yo'qotishlar – kommutatsiyalanuvchi signalning polarizatsiyasi (qutblantirilishi) natijasida vujudga keltiriluvchi susayishi (kuchsizlanishi).

Optik kommutatorlarning asosiy turlari

Ishlab chiqarish texnologiyasiga ko'ra kommutatorlarning quyidagi turlari farq qilinadi [4]:

1. Mexanik optik kommutatorlar.

Kirish optik portlaridan optik tolalar ulangan chiqish optik portlariga yorug'lik oqimini kommutatsiyalovchi elementning ko'chishidan foydalanadi. Bunday kommutatsiyalovchi element sifatida optik to'liq elitgich (volnovod) ning aylanuvchi kesmasi, prizma yoki yo'naltirilgan yulduzsimon tarmoqlagich bo'lishi mumkin [3].

2. Elektrooptik kommutatorlar.

Kommutatorlarning bu turi qo'yilgan kuchlanish ta'sirida oloqa koeffitsientining o'zgarishi hisobiga chiqish portlarining birida yorug'lik oqimini fokuslash uchun yo'naltirilgan tarmoqlagichlardan foydalanadi.

3. Akustooptik kommutatorlar.

Akustik to'liqlarda yorug'lik difraksiyasi asosida fotoelastiklik effekti yotadi muhit sindirish ko'rsatkichining elastik kuchlanishlar ta'sirida o'zgarishi.

Bu effekt oqibatida optik shoffof muxitda tarqalayotgan akustik to'liq vaqt va makonda davriy bo'lgan muxit sindirish ko'rsatkichi n ning g'alayonlanishini vujudga keltiradi.

Yorug'lik uchun bunday muxit tovush tezligi r bilan ko'chuvchi fazoviy difraksion panjarani tashkil etadi. Yorug'lik akustik maydon orqali o'tib, sindirish ko'rsatkichi nobirjinsliliklarida difraksiyalanadi. Bunda tovush to'liqini chastotasining o'zgarishi bilan yorug'lik to'liqining tushish burchagiga nisbatan og'ish burchagi (difraksiya) o'zgaradi. Bu xolat yorug'lik to'liqlari tarqalishi yo'nalishini boshqarishga imkon beradi.

4. Termooptik kommutatorlar.

Ularning ishlashi sindirish ko'rsatkichining temperatura ta'sirida o'zgarishi xodisasiga asoslangan.

5. Yarimo'tkazgichli optik kuchaytirgichlar asosidagi opto

elektron kommutatorlar. Kommutatsiya mexanizmini boshqaruvchi sifatida siljish kuchlanishidan foydalaniladi. Siljish kuchlanishi kichik bo'lganda kirish signali kuchaytirgich tomonidan yutiladi – "uzilgan" xolati yuzaga keladi. Kuchlanish ortganda signalning normal kuchayishi tiklanadi – "ulangan" xolati yuzaga keladi.

6. Integral aktiv to'lqin elitgich kommutatorlar. Bunday kommutator uning uchun tanlab olingan topologik sxemasiga mos keluvchi kommutatorning yagona bo'g'iniga sistemasining ayrim elementlarini bog'lovchi, yarimo'tkazgichli optik kuchaytirgichlar va optik to'lqin elitgich qurilmalardan tashkil topgan optoelektron integral sxemadan iborat.

7. Ko'p qatlamli yorug'lik elituvchi suyuqkristall matritsali kommutatorlar. Mazkur turdagi kommutatorlar suyuq kristallarning qo'yilgan boshqaruvchi kuchlanishning ta'sirida shoffof (yorug'lik o'tkazuvchi) yoki noshoffof bo'lish qobiliyatidan foydalanadi.

8. Mikroko'zgular massivi asosidagi kommutator mikroko'zgular massivi (matritsasi) ni boshqaruvchi mikroelektromexanik sistema (MEMS) dan iborat bo'lib, uning diametrlari millimetrdan kamdir.

Har bir mikroko'zgu mustaqil xarakterlanadi, bu ma'lum bir qayd qilingan burchakka buriluvchi va qaytgan nurni chiqish portiga kommutatsiyalovchi aylanuvchi yassi ko'zgudir [7]. 2D sistemalarda matritsa bitta (kvadrat, $n \times n$), ko'zgular matritsa tekisligida yotadi. 3D MEMS kommutatorlari 2D ga nisbatan ancha o'zgaruvchan va mashtablanuvchan bo'ladi va ko'p miqdordagi kommutatsiyalanuvchi nurlarni ta'minlaydi, biroq ular ancha murakkab.

Optoelektron kross – konnektorlarga nisbatan MEMS 3D optik kommutatorlar 30 marta kam xajmni egallaydi va taxminan 100 marta kam energiya iste'mol qiladi. Biroq qurilmalarning bu turi kamchiliklarga ham ega, birinchi navbatda – tez ishlashi past va vibratsiyalarga sezgir [7].

9. Golografik kommutatorlar 2000 yillarda paydo bo'ldi. Ularni ishlab chiqaruvchi yagona kompaniya – Trellis Photovics. Biroq faqat ulargina 3D EMS turidagi ancha mukammal kommutatorlar bilan raqobatlashishlari mumkin. Golografiya – manbaning to'lqin maydonini qayd etish xodisasidir (odatda 3 o'lchovli optik muxitlarda). Bunday kommutatorni yaratish uchun ma'lum sharoitlarda (kuchlanish berilganda) u orqali o'tayotgan ma'lum to'lqin uzunligidagi yorug'lik signalini ma'lum chiqishga o'tqazishga (yoki o'tkazmaslikka) imkon

beradigan, ularda manbalarning to'lqinlari bilan yozilgan (golografik 3 o'lchovli Bregg difraksion panjaralari bilan) golografik kristallar matritsasidan foydalaniladi [4].

10. Foton kristalli kommutatorlar. Foton kristallar – ma'lum bir chastotali diapazondagi yorug'likning tarqalishiga to'sqinlik qiladigan taqiqlovchi zonaga ega bo'lgan davriy dielektrik tuzilmalar. Bunday kristallda nuqtali va chiziqli nuqsonlarni yaratib (tabiiy rezonans bo'shliqlar) optik elituvchining taqiqlangan zona orqali (tonnel, effektidan foydalanib) "tonnel" o'tkazishini va elituvchining bir ichki kanaldan boshqasiga kommutatsiyalanishini amalga oshirish mumkin [4].

"Foton kristallar" tabiatda mavjud bo'lmagan metamateriallarga kiradi, lekin ular laboratoriya sharoitida yaratilishi mumkin [4, 6].

Optik aloqa tizimlarning komponentlariga bo'lgan asosiy talab shundan iboratki, ular optik aloqa liniyasi uzunligi bo'ylab hamma kanallarni bir xil qayta ishlashi kerak. Buning uchun optik uzatuvchi modul, multipleksor/demultipleksor, kuchaytirgich, optik tola va optik qabul qiluvchi modullarni puxta, diqqat bilan tanlash talab etiladi. Alohida komponentlarni yagona bir tizimga birlashtirganda, ularning xarakteristikalaridagi uncha katta bo'lmagan farqlanishlar yig'ilib, tarmoq parametrlariga ta'sir etishi mumkin.

WDM tizimlarining multipleksor, demultipleksor, tor polosali filtrlarida ingichka plenkali filtrlar, bikonik tarmoqlagichlar BFT (Fused Biconic Tapered Coupler), to'lqin uzatuvchilar massivi asosidagi panjaralar AWG (Array Waveguide Grating), tolali bregg va oddiy difraksion panjaralar ishlatiladi. Aktiv komponentlar (ayniqsa optik kuchaytirgichlar) ning ta'sirini va ularning nomaqbul ta'sirini kamaytirish uchun uzatiladigan axborotlarning yaxlitligiga kanallarning o'zaro interferensiyasini tadqiq etish kerak.

WDM tizimlarida qo'shni kanallar to'lqin uzunliklarining farqi juda kichik va ko'plab komponentlarning parametrlari ruxsat etilgan og'ishlar chegarasiga qat'iy mos kelishi kerak. Kanallar soni ko'p bo'lganda ishlatiladigan spektral diapazon etarli keng bo'ladi hamda barcha kanallar uchun parametrlar (kuchaytirish koeffitsienti, dispersiya, kiritiladigan shovqin sathi va b.q.) ning yaqin qiymatlarini saqlab turish murakkab vazifa bo'lib qoladi [8].

Tarmoqning kafolatlangan ishonchligini ta'minlash uchun, nafaqat har bir qurilmani – komponentni alohida testlash, balki uzatish,

Nazorat savollari

1. Tolali optik aloqa tizimlarining passiv elementlariga tavsif bering.
2. Tolali optik aloqa tizimlarining qanday passiv elementlarini bilasiz?
3. Tolali optik aloqa tizimlarining passiv elementlari qanday parametrlar bilan tavsiflanadi?
4. Nurlanish quvvatini optik tolaga kiritish qurilmasini tavsiflang.
5. Optik ulagichlar qanday maqsadlarda ishlatiladi? Ajraladigan va ajralmaydigan ulagichlarga tavsif bering.
6. Optik tarmoqlagichlardan qanday maqsadlarda foydalaniladi? Daraxtsimon, yulduzsimon tarmoqlagichlarga, optik shahoblagichga tavsif bering.
7. Optik tarmoqlagichlar qanday parametrlar bilan tavsiflanadi?
8. Tolali optik tarmoqlagichlar blokining tuzilish sxemasini tavsiflang.
9. Tolali optik tarmoqlagichlar blokini optik tarmoqqa ulash sxemasini tavsiflang.
10. Multipleksor/demultipleksorlarga tavsif bering? Ulardan qanday maqsadlarda foydalaniladi?
11. Multipleksor/demultipleksorlar qaysi turdagi filtrlar asosida tayyorlanadi?
12. Multipleksor/demultipleksorlarning qanday turlari mavjud?

liniyasini ham to'liq testlash kerak. Uzatish liniyasi qurilmalarining optik xarakteristikalarining sifatini nazorat qilish muhim hisoblanadi, sifat nazorati qurilma ishlab chiqarilgandan boshlanib, tizimli integratsiya bosqichi bilan tugaydi. Uzatish liniyasida yuqori sifatli optik xarakteristikalariga ega bo'lgan qurilmalardan foydalanish, bu qurilmalar sifatining nazorati tizimni uzoq muddatli barqaror ishlashini kafolatlaydi. Optik aloqa tarmoqlarida kommutatsiyaning ikkala turi: kamlar kommutatsiyasi va paketlar kommutatsiyasi foydalaniladi. Kanallar kommutatsiyasida kommutatsiya konfiguratsiyasining oldindan aniqlagani uchun kommutatsiyani nazorat qilish soddalashtirilishi mumkin va uni real vaqtda amalga oshirishning zarurati yo'q.

Mana shuning uchun ham kanallar kommutatsiyasi uzatish tezliklari yuqori bo'lgan optik aloqada asosan afzalroqdir.

Paketlar kommutatsiyasida uzatish tezliklarining ortishi bilan paketlar uzunligi kamayadi. Natijada, kommutatsiya konfiguratsiyasini o'zgartirish tezligiga talab ham qat'iyroq bo'la boshlaydi. Masalan, kommutator katta bo'lganda, kommutatsiya tezligi ichki ishga sig'imi bilan chegaralangan bo'ladi.

Blokirovkalar qilish ehtimolini pasaytirish uchun buferlashtirishdan foydalanuvchi paketlar kommutatorlarining ko'pgina konstruksiyalaridan foydalanish fotonli kommutatsiyada qiyinchilik tug'diradi. Fotonlar elektronlar kabi "saqlanib" qololmaydi. (chunki fotonlar tinchlik massasiga ega emas). Fotonlar buferlashtirilishini faqat tutib qolish chiziqlarini kiritish vositasida tashkil etish mumkin. Natijada blokirovka qilish ehtimolini pasaytirish uchun buferlashtirishdan foydalanuvchi paketlar kommutatorlarining ko'pgina konstruksiyalaridan foydalanish foton kommutatsiyasida qiyinchilik tug'diradi.

Fotonli kommutatsiya kanallarni fazoviy bo'lish bilan, vaqt bo'yicha bo'lish (ajratish) bilan, to'liq uzunligi bo'yicha, qutblanish turi bo'yicha amalga oshirilishi mumkin. Kommutatsiyaning bu barcha turlari va ularning kombinatsiyalari mantiqiy ekvivalent bo'lishi mumkin.

Shunday qilib, bugungi kunga kelib mavjud bo'lgan optik kommutatorlarni yo'qotishlar ko'rsatkichlari, yashovchanligi, axborot xavfsizligi va uzib - ulash tezligi bo'yicha tayyorlash texnologiyalaridan fotonli kristallardagi kommutatorlar etakchilik qilmoqda.

IV-BOB OPTIK SIGNALLARNI UZATUVCHI VA QABUL QILUVCHI ELEMENTLAR

4.1. Optik signallarni uzatgichlari

Tolali optik aloqa tizimlarida elektr signalini yorug'lik signaliga o'zgartirish uzatuvchi optoelektron moduli tomonidan amalga oshiriladi.

Yorug'lik manbai uzatuvchi optoelektron modulning asosiy elementi hisoblanadi, aynan shu element yordamida bu modul kirishidagi elektr signallari uning chiqishida yorug'lik signallariga o'zgartiriladi.

Tolali optik aloqa tizimlarida qo'llaniladigan yorug'lik manbalariga quyidagi talablar qo'yiladi:

- yorug'lik manbai optik kabelning ko'ndalang kesimiga muvofiq o'lcham-larga ega bo'lishi kerak;
- signalni uzoq masofaga uzatish uchun yorug'lik manbai etarli darajada katta quvvatga ega bo'lishi kerak;
- yorug'lik manbai chiqishidagi nurlanish quvvatining yo'qotishlarini imkon qadar kamaytirish uchun yorug'lik manbai optik -zichligi bo'yicha optik tola bilan muvofiqlashgan bo'lishi, boshqacha qilib aytganda, uning sindirish ko'rsatkichi optik tolaning sindirish ko'rsatkichiga yaqin bo'lishi kerak;
- yorug'lik manbaini nurlanishi optik tolaning shaffoflik "darcha" laridan biriga mos kelishi kerak. Hozirgi kunda qo'llanishda bo'lgan optik tolalarda yorug'likning tarqalish jarayonida yutilishi va boshqa turdagi yo'qotishlar juda kam sodir bo'ladigan uchta ana shunday "darcha" mavjud. Ularning markazlari quyidagi to'lqin uzunliklariga mos keladi: $\lambda=850$ nm; $\lambda=1300$ nm; $\lambda=1550$ nm;
- axborotlarni talab etilgan tezliklarda uzatishni ta'minlash uchun yorug'lik manbai etarli darajada katta modulyasiya chastotalarida ishlay olishi kerak;
- haroratning o'zgarishlari yorug'lik manbai ishiga imkon qadar kam ta'sir qilishi kerak;

- yorug'lik manbaini tannarxi nisbatan arzon bo'lishi kerak;
- yorug'lik manbaini xizmat muddati etarli darajada katta bo'lishi kerak.

Bugungi kunda tolali optik uzatish tizimlarida bu talablar majmuiga javob beradigan yorug'lik manbalarining ikki turidan - yarim o'tkazgichli yorug'lik diodlari va injeksion lazer diodlaridan foydalaniladi. Quyida ularning ish prinsipi, xarakteristikalar va parametrlarini batafsil ko'rib chiqamiz.

4.1.1. Yarim o'tkazgichli lazer nurlanish manbalarining ish prinsipi

Oddiy sharoitda barcha materiallar yorug'likni sochish o'rniga uni o'ziga yutish xususiyatiga ega. Yorug'likni yutish jarayonini 4.1 (a)-rasm orqali izoxlash mumkin, unda E1 va E2 - energetik sathlar yutilayotgan muhitdagi atomlarning asosiy holati va qo'zg'algan holatiga mos keladi. Mikrozarralarning bir energetik sathdan boshqasiga o'tishi kvant o'tish deb ataladi. Kvant o'tish chog'ida

$$h\nu_{\mu} = W_j - W_i \quad (4.1)$$

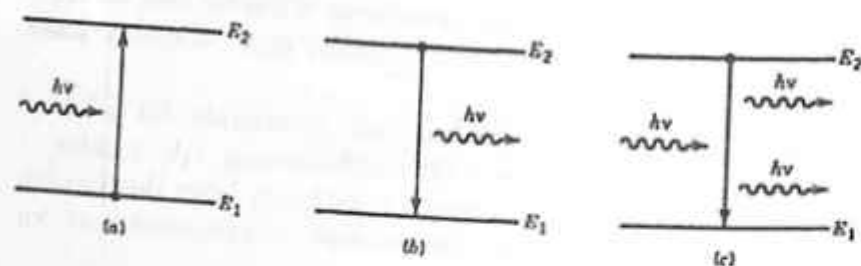
munosabat bilan aniqlanadigan energiya ajralib chiqadi yoki yutiladi.

Mikrozarrachalarning bir tebranma harakat sathidan boshqa tebranma harakat sathiga o'tishi natijasida *infraqizil nurlanish* hosil bo'ladi.

Mikrozarrachalarning bir energetik sathdan boshqasiga o'z-o'zidan, ya'ni tashqi ta'sirsiz o'tishi spontan o'tish deb ataladi. Spontan o'tish chog'ida bir xil chastotali, biroq turli yo'nalishlar bo'yicha tarqaladigan, fazalari bir-biridan farq qiladigan, qutblanish tekisligi turlicha bo'lgan kvantlar hosil bo'ladi (4.1, a- rasm).

Mikrozarrachalarning bir energetik sathdan boshqa energetik sathga tashqi elektromagnit nurlanish ta'sirida o'tishi majburiy o'tish deyiladi. Bunda energiya yutilishi yoki ajralishi mumkin (4.1, b- rasm).

Yuqori energetik sathdan quyi energetik sathga majburiy o'tish sodir bo'lganida tashqi elektromagnit nurlanish kvantlariga aynan o'xshash kvantlar hosil bo'ladi. Bu holda nurlanishning chastotasi, fazasi, tarqalish yo'nalishi, qutblanish tekisligi bir xil bo'ladi.



4.1- rasm: Atomning ikkita energetik sath o'rtasida sodir boladigan uch asosiy jarayoni: (a) yutilish; (b) spontan emissiya; (v) stimulyatsion emissiya

Agar kvant tizimiga tashqaridan ta'sir ko'rsatib, uni nomuvozanatli holatga o'tkazilsa, yuqorigi energetik sathlar quyi energetik sathlarga qaraganda ko'proq egallanib qolishi mumkin. Energetik sathlarning bunday egallanishi teskari egallanganlik yoki invers egallanganlik deb ataladi.

Energetik sathlari teskari egallangan kvant tizimiga energiyasi energetik sathlarning farqiga teng kvantlar bilan ta'sir qilinsa, yuqorida qayd etilganidek, majburiy nurlanish ulushiga qaraganda katta bo'lishiga erishilsa, nurlanishning kuchayishi sodir bo'ladi. Bu hodisa optik kvant kuchaytirgichlari ish prinsipining asosini tashkil etadi. Mazkur kvant tizimida, bunga qo'shimcha tarzda teskari bog'lanish hosil qilish choralari ko'rilsa, u o'z-o'zidan uyg'onish (qo'zg'alish) rejimiga o'tadi. Bunday jarayon kogerent va monoxromatik nurlanish manbai bo'lgan lazerlarning ish prinsipi asosini tashkil etadi.

4.1.2. Yarim o'tkazgichli lazer nurlanish manbalari

Lazer diodi – majburiy nurlanish qo'llaniladigan kogerent, monoxromatik optik nurlanish manbai hisoblanadi. Lazer diodlari, tolali optik aloqa tizimlarining uzatuvchi optoelektron modullarida yorug'lik manbai vazifasini o'taydi. Lazer diodlarining quyidagi turlari keng tarqalgan:

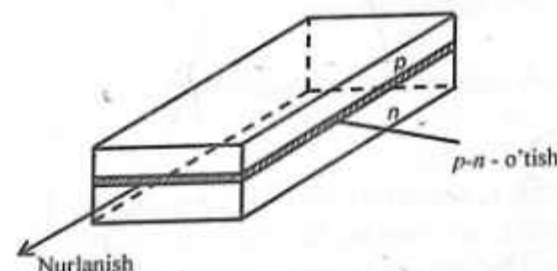
- ko'p modali yoki Fabri-Pero rezonatorli lazerlar;
- bir modali lazerlar;
- bir modali taqsimlangan teskari aloqali (DFB) lazerlar;

- taqsimlangan Bregg aks etishli lazerlar;
- tashqi rezonatorli lazerlar.

Ko'p modali yoki Fabri-Pero rezonatorli lazerlar

GaAs yoki InP yarim o'tkazgich turlaridan biri asosida tayyorlangan, kristallning ikki qarama-qarshi ko'ndalang kesimiga perpendikulyar bo'lgan p-n o'tishli oddiy LD tuzilishi 4.2-rasmda tasvirlangan.

Aks ettiruvchi parallel, ko'ndalang yuzalar Fabri-Pero rezonatorlarini tashkil etadi. Tashuvchilar rekombinatsiyasi o'tish tekisligi yaqinida amalga oshadi va Fabri-Pero rezonatorlari hisobiga musbat teskari aloqa hosil qilinadi. Ko'ndalang yuzalardan aks etish havoning va yarim o'tkazgichning n sindirish ko'rsatkichlarini farqlanishi bilan tushuntiriladi. Nomaqbul yo'nalishlarda generatsiya yuzaga kelmasligi uchun nurlantirmaydigan yuzalarning g'adir-budirliigi ta'minlanib, ularning dag'allashuviga erishiladi.



4.2- rasm. p-n o'tishli, Fabri-Pero rezonatorli lazer diodi

Bir modali lazerlar

Bir modali lazerlarda modaning nurlanish spektri tor bo'lib, $\Delta\lambda=0,1-0,4$ nm ni tashkil etadi. Bundan tashqari, agar bir modali lazer to'g'ri sozlangan bo'lsa, unda birinchi yon modaning balandligi asosiy modanikiga qaraganda juda bo'lmaganda 30 dB ga past bo'lishi mumkin.

Taqsimlangan teskari aloqali yarim o'tkazgichli lazer diodlari

Taqsimlangan teskari aloqali yarim o'tkazgichli lazer diodi (TTA-LD, DFB) Fabri-Pero yassi rezonatorning takomillashgan turi bo'lib, uning ikki qatlami o'rtasida (odatda n-InP va n-InGaAsP qatlamlari o'rtasida) davriy difraksiya panjarasi joylashtiriladi. Bu bilan sindirish ko'rsatkichining fazo bo'yicha davriy ravishda o'zgarib turishiga erishiladi, bu esa to'lqin tarqaladigan aktiv soha qalinligining davriy o'zgarishiga olib keladi (4.3-rasm).



4.3- rasm. Taqsimlangan teskari aloqali yarim o'tkazgichli lazer diodi

Teskari aloqa, rezonatorlar yuzasiga tegishli uzunlik bo'yicha taqsimlangan bo'ladi. Bu turdagi lazerlarning tuzilishi teskari aloqa mexanizmi evaziga to'lqin uzunligini tanlash imkonini yaratadi.

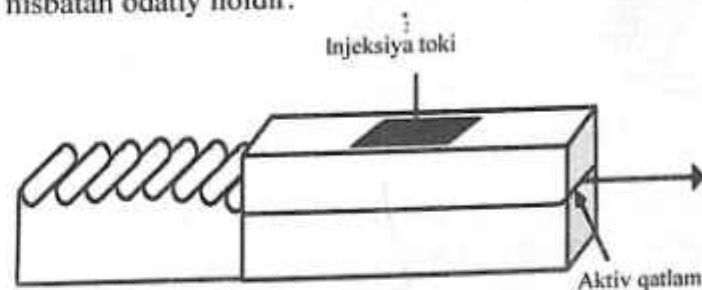
Bunda difraksiya panjarasining qadami bilan aniqlanadigan, qayd etilgan to'lqin uzunliklaridagina teskari aloqa hosil bo'ladi, ya'ni faqatgina panjara davridan qisqa bo'lgan to'lqin uzunliklar qoladi. Bu bilan rezonatorlarda qo'zg'aladigan modalar sonining kamayishiga erishiladi va faqat yuqori quvvatli, qisqa spektrli asosiy modaga tegishli signalnigina uzatishga imkoniyat yaratiladi.

Difraksiya panjara lazer diodi ichida joylashgan bu turdagi lazerlarni ishlab chiqarish texnologiyasi murakkabdir.

Taqsimlangan Bregg ko'zguli lazerlar

Taqsimlangan Bregg ko'zguli lazerlarda (TBK-LD, DBR lazerlar) difraksiya panjara aktiv sohadan tashqarida joylashtiriladi (4.4-rasm).

Bu turdagi lazer diodlarida yagona asosiy modaning generatsiyasi taqsimlangan teskari aloqali yarim o'tkazgichli lazerlarga nisbatan odatiy holdir.



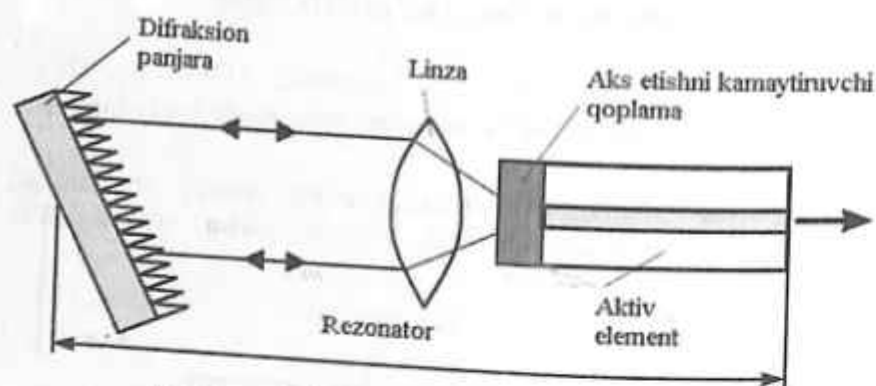
4.4- rasm. Taqsimlangan Bregg ko'zguli lazer diodi

Bunday tuzilishli lazerlarda hattoki yuqori tezlikli modulyasiya jarayonida ham modalarning birdan o'zgarishi kuzatilmaydi, aksincha faqatgina bitta asosiy moda hosil bo'ladi. Bu esa, taqsimlangan Bregg ko'zguli lazerlarning bir modali optik tolalarda va kanallari spektr bo'yicha zichlashtirilgan uzatish tizimlarda nurlanish manbai sifatida ishlatilishiga qulaylik yaratadi.

Tashqi rezonatorli lazer diodlari

Tashqi rezonatorli lazer diodlarida ularning bir yoki ikkala ko'ndalang yon tomoni aks ettirishni kamaytiruvchi, maxsus qatlam bilan qoplanadi va mos ravishda yarim o'tkazgichli aktiv sohaning atrofida bitta yoki ikkita ko'zgu qo'yiladi. 4.5-rasmda bitta tashqi rezonatorli lazer diodining tuzilishi ko'rsatilgan.

Aks etishni kamaytiruvchi qoplama aks etish koeffitsientini taxminan to'rt tartibga kamaytiradi, aktiv qatlamning boshqa ko'ndalang yoni esa 30% gacha yorug'lik oqimini aks ettiradi. Aks ettiruvchi difraksiya panjarasi ko'zgu va difraksiya panjarasidan tarkib topadi.



4.5- rasm. Bitta tashqi rezonatorli lazer diodi

Ko'zgu difraktsiya panjarasi vazifasini to'ldiradi. Ko'zgu va aktiv soha o'rtasida teskari aloqani yaxshilash uchun linza o'rnatiladi.

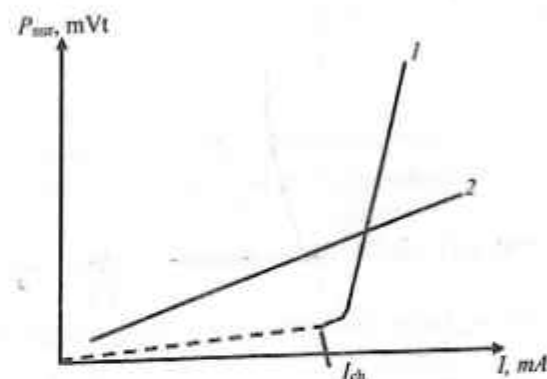
Aks ettiruvchi difraktsiya panjarasigacha bo'lgan masofani oshirib yoki kamaytirib, shuningdek panjarani burish hisobiga panjara qadamini o'zgartirish orqali nurlanish to'lqin uzunligini bir tekisda o'zgartirish mumkin. Shu sababdan bunday lazerlar sozlanuvchan lazerlar deyiladi. Bu turdagi lazer diodlari yordamida to'lqin uzunligini 30 nm oraliqqacha o'zgartirish mumkin. Tashqi rezonatorli lazer diodlari spektr bo'yicha zichlashtirish apparaturalarini va tolali optik aloqa uchun mo'ljallangan o'lchov qurilmalarini yaratishda juda kerakli hisoblanadi.

4.1.3. Lazer diodining xarakteristika va parametrlari

Lazer diodlar (LD) odatda uzoq masofali va yuqori tezlikli (155 Mbit/s dan yuqori) optik tizimlarida qo'llaniladi.

LDlarning tavsiflari. LDlar nurlanish quvvati va uni tashqi injeksiya tokiga bog'liqligi, nurlanishni yo'nalganlik diagrammasi Θ va nurlanish spektri, xizmat muddati bilan tavsiflanadi. LD yorug'lik diodiga (YOD) qaraganda tashqi injeksiya tokini katta qiymatlarida ishlaydi. Tashqi injeksiya toki I_i oshib, chegaraviy I_{ch} qiymatga etgach, generatsiya, qachonki tuzilishdagi yo'qotishlar kuchayishlarga teng bo'lganda lazer effekti yuzaga keladi, ya'ni indutsiyalangan (majburiy) nurlanish hosil bo'ladi. Nurlanish

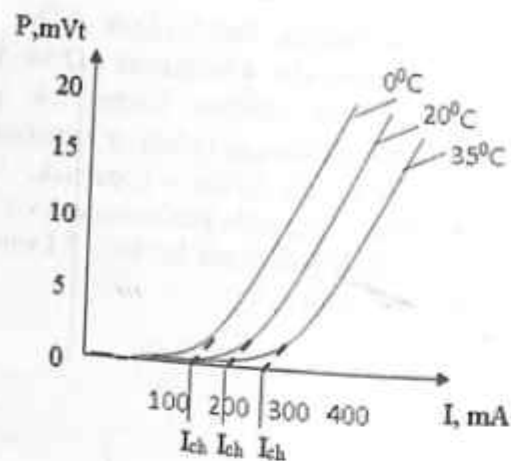
quvvatini tashqi injeksiya tokiga bog'liqligini LDni vatt-amper xarakteristikasidan ko'rish mumkin. 4.6-rasmda LD va YODlarning vatt-amper xarakteristikalari ko'rsatilgan. Kichik tok qiymatlarida LDda kuchsiz spontan nurlanish yuzaga keladi, u samarasiz yorug'lik diodi sifatida ishlaydi. Yuqorida aytib o'tilgandek, tok qiymati chegaraviy tok I_{ch} qiymatidan oshganda nurlanish quvvati P_{nurl} keskin oshib, kogerent majburiy nurlanish hosil bo'ladi. LDning nurlanish quvvati 1-100 mVtni tashkil etadi.



4.6- rasm. Vatt-amper xarakteristikalar: 1- lazer diodi uchun; 2- yorug'lik diodi uchun

Lazer chegaralangan pik quvvatli nurlanish manbai hisoblanadi. Bu damlash tokining katta qiymatlarida quvvatning kamayib borishi bilan bog'liq. Lazer diodiga xos yana bir muhim xususiyat shundaki, atrof muhit haroratining o'zgarishi vatt - amper xarakteristikasi ko'rinishining o'zgarishiga olib keladi (4.7-rasm).

Bu chegaraviy tok va chiqish quvvati qiymatlarining o'zgarishiga olib keladi. Bu kamchilikni bartaraf etish uchun kompensatsiyalashning elektr sxemalari, shuningdek mikrosovutgichning ishini boshqaruvchi, termokompensatsiyalash sxemalaridan foydalaniladi.



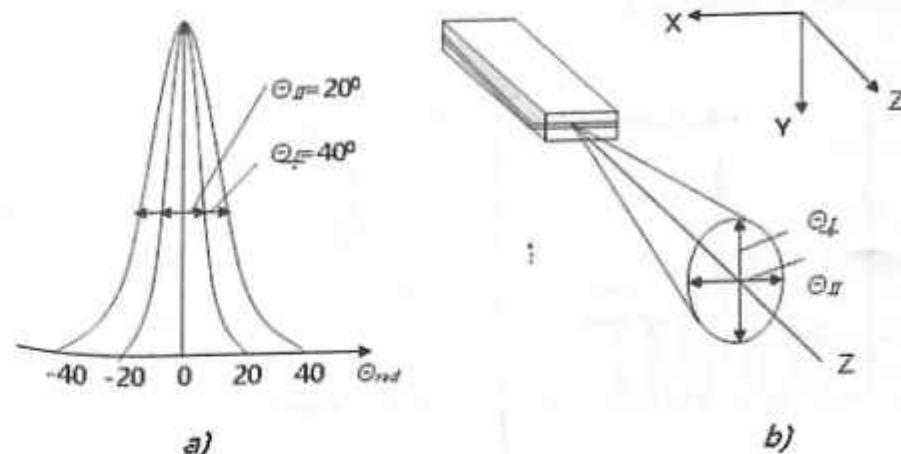
4.7- rasm. Lazer diodining vatt-amper xarakteristikasining temperaturaga bog'liq ravishda o'zgarishi

4.8- rasmda LD optik nurlanishining yo'nalganlik diagrammasi ko'rsatilgan.

Rasmdan ko'rinib turibdiki, lazer nurlanishining diagrammasi nosimmetrik. Quvvatning yarim sathida o'lchanganda uning kengligi o'tishga parallel yuzada 20° dan kichik va perpendikulyar yuzada 40° dan katta (4.8, a-rasm). 4.8, b-rasmda o'zaro perpendikulyar yo'nalishlarda nurlanish quvvatining burchakka bog'liqligi ko'rsatilgan.

Yo'nalganlik diagrammasi ellips konus ko'rinishiga ega. Generatsiyalanadigan nurlanishning etarli katta yoyilganligi, uni kichik sonli aperturali optik tolaga samarali kiritishga to'sqinlik qiladi. Buning uchun maxsus moslashtiruvchi qurilmalarni qo'llash talab etiladi.

Magistral tolali optik aloqa liniyalarida asosan signallar 1,3 va 1,55 mkm to'lqin uzunliklarida uzatiladi. Magistral aloqa liniyalari kabellari bir modali tolalardan iborat bo'lgani uchun ham lazer diodidan foydalanish kerak. Chunki lazer diodining yo'nalganlik diagrammasi yorug'lik diodlarinikiga qaraganda tor va bu nurlanishni tolaga kiritishni osonlashtiradi.



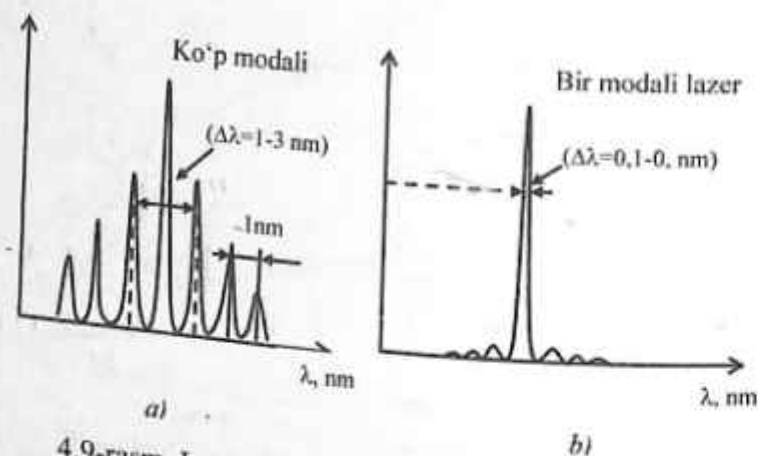
4.8- rasm. Optik nurning lazer dioddagi y o'nalganlik diagrammasi: a) parallel va perpendikulyar yuzalardagi nurlanish kengligi; b) o'zaro perpendikulyar yo'nalishlarda nurlanish quvvatining burchakka bog'liqligi

Lazer diodlarining spektral xarakteristikalari. 4.9, a-rasmdagi katta amplitudali moda – bu to'lqin uzunligining asosiy modasi, kichik amplitudali modalar – yon modalari hisoblanadi. Yon modalar orasi taxminan 1 nm ga teng. Lazer nurlanish modulyasiyasida nafaqat asosiy moda, shuningdek yon modalar ham modulyasiyalanadi. Bunday lazerlarda optik nurlanishning to'liq spektr kengligini yarmi 4-5 nm ga teng.

Ko'p modali lazerlarda nurlanish spektrining kengligi dispersiya qiymatini oshishiga olib keladi. Bu kamchilikni bartaraf etish uchun bir modali lazerlardan foydalanish talab etiladi. Bir etish uchun bir modali lazerlarda modani o'zini nurlanish spektri tor bo'lib, $\Delta\lambda=0,1$ modali lazerlarda modani o'zini nurlanish spektri tor bo'lib, $\Delta\lambda=0,1$ modali lazer to'g'ri sozlangan bo'lsa, unda birinchi yon moda asosiy modadan juda bo'lmaganda 30 dB ga past bo'lishi mumkin.

Lazer diodlarining tezkorligi p-n o'tish orqali injeksiyalanayotgan zaryad tashuvchilarning baza sohasida to'planish va ekstraksiyalanayotgan zaryad tashuvchilarning so'rilish vaqtlari

bilan yoki p-n o'tish sig'imining zaryadlanish va razryadlanish vaqtlari bilan aniqlanadi.



4.9-rasm. Lazer diodlarning nurlanish spektrlari: a) - ko'p modali lazer diodining nurlanish spektri; b) - bir modali lazer diodining nurlanish spektri

Lazer diodlarining tezkorligi 10^{-9} – 10^{-10} s ni tashkil etadi. Shu sababdan lazer diodlardan katta tezlikli (Gbit/s) tolali optik uzatish tizimlarida foydalaniladi.

Xizmat muddati yorug'lik manbalarining muhim ekspluatatsion parametrlaridan biri hisoblanadi. Yorug'lik manbalarining degradatsiyasi ularning asta sekin va katastrofik eskirishiga olib keladi. Bu hol yorug'lik diodlari xizmat muddatini 10^6 – 10^7 soat oraliq, lazer diodlarining xizmat muddatini uzog'i bilan 10^5 soat bilan cheklaydi.

4.1.4. Yorug'lik diodining tuzilishi

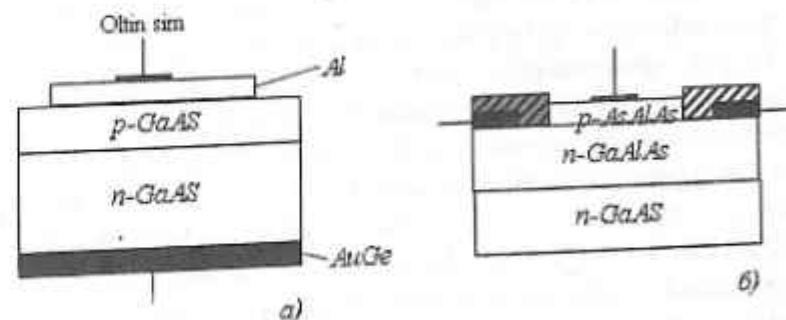
Yorug'lik diodi spontan, nomonoxromatik va nokogerent nurlanish manbai bo'lib, uni tayyorlashda GaAs, GaAlAs, InGaAsP, GaP, SiC kabi to'g'ri zonali yarim o'tkazgich materiallardan foydalaniladi. Agar 3-4 turdagi elementlardan foydalanilsa, komponentlarning o'zaro nisbatiga mos holda taqiqlangan zona E_q energiyasi o'zgaradi. Bu bilan turli to'lqin uzunliklarini

nurlantiruvchi manbalarni yaratishga imkon tug'iladi. Komponentlarning o'zaro nisbatini o'zgarishidan sindirish koeffitsienti ham o'zgaradi.

YODlar uchta tiniqlik oynalari 850, 1310 va 1550 nm da ishlatish uchun ishlab chiqariladi. Lekin, ular ko'proq 850 va 1310 nm da qo'llaniladi. YODlarni ishlab chiqarish lazer diodlariga qaraganda arzon.

Quyidagi 4.10, a-rasmda GaAs asosidagi yorug'lik diodining odatiy tuzilishi ko'rsatilgan. U n turdagi GaAs qatlami sirtiga rux atomlarini diffuziya qilib, p-GaAs qatlamini shakllantirish va shu tariqa p-n o'tishli tuzilma hosil qilish yo'li bilan tayyorlanadi. So'ngra p-GaAs va n-GaAs qatlamlarining tashqi sirtlari mos ravishda alyuminiyli va AuGe aralashmali pardasimon metallashtirilgan qatlamlar bilan qoplanadi va ularga oltin simli chiqqichlar o'rnatiladi. Asbob asosini tashkil etgan kristallning yuza sirti o'lchamlari 0,3-0,5 mm li kvadrat ko'rinishiga ega bo'ladi.

Tolali optik aloqa tizimlarida nurlanuvchi sirt yuzasi nisbatan kichik o'lchamli ($d \approx 50$ mkm) yorug'lik diodlaridan foydalaniladi (4.10, b-rasm). Buning uchun yorug'lik diodi emitter sohasi (p-GaAs sohasi)ning chetki qismlari protonlar bilan bombardimon qilinadi. Natijada bu qismlar nurlanish sohasini cheklovchi amorf tuzilishli dielektrik qatlamga aylanadi.



4.10-rasm. Yorug'lik diodining tuzilishi

Yorug'lik diodi p-n tuzilishli optoelektron asbob bo'lib, uning ish mexanizmi to'g'ri ulangan p-n o'tish orqali n sohadan p sohaga injeksiyalanayotgan elektronlarning va p sohadan n sohaga

injeksiyalanayotgan kovaklarning o'zaro rekombinatsiyasi jarayonidan foydalanishga asoslangan. Bu jarayon natijasida elektronlar o'tkazuvchanlik energetik sohasidan valent energetik sohasiga o'tibganda fotonlar energiyasi quyidagi munosabat bilan aniqlanadigan nurlanish hosil bo'ladi:

$$h\nu \geq \Delta W_{M.E.S.} \quad (4.2)$$

bu erda h – Plank doimiysi; ν – yorug'lik chastotasi; $W_{M.E.S.}$ – yarim o'tkazgich materialining man etilgan energetik sohasi kengligi.

4.1.5. Yorug'lik diodining asosiy xarakteristikalar va parametrlari

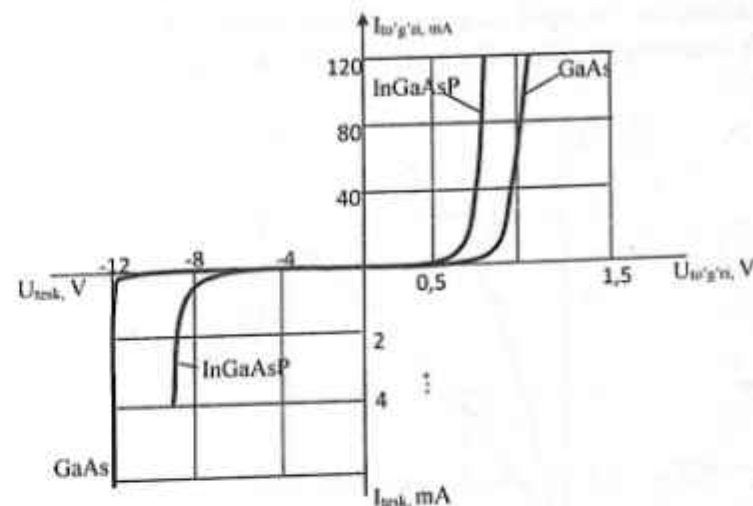
Yorug'lik diodi quyidagi asosiy xarakteristikalar bilan tafsivlanadi:

- volt – amper xarakteristika;
- vatt – amper xarakteristika;
- spektral xarakteristika;
- yo'nalganlik diagrammasi.

Quyida bu xarakteristikalar bilan qisqacha tanishib chiqamiz.

Yorug'lik diodining volt – amper xarakteristikasi. Yorug'lik diodi o'zgarimas tok elektr zanjirining elementi sifatida volt-amper xarakteristikasi, ya'ni diodga qo'yilgan kuchlanish va undan oqib o'tayotgan tok orasidagi bog'lanish bilan tafsivlanadi (4.11-rasm).

To'g'ri yo'nalishda, ya'ni yorug'lik diodiga qo'yilgan kuchlanishning musbat qiymatlarida, undan noasosiy zaryad tashuvchilarning injeksiyasi tufayli hosil bo'ladigan tok oqib o'tadi va bu xarakteristika barcha diodlar uchun xos bo'lgan noxiziqli ko'rinishga ega. Chizmalardan ko'rinadiki, bu yo'nalishda oqib o'tadigan tokning keskin ortishi turli yorug'lik diodlari uchun turli kuchlanishlarda, ya'ni GaAs uchun 1V, InGaAsP diodi uchun 0,8 V atrofida yuz beradi. Bu hol yorug'lik diodlarini tayyorlash uchun ishlatilgan yarim o'tkazgich materiallarini man etilgan energetik sohalari kengligining turlicha bo'lishi bilan bog'liq. Nurlanish chastotasi qanchalik kichik (ya'ni, to'lqin uzunligi qancha katta) bo'lsa, elektr energiyasining isrofi ham shunchalik kichik bo'ladi.



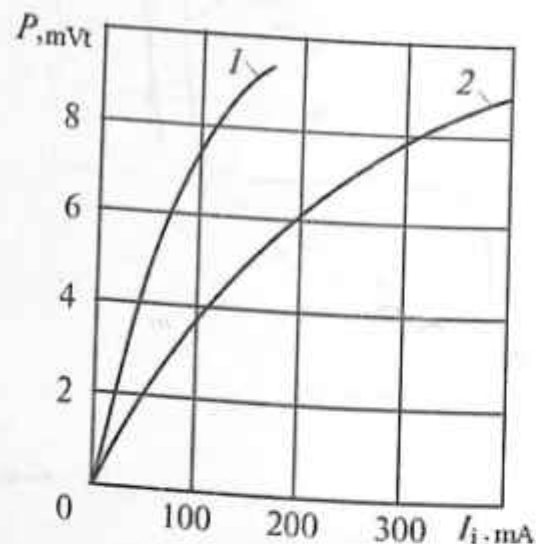
4.11- rasm. GaAsP va InGaAs asosida tayyorlangan yorug'lik diodlarining volt-amper xarakteristikalar

Teskari yo'nalishda, ya'ni yorug'lik diodiga qo'yilgan kuchlanishning manfiy qiymatlarida, undan noasosiy zaryad tashuvchilarning ekstraksiyasi tufayli hosil bo'ladigan juda kichik miqdordagi (nA va undan kichik) tok oqib o'tadi. U_{tesk} kuchlanishning muayyan qiymatlarida p-n o'tishda sodir bo'ladigan teshilish hodisasi sababli bu tokning keskin ortib ketishi kuzatiladi.

Yorug'lik diodining vatt-amper xarakteristikasi. Yorug'lik diodidan oqib o'tadigan tok va uning nurlanish quvvati orasidagi bog'lanishni ifodalovchi egri chiziq vatt-amper xarakteristikasi deb ataladi. Uning ko'rinishi 4.12-rasmda ketirilgan.

Yarim o'tkazgichli yorug'lik diodlari kirish qarshiligi past bo'lgan qurilma hisoblanadi va katta tok kuchini talab etadi, shuning uchun vatt-amper xarakteristikasini chiziqliligini va katta tok kuchini ta'minlash uchun past Om li tranzistorlarni qo'llash talab etiladi. 4.12-rasmdan ko'rinadiki, sirtan nurlantiruvchi YODning nurlanish quvvati 100...200 mA injeksiya tokida bir nechadan 100 mVt gacha o'zgaradi, yonidan nurlantiruvchi YODda aynan shu injeksiya tokida sirtan nurlantiruvchi YODga qaraganda ikki-uch marta kichik. Vatt-

amper karakteristikasining $P=f(I)$ afzalligi uning nisbiy chiziqliligi hisoblanadi, bu esa optik nurlanishni modulyatsiyalash uchun analog uzatish tizimlarining signallarini qo'llash imkonini beradi.

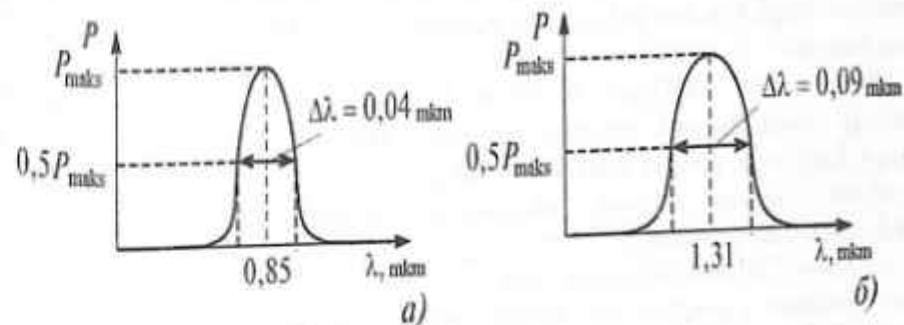


4.12-rasm. 1- sirtidan nurlantiruvchi va 2- yonidan nurlantiruvchi yorug'lik diodining vatt-amper karakteristikasi

Yorug'lik diodining spektral karakteristikasi. Yorug'lik diodi nurlanish quvvati va nurlanish to'lqin uzunligi orasidagi bog'lanish spektr karakteristika deb ataladi.

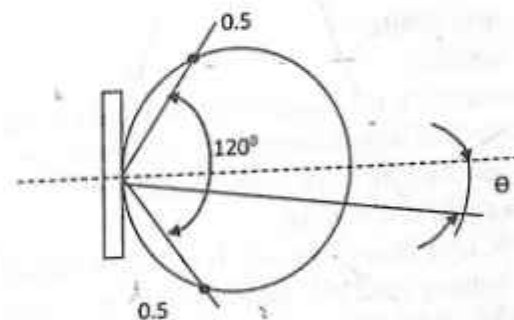
4.13-rasmda YODning nurlanishining spektral karakteristikasi keltirilgan. Sirtidan nurlantiruvchi YODda $\lambda=0,85$ mkm da nurlanish spektr kengligi $\Delta\lambda=40$ nm ga, nurlantiruvchi kesimli YODda $\lambda=1,3$ mkm da nurlanish spektr kengligi $\Delta\lambda=90$ nm ga teng. Aynan shu xususiyatlariga ko'ra yorug'lik diodidan kelayotgan signallar optik tolada ko'proq, lazer diodlaridan kelayotgan yorug'lik signallar esa kamroq dispersiyaga uchraydilar. Shu sababdan yorug'lik diodlaridan qisqa uzunlikli optik uzatish liniyalarida (15 km gacha), lazer diodlaridan esa katta uzunlikli uzatish liniyalarida foydalaniladi.

YOD larning parametrlari: nurlanishning to'lqin uzunligi λ ; nurlanish spektrining kengligi $\Delta\lambda$; nurlanish quvvati P_{nurl} va nurlanish quvvatining yo'nalganlik diagrammasi Θ .



4.13-rasm. Sirtidan nurlantiruvchi va yonidan nurlantiruvchi YODning nurlanish spektrlari

Yorug'lik diodi nurlanishining yo'nalganlik diagrammasi. YOD yo'nalganlik diagrammasi kengligi yuza tekisligida 120° ni tashkil etadi (4.14-rasm).



4.14-rasm. Yorug'lik diodining yo'nalganlik diagrammasi

Optik tolaga kiritish mumkin bo'lgan maksimal quvvat P_s , sonli aperturadan aniqlanadi va quyidagi formuladan hisoblanadi:

$$P_s = P_o (NA)^2 \quad (4.3)$$

P_o - manba uchun to'liq nurlanish quvvati.

YODdan optik tolaga kiritiladigan quvvat, uning sonli aperturasi kvadratiga proporsional. NA qiymati 0,15...0,24 oraliqda

tanlanadi. Agar $NA=0,2$ ga teng bo'lsa, unda tolaga kiritish samaradorligi 4% dan oshmaydi, bu quvvatni 14 dB ga yo'qotilishiga mos keladi.

Shu tariqa YODdan foydalanish nurlanishni tolaga samarali kiritish muammosini yuzaga keltiradi. Bu muammo nurlanishni tolaga kiritishni yuqori koeffitsientini ta'minlovchi maxsus yorug'lik diodlarini qayta ishlash, shuningdek mikrolinzalarni qo'llash yordamida hal qilinadi.

Yorug'lik diodlarining tezkorligi $10^{-7}-10^{-8}$ s ni tashkil etadi, shu sababdan yorug'lik diodlaridan nisbatan kichik tezlikli (Mbit/s) tolali optik uzatish tizimlarida foydalaniladi.

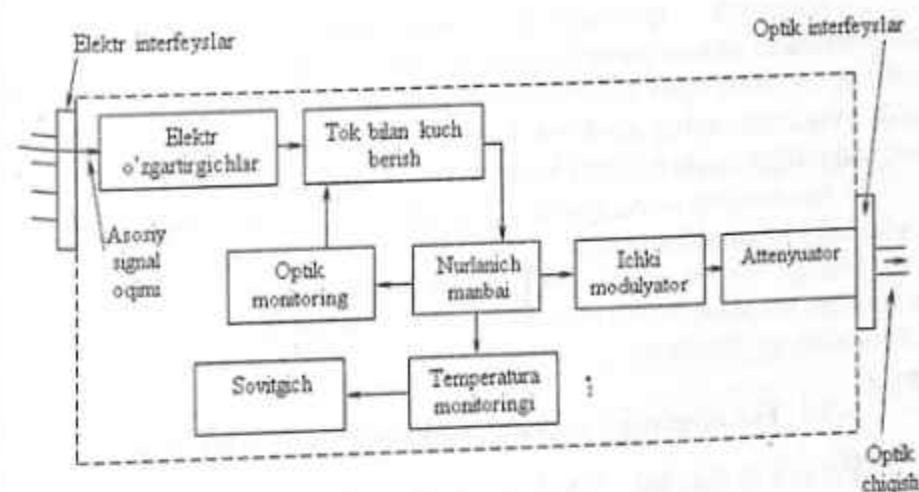
4.1.6. Tolali optik aloqa tizimining uzatuvchi optik moduli

Optik signalni uzatishni tashkil etish uchun faqatgina nurlanish manbaining o'zi etarli emas. Buning uchun optoelektron uzatuvchi modul (OUZM) ishlatiladi. Optoelektron uzatuvchi modul quyidagi bir qator boshqa elementlar va qurilmalardan tarkib topadi (4.15-rasm):

- elektr o'zgartirgichlar;
- nurlanish manbai;
- nurlanish manbaini tok kuchi bilan ta'minlash zanjiri;
- nurlanish quvvati monitoringini ta'minlovchi qurilma;
- harorat monitoringini bajaruvchi tizim;
- elektrik va optik interfeyslar.

Ba'zan optik tola bilan optimal bog'lanish uchun qo'shimcha ichki elementlar (attenyuatorlar) talab etiladi. Sovutgich va harorat monitoringi OUZM ichki haroratini stabil ushlab turadi. Murakkab lazerli tizimlar uchun optik signalni chiqish monitoringi qo'shiladi.

Ko'pgina OUZM $0-80^{\circ}\text{C}$ temperaturada ishlaydi, ammo -40 - $+70^{\circ}$ temperaturada ishlashga mo'ljallangan modullar ham bor. Temperatura oshganda to'lqin uzunligi ortadi. Shuningdek, OUZM chiqishidagi meyorlashtirilgan nurlanish quvvati, yani 25° dagi quvvat 100% deb olinadi.



4.15-rasm. Optoelektron uzatuvchi modulning tuzilish sxemasi

4.2. Optik signallarni qabul qilgichlar

Fotoqabulqilgich qabul qiluvchi optoelektron modulning asosiy va ajralmas qismi hisoblanadi, aynan shu element yordamida bu modul kirishidagi yorug'lik signallari elektr signallariga aylantirib beriladi.

Tolali optik aloqa tizimlarida qo'llaniladigan fotoqabulqilgichlarga quyidagi talablar qo'yiladi:

- fotoqabulqilgichning fotosezgir yuzasi optik tolalarning ko'ndalang kesim o'lchamlariga yaqin o'lchamlarga ega bo'lishi kerak;

- fotoqabulqilgich, yorug'lik manbai va optik kabel bilan spektral jihatdan mos kelishi kerak. Buning uchun fotoqabulqilgich tayyorlanadigan yarim o'tkazgich man etilgan energetik sohasining kengligi yorug'lik manbai man etilgan energetik sohasining kengligidan kichik bo'lishi va optik tolaning shaffoflik darchalaridan biriga mos kelishi kerak;

- fotoqabulqilgich etarli darajada katta fotosezgirlikka ega bo'lishi kerak;

- axborotni talab etilgan tezliklarda qabul qilishini ta'minlash uchun fotoqabulqilgich katta tezkorlikka ($10^{-9}-10^{-10}$ s) ega bo'lishi kerak;

– nurlanish quvvatining fotoqabulqilgichga kirishidagi yo'qotishlarni imkon qadar kamaytirish uchun fotoqabulqilgich optik zichligi bo'yicha optik tola bilan muvofiqlashgan bo'lishi, boshqacha qilib aytganda, uning sindirish ko'rsatkichi optik tolaning sindirish ko'rsatkichiga yaqin bo'lishi kerak;

– haroratning o'zgarishlari fotoqabulqilgichning ishiga imkon qadar kam ta'sir qilishi kerak.

Hozirgi vaqtda tolali optik aloqa tizimlarida ichki fotoeffekt prinsipiga asoslangan yarimo'tkazgichli p-i-n fotodiodi va ko'chkili fotodiodlar qo'llaniladi.

4.2.1. Fotodiodning xarakteristikalar va parametrlari

Yarimo'tkazgichli fotodiod (FD) ishi ichki fotoeffektga asoslangan bo'lib, bunda yorug'lik fotonini yutilishidan yangi zaryad tashuvchi juftliklar - elektron va kovaklar hosil bo'ladi. Ya'ni foton atom bo'lib yutilib, elektronlarni qo'zg'atadi va elektronlarni valentlik zonasidan o'tkazuvchanlik zonasiga o'tkazadi. Bu o'tishlar elektr signallarni shakllanishiga sharoit yaratadi.

Agar har bir yutiladigan kvant elektron-kovak juftligini hosil qilsa, R_{yu} orqali oqib o'tuvchi I elektr tokining o'rtacha qiymati quyidagicha aniqlanadi:

$$I = q \cdot N = q (P / h \cdot \nu), \quad (4.4)$$

bu erda q - tashuvchi elektron zaryadi, $q = 1,6 \cdot 10^{-19}$ Kl;

N - tashuvchilar soni;

P - optik nurlanish quvvati, Vt;

$h \cdot \nu$ - kvant energiyasi, Vt-s yoki kVt-soatda o'lchanadi.

Elektronlarni valent zonadan o'tkazuvchanlik zonaga o'tishi uchun yutilayotgan kvant energiyasi etarlicha bo'lishi kerak, ya'ni $h \cdot \nu$ kvant energiyasi man etilgan soha kengligidan katta $h \cdot \nu \geq \Delta W_{m.e.s}$ bo'lishi kerak.

Yutiladigan yorug'lik kvantlarining hammasi ham elektr toki impulslarini hosil qilmaydi. Shuning uchun fotodiodlar, fotonlarni elektr tokiga aylanish samaradorligini xarakterlovchi η - kvant samaradorligi koeffitsienti bilan baholanadi:

$$\eta = 1,24 \cdot 10^5 S / \lambda, \%, \quad (4.5)$$

bu erda: S - sezgirlik, A/Vt;

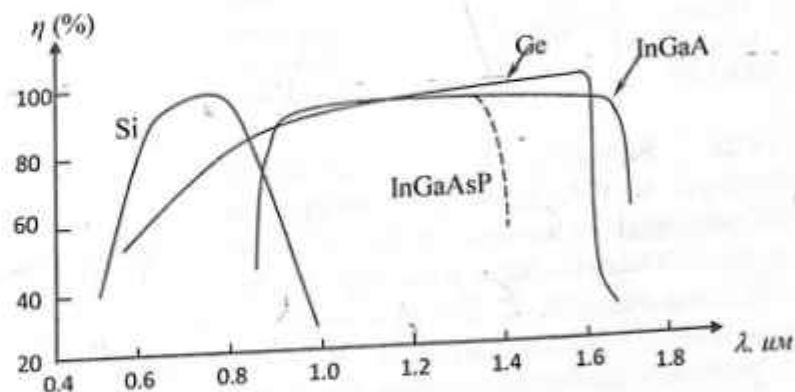
λ - optik signalning to'lqin uzunligi, nm.

Shu tarzda umumiy xolda P_{yu} orqali o'tayotgan elektr tokining o'rtacha qiymati quyidagi formuladan aniqlanadi:

$$I = \eta q (P / h \cdot \nu) = S \cdot P. \quad (4.6)$$

Yuqori sifatli kremniydan tayyorlangan fotodiodlarning kvant samaradorligi 80% ga etishi mumkin. Lekin fotodiodlarning kvant samaradorligini 100% bo'lishiga erishib bo'lmaydi.

4.16-rasmda kvant samaradorligini to'lqin uzunligiga bog'liqligi ko'rsatilgan.



4.16- rasm. Turli materiallar uchun kvant samaradorligining to'lqin uzunligiga bog'liqligi

*-aralashmalar qo'shish, legirlash darajasiga bog'liq.

Kvant samaradorligi bilan bir qatorda sezgirlik va vaqt doimiysi fotoqabulqilgichlarning asosiy xarakteristikalar hisoblanadi.

Fotodiod sezgirligi - bu yorug'lik quvvatini elektr tokiga aylanishdagi to'liq foydali ish koeffitsientidir (FIK), ya'ni fototok I o'rtacha qiymatining optik quvvatni P o'rtacha qiymatiga nisbatidir, A/Vt:

yoki

$$S = I/P, \quad (4.7)$$

$$S = \eta (q/h \cdot \nu). \quad (4.8)$$

Bundan ko'rinib turibdiki, aktiv sohada yutiladigan yorug'lik oqimlari qancha ko'p bo'lsa, ya'ni η - kvant samaradorligi qancha yuqori bo'lsa, sezgirlik ham shuncha yuqori bo'ladi.

4.1-jadval
Turli to'lqin uzunliklarini qabul qilinadigan fotoqabulqilgichlarni yaratish uchun qo'llaniladigan elementlar va materiallar

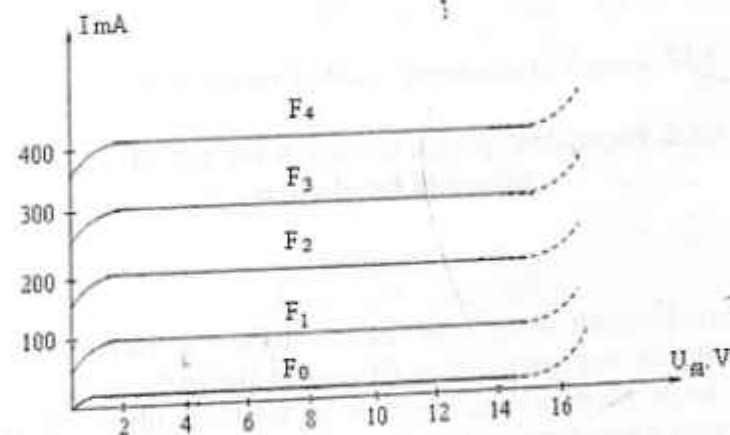
Material	Qabul qilinadigan to'lqin uzunliklar diapazoni λ , nm
Kremniy	400-1000
Germaniy	600-1600
GaAs	800-1000
InGaAs	1000-1700
InGaAsP*	1100-1600

Vaqt doimiysi τ - fotoqabulqilgichning tezkorligini xarakterlaydi va u ko'pgina parametrlarga: aktiv soha kengligiga, to'lqin uzunligiga, shuningdek tashuvchilar diffuziya oqibatida yoki elektr maydon ta'sirida harakat qilishiga bog'liq.

FD vaqt doimiysi τ diffuziya vaqtiga va aktiv sohadan o'tish vaqtiga bog'liq. Shuning uchun p- va n-sohalarning, shuningdek aktiv sohaning o'lchamlari muhim hisoblanadi. Kelayotgan nurni aktiv sohada to'liq yutilishi, kvant samaradorligini oshirish maqsadida p- va n-sohalar ingichkaroq, aktiv soha esa kengroq qilib ishlab chiqariladi.

Bu p- va n-sohalarga aralashmalarni ko'proq qo'shish, ya'ni yuqori legirlash, aktiv sohani esa kamroq legirlash yordamida amalga oshiriladi. p- va n-sohalarga fotonlar tushganda diffuziya toki hosil bo'ladi, bu esa FD tezkorligini kamaytiradi. Lekin, aktiv soha o'lchamining kengligi ham, bu sohadan tashuvchilarni o'tish vaqtini oshiradi. p-i-n turdagi diodlarda aktiv soha kengligi 20 mkm atrofida bo'ladi.

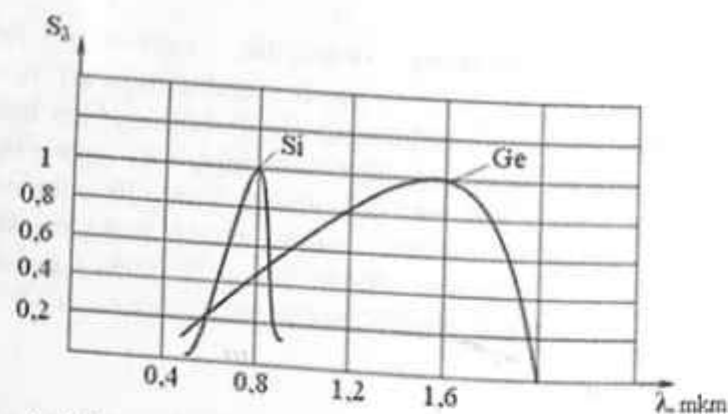
4.17-rasmda fotodiodning yorug'lik oqimining turli qiymatlariga mos kelgan volt - amper xarakteristikalar oilasi keltirilgan. Yorug'lik oqimi tushmagan ($F=0$) boshlang'ich holda fotodioddan teskari yo'nalishdagi odatiy to'yinish toki oqib o'tadi. Uni fotodiodning qorong'ulik toki deb ataladi. Yorug'lik oqimining ta'sirida dioddan oqib o'tadigan tok ortadi va xarakteristika yuqoriga - tokning katta qiymatlari tomon siljiydi. Yorug'lik oqimi qanchalik katta bo'lsa, fototok ham shunchalik katta bo'ladi.



4.17- rasm. Fotodiodning volt-amper xarakteristikalar oilasi

Yorug'lik oqimining turli qiymatlariga tegishli xarakteristikalar teskari yo'nalishda qo'yilgan kuchlanish qiymatlarining keng oralig'ida deyarli o'zgarmay qoladi. Faqat kuchlanishning bir muncha katta qiymatlaridagina fototokning biroz ortishi kuzatiladi. Kuchlanishning muayyan U_{tesk} qiymatida esa, elektr teshilishi hodisasi sababli fototokning keskin ortishi yuz beradi (xarakteristikalarining uzlukli bo'laklariga qarang).

Fotodiodning sezgirliги bir necha o'ndan bir A/Vt larni tashkil etadi. Bu parametrning qiymati yorug'lik nurining to'lqin uzunligiga bog'liq va turli yarim o'tkazgichlar uchun to'lqin uzunligining muayyan qiymatlarida eng katta qiymatga erishadi (4.18-rasm).



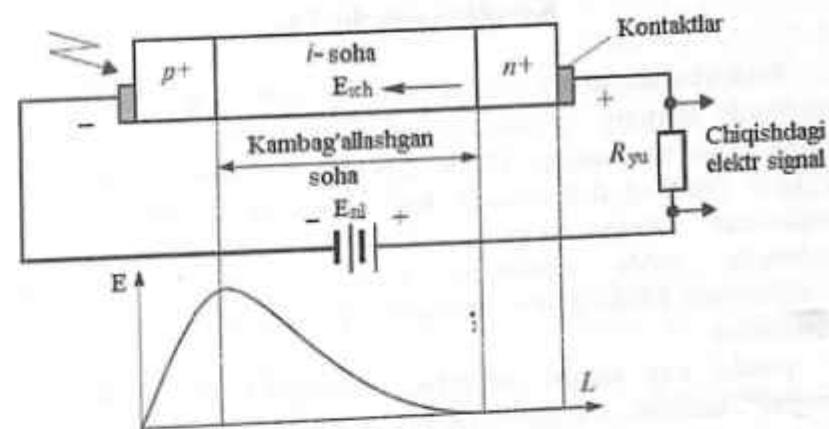
4.18-rasm. Fotodiodning spektral xarakteristikasi

4.2.2. Fotoqabul qilgich turlari. p-i-n fotodiodlar, ko'chkili fotodiodlar

p-i-n fotodiodi

Teskari siljishli p-i-n FDning tuzilishi va elektr maydon kuchlanganligini taqsimlanishi 4.19-rasmda keltirilgan. p-i-n FD tezkorligi va parametrlarining barqarorligi bilan ajralib turadi. p-i-n FDda p^+ - va n^+ - sohalarini aralashmalar bilan legirlanishi juda yuqori (+ yuqori legirlanishni bildiradi), bu p^+ va n^+ sohalarini o'tkazuvchanligini oshiradi. i-sohaga esa aralashmalar kamroq qo'shiladi.

Elektr maydonning maksimal qiymati i -sohada hosil bo'ladi, shuning uchun i -soha kengroq qilib ishlanadi. p-i-n tuzilishga teskari siljishli E_{sil} kuchlanish berilganda, i -sohada kuchli elektr maydon kuchlanganligi E_{ich} xosil bo'ladi. Bunda diod o'lchami bilan teng bo'lgan qalinlikdagi kambag'allashgan soha shakllanadi. Keng i -soha kambag'allashgan sohada fotonlarning yutilish intensivligini oshiradi. Yorug'lik nuri i -sohaga tushganda, unda elektron-kovak juftligi hosil bo'ladi. Elektr maydon ta'sirida ular tezda bo'linadi va qarama-qarshi yo'nalishlarda o'zlarining elektrodlariga qarab harakatlanishadi. Elektrodni egallab, elektr toki hosil bo'ladi. p-i-n FDning tuzilishi i -sohadan tashqarida nurlanish yutilishini keskin kamaytiradi.



4.19-rasm. p-i-n turdagi fotodiodning tuzilishi va elektr maydon kuchlanganligining taqsimlanishi

p-i-n FDda teskari siljishli kuchlanish mavjud bo'lganida va tashqi optik nurlanish mavjud bo'lmagan xolda kambag'allashgan soha qutblanadi va yuklama qarshilik orqali qorong'ulik toki deb ataladigan kichik qiymatli doimiy tok I_1 o'tadi. Bu tokning qiymati yarimo'tkazgichli materialning xususiyatlari, p-i-n tuzilishining qalinligi va atrof muhitning temperaturasi orqali aniqlanadi. p-i-n FDlardan kichik tezlikli (<622 Mbit/s) tizimlarda foydalaniladi.

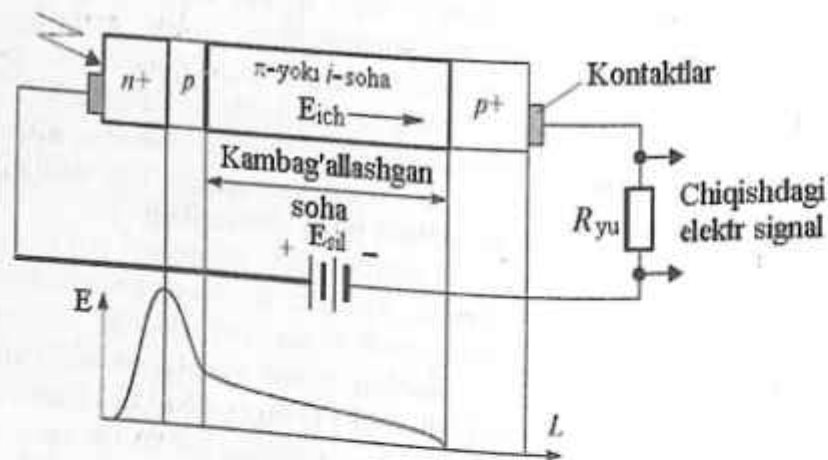
p-i-n FD keng tarqalgan fotoqabulqilgich hisoblanadi. Bu ularning sodda tuzilishi, etarlicha yuqori temperatura mo'tadilligi va nisbatan keng ishchi chastota oralig'i bilan izohlaniladi.

p-i-n fotodiodi odatda kriemniy (Si), germaniy (Ge), galiy arsenid (GaAs) va InAs, InGaAs, AlGaSb, InGaAsP birikmalaridan tayyorlanadi. Kvant samaradorligi 0.9 gacha, maksimal sezgirliги tahminan 0.9 mkm va 0.6 dan 1 mkm to'lqin uzunligida ishlaydigan TOUTlarida qo'llash uchun kremniyli FD eng yaxshi hisoblanadi. 1 mkm va katta (1.8 mkm gacha) to'lqin uzunligi uchun Ge asosidagi fotodiod qo'llaniladi. AlGaSb birikmalari asosidagi FD 0.8 kvant samaradorligiga ega va 0.9-1.3 mkm to'lqig uzunliklarida qo'llaniladi.

Ko'chkili fotodiodlar

Teskari ulangan p-n o'tishda sodir bo'ladigan ko'chkili teshilish jarayonida tokning o'sish sur'atini yorug'lik oqimi ta'sirida boshqarishga asoslangan yarim o'tkazgichli fotoqabulqilgichlarga ko'chkili fotodiod deb ataladi. Ko'chkisimon fotodiodlarni odatiy fotodioddan asosiy farqi ko'chkisimon elektron ko'payishga asoslangan xolda signallarni ichki kuchayishi hisoblanadi. Ko'chkisimon FDda p⁺-i-n⁺ tuzilishga p-soha (p⁺-i-p-n⁺) qo'shiladi (4.20-rasm).

p-soha eng yuqori qarshilik, shuningdek eng yuqori elektr maydon kuchlanganligiga ega bo'lishi kerak. i-sohaga yorug'lik ta'sir qilganda elektron-kovak juftliklari hosil bo'ladi va ular bo'linib, elektrodlarga tamon harakat qiladi. Erkin elektronlar i-sohadan p-sohaga tushganda, p-sohadagi yuqori elektr maydon kuchlanganligi tufayli ular tezlashadi. p-sohani o'tkazuvchanlik zonasida tezlashgan va etarlicha energiyaga ega bo'lgan bu dastlabki elektronlarni atomlar bilan urilishidan, ya'ni zarb ionlanish tufayli yangi elektron-kovak juftliklari hosil bo'ladi.



4.20-rasm. Ko'chkisimon FD tuzilishi va elektr maydon kuchlanganligining taqsimlanishi

Natijada dastlabki elektron-kovak juftligi hosil qilgan elektr toki ko'chkisimon tarzda oshadi. Shuning uchun bu jarayon

birlamchi fototokni ko'chkisimon ko'payishi yoki kuchayishi deyiladi. Fototokni bunday oshishi M – ko'chkisimon ko'payish koeffitsienti bilan xarakterlanadi va quyidagi formula orqali aniqlanadi

$$M = \frac{1}{1 - \left(\frac{U_{sil}}{U_{tesh}}\right)^n}, \quad (4.9)$$

bu erda: U_{sil} – teskari siljish nuchlanishi; U_{tesh} – teshilish kuchlanishi; n – fotodiod tuzilishi va o'tkazgich materiali orqali aniqlanadigan koeffitsient (2 dan 6 gacha).

KFD uchun R_{yu} yuklama orqali o'tuvchi fototok quyidagi munosabat orqali aniqlanadi:

$$I_F = S_i P M, \quad (4.10)$$

bu erda S_i – kuchayish mavjud bo'lmagan xoldagi tok bo'yicha sezuvchanlik.

U holda ko'chkisimon FD chiqishidagi tok qiymati (3.4) munosabatdan aniqlangan qiymatdan yuqori bo'ladi:

$$I_{KFD} = M \frac{\eta \cdot q}{h \cdot \nu} R, \quad (4.11)$$

Siljish kuchlanishiga bog'liq holda ko'payish koeffitsienti M turli qiymatga ega. $U_{sil} \approx U_{tesh}$ xolda M koeffitsientini keskin ortishi yuz beradi. Ko'chkisimon FDlarda M ga proporsional holda kuchayadigan, foydali signaldan farqli ravishda shovqin tezroq kuchayadi. Shuning uchun ko'chkisimon ko'payish koeffitsienti M qiymati optimal, odatda 30 dan 100 gacha oraliqda tanlanadi. M oshgan sari, ko'chkisimon FD tezkorligi kamayadi. Kremniyli ko'chkisimon FDlarda $M=100$ da vaqt doimiysi taxminan 3 martaga oshadi, ya'ni tezkorligi kamayadi, shunchaga o'tkazish polosasi kamayadi. Bu kamchilikni i-sohani kuchsiz legirlangan, bir necha mikrometrli π -soha bilan almashtirish orqali bartaraf etish mumkin (4.20-rasm).

Bunday π -sohali ko'chkisimon FDlar p-i-n FDlardaki vaqt doimiysiga va ko'chkisimon FDlardaki ichki kuchayishga ega. Ko'chkisimon FDlarni sezgirli p-i-n FDlardan ancha yuqori bo'lib,

ishchi diapazonda 20-60 A/Vt ni tashkil etadi. Ko'chkisimon FDLarni sezgirligi yuqori bo'lganligi uchun ular 2,5 va 10 Gbit/s yuqori tezlikli tizimlarda qo'llaniladi. 2,5 Gbit/s li TOA tizimlarida InGaAs/InP ko'chkisimon FDLardan foydalanish p-i-n FDLardan foydalanishga nisbatan 7 dB va 10 Gbit/s tezlikda esa 5-6 dB yutuqqa olib kelishi mumkin.

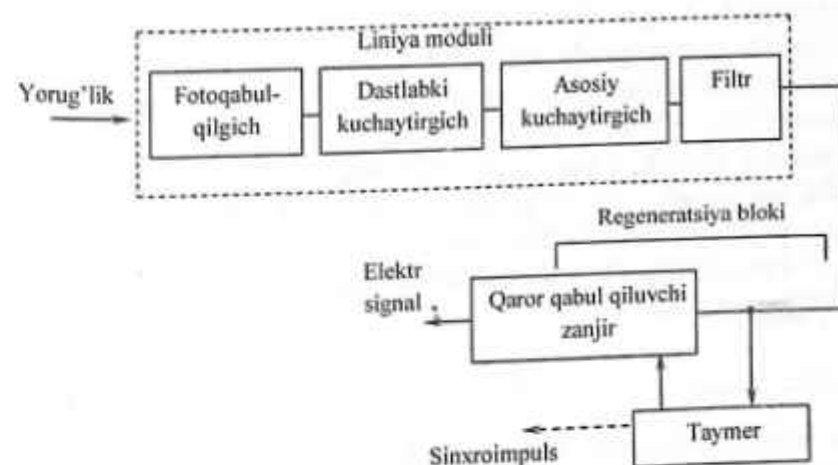
Ko'chkisimon FD p-i-n FDga qaraganda yuqori ishchi kuchlanishni talab etadi va ko'payish koeffitsientini haroratga sezgirligi yuqori. Bu esa kerakli ishchi kuchlanishni ishlab chiqaruvchi maxsus elektr zanjirlarni, shuningdek harorat barqarorligini ta'minlovchi tizimlarni qo'llanilishini talab etadi.

4.3.3. Qabul qiluvchi optoelektron modulning tuzilishi

Qabul qiluvchi optoelektron modul (QQOM) tolali optik aloqa tizimining muhim tarkibiy qismi hisoblanadi. U optik tola orqali qabul qilingan optik signalni elektr signalga o'zgartirib beradi. So'ngra bu signalga keyingi elektron qurilmalar tomonidan ishlov beriladi.

QQOMni soddalashtirilgan blok sxemasi 4.21-rasmda ko'rsatilgan. Uning asosiy elementlari:

- fotoqabulqilgich (p-i-n FD yoki ko'chkisimon FD) - qabul qilingan optik signallarni elektr signallariga aylantiradi;
- elektr kuchaytirgichlar kaskadi - signalni kuchaytiradi va unga ishlov berish uchun kerakli ko'rinishga o'zgartiradi. Signallar bir yoki bir necha bosqichlarda kuchaytiriladi. Birinchi bosqichdagi kuchaytirgich sifatida kam shovqinli dastlabki kuchaytirgich qo'llaniladi;
- asosiy kuchaytirgich - dastlabki kuchaytirgichdan so'ng signal yuqori quvvatli asosiy kuchaytirgichda kuchaytiriladi;
- filtr - signal-shovqin nisbatini oshirib, shovqinlar bartaraf etiladi;
- qabul qiluvchi zanjir - dispersiya tufayli qabul qilingan impuls oxirlari cho'zilib boshlang'ich to'g'ri burchakli ko'rinishni yo'qotish mumkin. To'g'ri burchakli boshlang'ich ko'rinishni tiklash uchun qaror qabul qiluvchi zanjir o'rnatiladi.



4.21-rasm. Qabul qiluvchi optoelektron modulning tuzilishi

U chegaraga ega bo'lib, agar unga tushgan signal amplitudasi chegaradan kichik bo'lsa, unda signal hal bo'lmaydi, agar chegaradan oshsa, unda chiqishida ma'lum amplitudali signal hosil bo'ladi. Bunda impuls uzunligi buzilishi, shovqinni foydali signal deb xato qaror qabul qilishi kabi kamchiliklar bo'lishi mumkin. Bu kamchiliklarni bartaraf etish uchun qaror qabul qilgich impuls ketma-ketligi chastotasi haqidagi axborotga ega bo'lishi kerak;

- taymer - yuqoridagi kamchiliklarni bartaraf etib, sinxronizatsiyani, ya'ni optik uzatuvchi va qabul qiluvchi modullarni sinxron ishlashini ta'minlanadi.

4.3.4. Fotoqabulqilgich shovqinlari

Qabul qiluvchi optoelektron modulni ishlash sifati signal/shovqin nisbati orqali aniqlanadi. QQOM shovqinlari asosan fotodiodlarning drob shovqinlari hisoblanadi. Bu fotonlarning va ular generatsiyalaydigan "elektron-kovak" juftliklarini diskret tabiati orqali ifodalanadi.

Fototok uzluksiz va bir jinsli oqim hisoblanmaydi, balki alohida diskret elektronlar oqimini ifodalaydi. Berilgan vaqt soniyasida qanchalik ko'p yoki kam "elektron-kovak" juftliklarini yuzaga

kelishiga bog'liq xolda fototok fluktuatsiyalanadi. Shuningdek FDga yorug'lik tushmaganda ham drob shovqinlari yuzaga keladi. Xatto optik signal bo'lmaganda ham fototokning kichik fluktuatsiyalari, qorong'ulik toki va temperatura o'zgarishi hisobiga generatsiyalanadi. Uning qiymati harorat 1°S ga oshganda, taxminan 10% ga ortadi. 25°S temperaturada drob shovqinlarining tipik qiymati 22...25 nA ni tashkil etadi.

Fototokning drob shovqinlari tokining quvvati quyidagi formula orqali aniqlanadi

$$\overline{i_{dr}^2} = 2eI_F M^2 F(M) \Delta F_F, \quad (4.12)$$

bu erda: e – elektron zaryadi; M – ko'payish koeffitsienti; $F(M)$ – ko'chkisimon ko'payishning (kuchayish) ortiqlik shovqin koeffitsienti, ya'ni kuchayish jarayonining sozlanmaydigan xarakteri tufayli KFDning drob shovqinlarini ortishini hisobga oladigan; ΔF_F – fotodiodning o'tkazish oralig'i kengligi (ΔF_F analog uzatish tizimining chastota oralig'iga yoki raqamli uzatish tizimini uzatish tezligiga $B = \Delta F_F = 1/\tau$; mos keladi; τ – impuls davomiyligi).

KFDning ba'zi turlari uchun teshilish kuchlanishi yaqinida $F(M)$ koeffitsienti quyidagi ko'rinishga ega

$$F(M) = M^x, \quad (4.13)$$

bu erda kremniyli KFD uchun x ko'rsatkich – 0,2...0,5, germaniyli FD uchun – 0,9...1, InGaAs birikmali KFD uchun – 0,7...0,8.

Qorong'ulik tokining drob shovqinlari quvvati quyidagi formula orqali aniqlanadi

$$\overline{i_{dr}^2} = 2e\bar{I}_T M^2 F(M) \Delta F_F, \quad (4.14)$$

bu erda $\bar{I}_T$ – qorong'ulik tokining o'rtacha qiymati. Kremniyli p-i-n FD uchun $\bar{I}_T$ qiymati $(1...8) \cdot 10^{-9}\text{A}$ atrofida, germaniyli FD uchun ikki marta ko'p bo'ladi.

Qorong'ulik toki, optik nurlanishni minimal detektorlanadigan quvvatini chegaralagichidan biri hisoblanadi va quyidagi formulaga bog'liq:

$$P_{MDQ} = \frac{1}{S_i} \sqrt{2e\bar{I}_T M^2 F(M) \Delta F_F}, \quad (4.15)$$

bu erda S_i – nurlanish to'lqin uzunligidagi fotodiod sezgirligi.

Qorong'ulik toki FD materialiga, uzatish tezligiga (o'tkazish oralig'i kengligi) bog'liq xolda 1...2 mkm to'lqin uzunligi diapazonida FD sezgirligini chegaralaydigan omil hisoblanadi.

Bundan tashqari optik nurlanish qabulqilgichlarida issiqlik shovqinlarini ham hisobga olish zarur, ya'ni o'tkazgichda alohida elektronlarni issiqlik fluktuatsiyalari bilan ifodalangan.

Aktiv qarshilikdagi issiqlik shovqinlarining quvvati quyidagicha aniqlanadi

$$\overline{i_{dr}^2} = \frac{4kT\Delta F_F}{R_{yu}}, \quad (4.16)$$

bu erda: $k=1,38 \cdot 10^{-23}\text{ Dj/K}$ – Bolsman doimiysi; T – Kelvin shkalasi bo'yicha absolyut harorat; R_{yu} – yuklama qarshilik, QQOM I_F fototokning dastlabki kuchaytirgichni kirish qarshiligi sifatida ko'rish mumkin.

Kuchaytirgich shovqinlari shovqin koeffitsienti F_{sh} orqali baholanadi

$$F_{sh} = \frac{P_{s,kir} / P_{i,sh,kir}}{P_{s,chiq} / P_{i,sh,chiq}} = \frac{1}{K_M} \frac{P_{s,chiq}}{P_{i,sh,kir}}, \quad (4.17)$$

bu erda: $P_{s,kir}$ – kuchaytirgich kirishidagi signalning quvvati; $P_{i,sh,kir}$ – kuchaytirgich kirishidagi issiqlik shovqinlarining quvvati; $P_{s,chiq}$ – kuchaytirgich chiqishidagi signalning quvvati; $P_{i,sh,chiq}$ – kuchaytirgich chiqishidagi umumiy shovqinlar quvvati, K_M quvvat bo'yicha kuchaytirgichni kuchayish koeffitsientiga oshgan, kuchaytirgich kirishidagi issiqlik shovqinlari quvvatini yig'indisi va kuchaytirgich kiritadigan shovqinlar quvvatini o'zida ifodalaydi.

Shovqin koeffitsientining F_{sh} fizik mohiyati quyidagidan iborat: kuchaytirgichni shovqinli emas deb hisoblab, uning shovqin xususiyatlari, kuchaytirgich kirishida issiqlik shovqinlarini kuchayishi hisobga olinadi, ya'ni

$$P_{s,sh,q} = F_{sh} P_{i,sh,kir} \quad (4.18)$$

Shovqin koeffitsienti telekommunikatsiya tizimlarining barcha kuchaytirgichlarini pasport ma'lumotlaridan biri hisoblanadi. Shuningdek (4.17) ifodani quyidagi ko'rinishda ifodalash mumkin:

$$\Delta A_h = 10 \lg \frac{P_{s,kir} / P_{i,sh,kir}}{P_{s,chiq} / P_{sh,chiq}} = A_{h,kir} - A_{h,chiq}, \quad (4.19)$$

bu erda: ΔA_h – kuchaytirgich kiritadigan shovqinlar hisobiga, kuchaytirgich chiqishidagi signalning himoyalanganligini pasayishi; $A_{h,kir}$ – kuchaytirgich kirishidagi issiqlik shovqinlaridan himoyalanganlik; $A_{h,chiq}$ – kuchaytirgich chiqishidagi yig'indi shovqinlardan himoyalanganlik.

(4.16) va (4.17) formulalarni hisobga olib QQOM xususiy shovqinlar quvvatining qiymatini quyidagicha aniqlash mumkin:

$$\overline{i_{s,sh}^2} = 4kTF_{sh}\Delta F_F / R_{kir}, \quad (4.20)$$

bu erda R_{kir} – dastlabki kuchaytirgichning kirish qarshiligi.

FD chiqishidagi yig'indi shovqinlar quvvati (to'liq shovqin) quyidagicha aniqlanadi

$$\overline{i_{sh}^2} = \overline{i_{dr}^2} + \overline{i_i^2} + \overline{i_{s,sh}^2}. \quad (4.21)$$

QQOM chiqishidagi to'liq shovqindan foydali elektr signalining shovqindan himoyalanganligi, signal/shovqin nisbati orqali aniqlanadi va u quyidagi ko'rinishga ega

$$q = \frac{P_s}{P_{sh}} = \frac{\overline{i_F^2}}{\overline{i_{sh}^2}} \quad \text{yoki} \quad A_h = 10 \lg \frac{P_s}{P_{sh}}, \quad (4.22)$$

bu erda P_s – fototok quvvati; P_{sh} – QQOM chiqishidagi shovqinlar quvvati.

Nazorat savollari

1. Optik aloqa tizimining uzatuvchi modulida qo'llaniladigan yorug'lik manbalariga qanday talablar qo'yiladi?
2. Optik aloqa tizimida yorug'lik manbalarining qanday turlaridan foydalaniladi? Ular qanday materiallardan tayyorlanadi?
3. Yorug'lik diodining tuzilishi va ish prinsipini tavsiflang.
4. Yorug'lik diodi qanday xarakteristikalar bilan tavsiflanadi?
5. Yorug'lik diodining volt-ampere xarakteristikasini tavsiflang. U qanday miqdoriy munosabat bilan ifodalanadi?
6. Yorug'lik diodining vatt-ampere xarakteristikasini tavsiflang. U qanday miqdoriy munosabat bilan ifodalanadi?
7. Yorug'lik diodining spektral xarakteristikasini tavsiflang. Uning kengligini aniqlash usulini tushuntiring.
8. Yorug'lik diodining yo'nalganlik diagrammasini tavsiflang. Yorug'lik nurining yo'nalganlik darajasini oshirish uchun qanday choralar ko'riladi?
9. Yorug'lik diodi nurlanish samaradorligini oshirish va nurlanish quvvatini kichik yuzada mujassamlashtirish uchun qanday usullardan foydalaniladi?
10. Yorug'lik diodining degradatsiya jarayoniga tavsif bering. Bu jarayon qaysi omillar tufayli yuz beradi va qanday miqdoriy munosabat bilan aniqlanadi?
11. Yorug'lik diodining asosiy parametrlarini sanab ko'rsating va ularni qisqacha tavsiflang.
12. Yorug'lik diodining afzalliklari va kamchiliklari nimada? Ularga qisqacha tavsif bering.
13. Lazer diodining tuzilishi va ish prinsipiga tavsif bering. Bu prinsip kvant mexanikasining qaysi fundamental qoidalariga asoslanadi?
14. Lazer diodi nurlanishining xususiyatlariga tavsif bering.
15. Ikki yoqlama geterotuzilishli lazer diodining energetik diagramma-sini chizib ko'rsating, bu turdagi lazer diodining ish jarayonini tavsiflang.
16. Lazer diodining volt-ampere va vatt-ampere xarakteristikalariga tavsif bering.

17. Tashqi muhit haroratining o'zgarishi lazer diodi nurlanish spektri va quvvatiga qanday ta'sir etadi?
18. Bir modali va ko'p modali lazer diodlarining spektral xarakteristikalarini tavsiflang. Bu xarakteristikalar yorug'lik diodining spektral xarakteristikasidan qanday farq qiladi?
19. Bir modali lazer diodlarining qanday turlari mavjud? Ularning ish xususiyatlarini tavsiflang.
20. Optik aloqa tizimi uzatuvchi modulining vazifasi va tuzilishini tavsiflang.
21. Optik signallarni spektr bo'yicha zichlashtirishda bir modali lazer diodlarining qaysi turlaridan foydalaniladi?
22. Optik signallarni qabul qiluvchi modulda qo'llaniladigan fotoqabulqilgichlarga qanday talablar qo'yiladi?
23. Fotoqabulqilgichlar qanday materiallardan tayyorlanadi?
24. Optik aloqa tizimlarida fotoqabulqilgichning qanday turlaridan foydalaniladi?
25. Fotodiodning volt-amper xarakteristikalarini oilasini tavsiflang. Uni qanday miqdoriy munosabat bilan ifodalash mumkin.
26. Fotodiodning energetik xarakteristikasini tavsiflang.
27. Fotodiodning spektral xarakteristikasini tavsiflang.
28. Fotodiodning tezkorligi qanday omillar bilan belgilanadi? Ularni tavsiflang. Fotodiodning chegaraviy chastotasiga ta'rif bering va uni aniqlash usulini tavsiflang.
29. Fotodiodning kvant samaradorligi koeffitsientiga ta'rif bering.
30. Fotodiodning sezgirlik parametrlariga ta'rif bering. Ushbu parametrlarning qiymati qaysi omillar bilan belgilanadi?
31. Fotodiodning qanday turlari mavjud? Ularga qisqacha tavsif bering.
32. p-i-n fotodiodining tuzilishi va ish prinsipini tavsiflang. Bu turdagi fotodiodning afzalliklari nimada?
33. Geteroo'tishli fotodiodning tuzilishi va afzalliklariga tavsif bering.
34. Ko'chkili fotodiodning tuzilishi va ish prinsipini tavsiflang. Bu turdagi fotodiodning afzallik va kamchiliklari nimada?

35. Ko'chkili fotodiodning volt - amper xarakteristikasini tavsiflang. Uni qanday miqdoriy munosabat bilan ifodalash mumkin?
36. Ko'chkili fotodiodning sezgirligi qanday munosabat bilan aniqlanadi?
37. Fototranzistorning tuzilishi va ish prinsipini tushuntiring.
38. Fototranzistorning volt-amper xarakteristikalarini oilasini tavsiflang.
39. p-i-n fotodiodi, ko'chkili fotodiod hamda fototranzistorlarga ularni tolali optik aloqa tizimlarida qo'llash nuqtai nazaridan qiyosiy tavsif bering.
40. Optik signallarni qabul qiluvchi modulning vazifasi va tuzilishini tushuntiring.

OPTIK ALOQA TIZIMLARINING LINIYA TRAKTI.

OPTIK ALOQA TIZIMLARINING LINIYA KODLARI.

OPTIK RETRANSLYATORLAR, OPTIK
KUCHAYTIRGICHLAR

5.1. Optik aloqa tizimlarining liniya trakti

Optik nurlanishni berilgan to'lqin uzunligida uzatuvchi va kabledagi so'nishlarni yo'qotishni, dispersiya tufayli buzilgan signallarni to'g'rilashni, berilgan shovqindan himoyalanganlikni ta'minlovchi optik aloqa liniyasining texnik qurilmalar yig'indisi optik liniya trakti deyiladi.

Optik signallar tola bo'ylab uzatilganda yorug'lik nurini optik tola materialida yutilishi va sochilib ketishidan so'nadi. Dispersiya esa signalning spektral va moda tashkil etuvchilarini vaqt bo'yicha sochilib ketishiga, ya'ni ularni turli vaqtlarda tarqalishiga olib keladi. Dispersiya tufayli optik signal impulslarini davomiyligi va ko'rinishi o'zgaradi, impulslar kengayib ketadi.

Bu holatlarni hammasi optik tola uzatish tizimlarining retranslyatorsiz uchastkasining maksimal uzunligini chegaralaydi. Agar uzatgich va qabul qilgich orasidagi ruxsat etilgan maksimal uzunlik oshirilsa, u holda liniya traktining oraliq stantsiyalarida bir yoki bir necha retranslyatorlarni joylashtirish kerak.

TOA liniyalari bo'ylab signallarni uzatish sifati minimal ruxsat etilgan signal-shovqin nisbati yoki shovqindan himoyalanganlik bilan baholanadi. Raqamli uzatish tizimlarini analog uzatish tizimlariga qaraganda bir qancha afzalliklarga egaligi sababli raqamli TOA tizimlarini shovqindan himoyalanganligi 20-25 dBq dan, analog uzatish tizimlari uchun esa 50-60 dBq dan kam bo'lmasligi talab etiladi.

Elektr kabelli tizimlarning liniya traktidan farqli ravishda optik tizimlarning chastota oralig'i (yoki uzatish tezligi) bir necha marta katta. Bu optik tashuvchilarni juda ham yuqori chastotaga (10^{15} Gts gacha) egaligi bilan tushuntiriladi. Optik kabellarda so'nish juda

kichikligi ($\lambda=1,55$ mkm da $\alpha=0,2$ dB/km gacha) sababli regenerators orasidagi masofa 100 km gacha bo'lishi mumkin. Bu ham optik liniya traktining ahamiyatli tomonidir.

Optik nurlanishni raqamli signal bilan bevosita modulyasiyalash va to'g'ridan-to'g'ri detektorlash amalga oshiriladigan raqamli TOA tizimlari hozirgi vaqtda keng tarqalgan. Raqamli TOATning regenerators qo'llanilgan optik liniya trakti (OLT)ning umumlashgan tuzilish sxemasi 5.1-rasmda ko'rsatilgan.

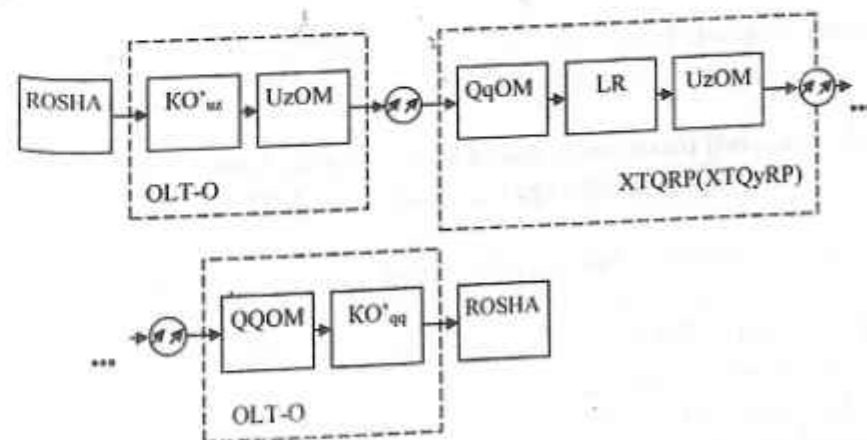
Rasmda ROSHA – berilgan uzatish tezlikdagi raqamli oqimlarni shakllantirish apparaturasi (raqamli uzatish tizimlarining apparaturasi);

KO_{uz} va KO_{qq} – mos ravishda uzatish va qabul qilishdagi kod o'zgartirgichlar, KO_{uz} ning vazifasi raqamli TOATning shovqin bardoshli liniya signalini shakllantirish;

UzOM va QqOM – mos ravishda uzatuvchi va qabul qiluvchi optik modullar, elektrik signallarni optik signallarga aylantirish vazifasini bajaradi va aksincha;

XTQRP va XTQyRP – mos ravishda xizmat talab qiladigan va xizmat talab qilmaydigan regeneratsiyalash punktlari;

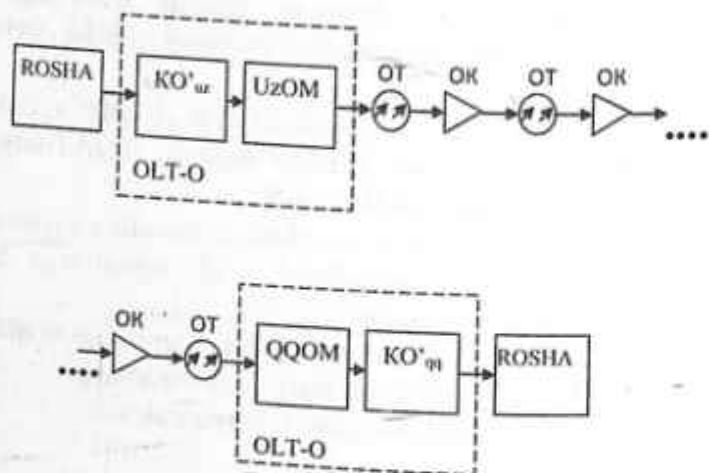
OLT-O – oxirgi punktning optik liniya trakti.



5.1-rasm. Raqamli TOATning regenerators qo'llanilgan optik liniya traktining tuzilish sxemasi

Raqamli TOA tizimining optik kuchaytirgich (OK) qo'llanilgan optik liniya trakti (OLT)ning umumlashgan tuzilish sxemasi esa quyidagi ko'rinishda bo'ladi (5.2-rasm).

Raqamli TOAT liniya traktining oraliq qurilmasining keltirilgan tasnifi to'liq emas va optik nurlanishning to'lqin uzunligi bo'yicha retranslyator turlari, qo'llaniladigan nurlanish manbalari va qabul qilgich turlari, raqamli TOATning o'tkazish qobiliyati va vazifasi bo'yicha to'ldirilishi mumkin.



5.2-rasm. Raqamli TOATning optik kuchaytirgich (OK) qo'llanilgan optik liniya traktining umumlashgan tuzilish sxemasi

5.2. Raqamli tolali optik aloqa tizimlarining liniya kodlari. Liniya kodlariga qo'yiladigan talablar

Liniya kodining parametrlari optik tola parametrlari bilan moslashgan bo'lishi kerak. Raqamli elektr impulslar optik nurlanish (optik tashuvchi) jadalligi yoki quvvatini modulyatsiyalab, raqamli optik signallarning liniya kodini shakllantiradi. Optik liniya kodi elektr liniya kodlaridan farqli ravishda bir qutbli bo'ladi.

Optik liniya kodlariga bir qator talablar qo'yiladi:

1. Raqamli TOA tizimlari liniya kodlarining tuzilishi taktli sinxronizatsiya impulsini shakllantirish uchun raqamli signal tarkibidan taktli chastotani osongina ajratib olishni ta'minlashi kerak.

2. Liniya kodining tuzilishi aloqani uzmasdan liniya trakti qurilmalari sozligini nazorat qilishni, uzatish sifatini va yukori shovqin bardoshlilikni ta'minlashi kerak.

3. Shovqin va dispersiya buzilishlarini kamaytirish uchun optik liniya kodining energetik spektri iloji boricha tor bo'lishi kerak. Spektr oralig'i qancha keng bo'lsa, shovqin sathi shuncha ortadi va aksincha.

4. Liniya kodining energetik spektri tarkibida doimiy tashkil topuvchilar bo'lmasligi kerak. Bu, TOA tizimlari liniya trakti qurilmalarining kuchlanish ta'minotini yuqori aniqlikda o'rnatish kerakligi bilan tushintiriladi. Simvollararo xalaqitlarni kamaytirish maqsadida past chastotali sohalarda chatota oralig'i chegaralangan bo'lishi kerak.

5. Shuningdek, simvollararo xalaqitlarni kamaytirish uchun energetik spektri yuqoridan chegaralangan bo'lishi zarur.

6. Optik liniya kodi koder va dekoder qurilmalari soddalashuvini ta'minlashi kerak.

Yuqorida keltirilgan talablarning to'liq hajmdagi yig'indisiga hech qaysi kod javob bermaydi. Shuning uchun qo'yiladigan talablarga bog'liq holda TOA tizimlarida turli kodlardan foydalaniladi.

5.2.1. Liniya kodlarining turlari va ularning shakllanishi

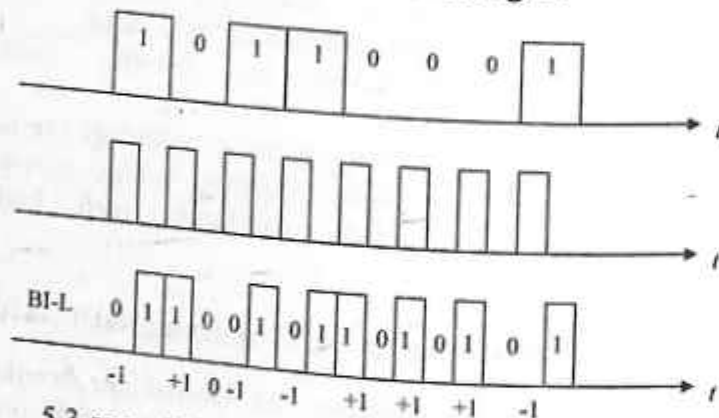
TOA tizimlari apparaturalarida qo'llaniladigan boshlang'ich kod NRZ (non return to zero – nolga qaytmaslik) kodi hisoblanadi. NRZ kodining spektrida taktli chastotaning diskret tashkil etuvchilarini bo'lmasligi sababli taktli chastota ajratgich qurilmasi murakkablashadi va regeneratoring qabul qilish qurilmalarini sinxronizatsiyasi qiyinlashadi.

Barcha optik kodlar blok ko'rinishida bo'lib, ularda boshlang'ich NRZ kodining har bir "m" impulsidan liniya optik kodining "n" impulsi shakllanadi. Bunda har doim $n > m$ bo'lib, ortiqcha impulsar liniyaga uzatiladi. Bu liniya kodida ortiqlik deyiladi. Bunday kod mBnB deb belgilanadi, bu yerda "B" (Binary – ikkilik) boshlang'ich va liniyaga uzatiladigan kodlarni ikkilik kodi ekanligini bildiradi. Liniya kodi boshlang'ich kodni uzatishga ketadigan vaqtda uzatilishi kerak. Signallarni liniyaga uzatish tezligi

$$B = f_s \cdot \frac{n}{m} \cdot f_m \quad (5.1)$$

bu yerda f_s – liniya kodi impulsarining ketma – ketlik chastotasi;
 f_m – boshlang'ich kod impulsarining ketma – ketlik chastotasi.
 Bunda shuni alohida belgilab o'tish kerakki, uzatish tezligi oshishi bilan liniya kodi n impulsarining ortiqchilik kamayishi kerak. Chunki uzatish tezligi ortishi bilan apparaturalar murakkablashadi va liniyada dispersiya oshadi. Turli optik kodlarni ko'rib chiqamiz.

1B2B kodlar. Bu sinfdagi kodlar sodda bo'lib, boshlang'ich kodlarga nisbatan liniyaga uzatiladigan impulsar soni 2 marta oshiq. BI-L (absolyut biimpuls) kodi ham 1B2B sinfidagi kodlarga kiradi. BI-L kodining shakllanishi 5.3 – rasmda ko'rsatilgan.



5.3-rasm. NRZ dan BI-L kodiga o'zgartirish

Rasmdan ko'rinib turibdiki, boshlang'ich NRZ kodidagi nollar o'miga BI-L kodida bir va nollar almashinib, ketma – ket uzatiladi. Bu bilan shovqindan himoyalanganlik ortadi.

1B2B kodlaridan eng ko'p qo'llaniladigani CMI kodidir. CMI kodi filtr yordamida taktli chastotani ajratish imkoniyatiga ega bo'lgan oddiy koddir. Bunday imkoniyat yarim taktli $1,5f_m$ chastotada energetik spektrning maksimal ekanligiga bog'liq. Bunday kodlarda boshlang'ich «1» simvoli 11 va 00 bloki ko'rinishida, boshlang'ich «0» simvoli esa 01 (yoki 10) ko'rinishida kodlanadi. 11 va 00 navbatma – navbat o'zgarishi xatoliklarni aniqlashga yordam beradi.

2B4B kodlari. Bu sinfdagi kodga PIM pozitsion – impuls modulyatsiyali kod kiradi. Bunda boshlang'ich 00, 01, 10, 11 kodlardan mos ravishda 1000, 0100, 0010, 0001 liniya kodlari shakllanadi (5.1-jadval).

5.1-jadval

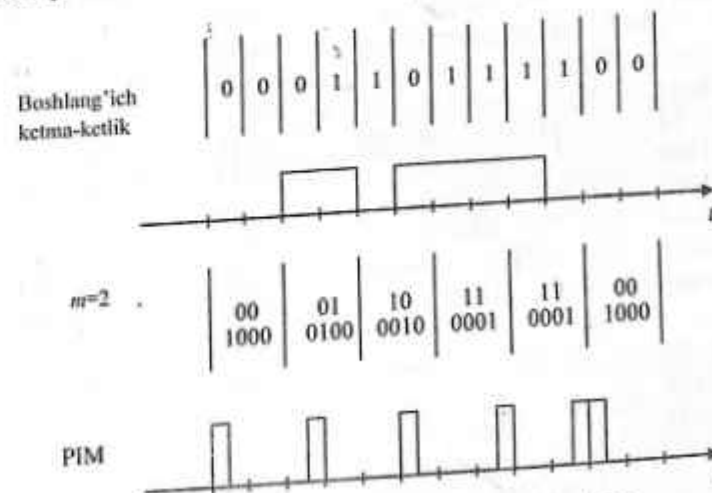
2B4B kodining shakllanishi

Boshlang'ich kod	Liniya kodi
00	1000
01	0100
10	0010
11	0001

PIM kodining shakllanishi 5.4 – rasmda berilgan.

1B2B sinfidagi kodlardan PIM kodining afzalligi shundaki, unda «1» simvollarining soni 2 marta kam va mos ravishda liniyaga uzatishning o'rtacha quvvati kamayadi. Bundan birinchi navbatda nurlanish manbalarining ishonchliligi oshadi va quvvat kam sarf etiladi.

To'rtta uzatilayotgan simvollaridan faqat bittasi «1» simvoli bo'lganligi sababli sinxronizatsiya mukammallashadi. 1B2B, 2B4B sinfdagi kodlarda m impulsqa qaraganda n impulsari 2 marta ko'pligi sababli bunday kodlar tezligi 100 Mbit/s dan oshmaydigan tizimlarda qo'llaniladi.



5.4-rasm. PIM kodining shakllanishi

3B4B, 5B6B kodlari. Bu kodlarda bitta ortiqcha razryadning kiritilishi, kam razryadlar sonidan iborat boshlang'ich kombinatsiyalarni ko'p razryadlar sonidan iborat sinxronizatsiya uchun qulay nol va birlarning birikmasi ko'rinishidagi kombinatsiyalar bilan almashtirish imkonini yaratadi. Buni 5B6B kodi misolida ko'rib chiqamiz. Boshlang'ich bloki 5 razryaddan tashkil topgan. Bitta razryaddan mumkin bo'lgan kombinatsiyalar soni $2^5=32$ ga teng. Bu kombinatsiyalar ichida sinxronizatsiya uchun unchalik samarali bo'lmagan nol yoki birlar seriyasi ketma-ket keluvchi (masalan 00000, 00001, 11111 va boshqa) kombinatsiyalar ham mavjud. Agar ularni 6 razryadli blokka almashtirsak, mumkin bo'lgan kombinatsiyalar $2^6=64$ ta bo'ladi va ulardan sinxronizatsiyani ta'minlash nuqtai nazaridan bir va nollar soni qulay bo'lgan 32 ta kombinatsiyani ajratib olish mumkin.

5.2-jadvaldan ko'rinib turibdiki, bir va nollar soni teng bo'lgan, 6 razryadli 20 ta kombinatsiya mavjud.

5.2-jadval

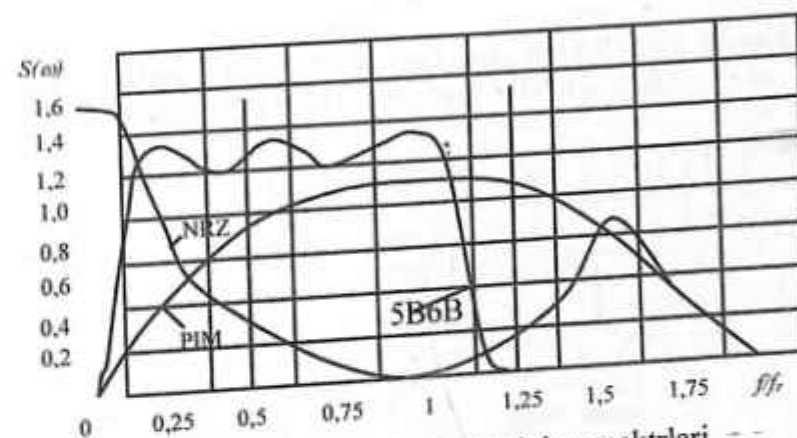
5B6B sinfini kodli kombinatsiyalari

Chiqish bloki	Kod 5B6B	Chiqish bloki	Kod 5B6B
00000		10000	100011
00001	101011 100010	10001	110101 000101
00010	101010	10010	111001 001001
00011	101001	10011	001101
00100	111000(+) 101000	10100	110011 010001
00101	110010	10101	010101
00111	111010 001010	10110	110001
01000	001011	10111	011101 011000
01001	011010	11000	100111 100001
01010	100110	11001	100101
01011	101110 100100	11010	011001
01100	101100	11011	101101 001100
01101	110100	111000	010011
01110	110110 000110	11101	010111
01111	001110		010111(-)
	010110	11110	011011 010010
	011110 010100	11111	011100

Qolgan 12 kombinatsiya ikkita bir va to'rtta noldan yoki to'rtta bir va ikkita noldan iborat kombinatsiyalar navbatma-navbat uzatiladi.

Bu bilan birlar zichligining doimiyligi ta'minlanadi. Bu kodlarda xatoliklarni topish, 5B6B kodiga ta'luqli bo'lmagan 6 razryadli kombinatsiyalarni aniqlash bilan bog'liq.

1B2B, 2B4B kodlariga nisbatan 5B6B kodining energetik spektri tor, bu uning eng muhim afzalligi hisoblanadi. 5B6B, PIM, NRZ kodlarining energetik spektrlari 5.5-rasmda tasvirlangan.

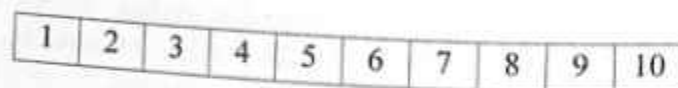


5.5-rasm. Turli optik liniya kodlarining spektrlari

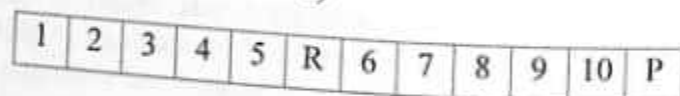
Xatoliklar mavjudligi P razradi yordamida tekshiriladi. Bu nazorat simvoli boshlang'ich blokni juftlikka tekshirish uchun xizmat qiladi. Agar NRZ kodi boshlang'ich blokining yig'indisi juft sonli bersa, P razryadiga «0» simvoli, aksincha bo'lsa «1» simvoli beriladi. Shu tarzda uzatishda birlamchi xatolikni aniqlash imkoniyati yuzaga keladi. Qo'shimcha P simvoli 1 ko'rinishida sinxronizatsiya uchun kiritiladi va shuningdek u orqali berilgan blokning chegarasini aniqlash mumkin. 10B 12B kodi ba'zan 10B 1R 1P deb belgilanadi.

Skremblerlash — bu yangi kodni yaratishni yana bir imkoniyatidir. Bunda liniya kodi simvollarni boshlang'ich kod simvollariga nisbatan ortiq bo'lishiga zaruriyat mavjud emas. Albatta, bunday kodlash o'zining tejamkorligi tufayli yuqori tezlikli tizimlarda, asosan STM-N tizimlarida qo'llaniladi.

10B12B, 40B48B kodlari. Bu kodlarda ortiqcha razryadlar sinxronizatsiyani ta'minlash va xatoliklarni tekshirish maqsadida kiritiladi (5.6-rasm)

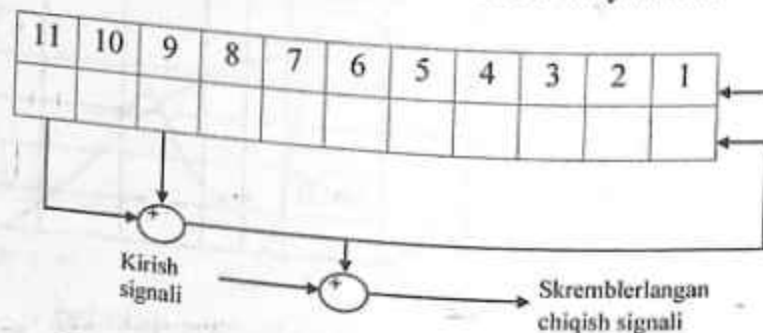


a)



b)

5.6-rasm. 10B 1R 1P turdagi liniya kodini shakllanish sxemasi:
a) - boshlang'ich NRZ kodi; b) - 10B 1R 1P liniya kodi.



5.7-rasm. Skremblerlash qurilmasining ishi

Skremblerlashda boshlang'ich kod, bir va nollarning uzatish zichligi taxminan teng bo'lgan kodlarga almashtiriladi, bu qabul qilishda sinxronizatsiya muvozanatini ta'minlaydi. Uzatishda xatoliklarni aniqlashga kelsak, bunday maqsadlar uchun tsikl sarlavhasi (freym) qo'llaniladi. Bunda tsikldagi barcha axborot skremblerlanadi. Skremblerlash qurilmasining ishi asosida bir va nollar kvazitasodifiy ketma-ketligining generatori singari suruvchi registrni qo'llash yotadi. Kvazitasodifiy ketma-ketliklarni olish uchun suruvchi registrda ikki moduli bo'yicha alohida yacheykalarni qo'shish qo'llaniladi. Birinchidan bunda har bir tsiklda suruvchi registrga kiritilgan har qanday ketma-ketlikdan («0» dan tashqari) taktdan taktga o'garuvchi nol va birlar ketma-ketligi shakllanadi.

Bu signallar boshlang'ich signal bilan qo'shilganda, liniyaga skremblerlangan signalni berish va xuddi shunday skremblerlash qurilmasida, xuddi shunday suruvchi registrda bir xil laxzada ko'chirilgan boshlang'ich ketma-ketliklardan (liniya trakti bo'yab uzatiladigan signalni vaqt bo'yicha kechikishini nazarda tutgan holda) qabul qiluvchi qismda boshlang'ich signalni qayta tiklash imkonini beradi.

Skremblerlashning yana qo'shimcha afzalligi shundaki, uzatiladigan axborotlarning maxfiyligi saqlanadi.

5.3. Optik aloqa tizimlarining liniya traktida qo'llaniladigan asosiy qurilmalar. Optik retranslyatorlar, ularning turlari

Talab etiladigan signal-shovqin nisbatini, ya'ni shovqindan himoyalanganlikni ta'minlash maqsadida raqamli TOA liniyalarida retranslyatorlar joylashtiriladi. Retranslyatorlar ikki turga bo'linadi:

1. Regeneratorlar; 2. Optik kuchaytirgichlar.

Dispersiya ta'siri uncha katta bo'lmagan, «0» ni «1» dan farqlasa bo'ladigan xolatlardagina optik kuchaytirgichlaridan foydalaniladi. Kuchaytirgichlar signal shaklini tiklamaydi, faqat so'ngan signallarni kuchaytiradi va qabul qilingan signalga qo'shimcha shovqinlar beradi. Shuning uchun ularni soni berilgan shovqindan himoyalanganlik (xatolik koeffitsienti) va dispersiyaning ruxsat etilgan qiymatlarini hisobga olgan holda chegaralanadi.

Raqamli regeneratorlarda signallar nafaqat kuchaytiriladi, balki to'g'rilanadi ham. Signallarni kuchaytirish, boshlang'ich shaklini tiklash, to'g'rilash, shovqinlarni bartaraf etish regeneratsiyalash deyiladi. Regeneratsiyalash regeneratorlarda amalga oshiriladi. Regeneratorni uzatuvchi va qabul qiluvchi optik modullar va regeneratsiyalash bloki yig'indisi sifatida ko'rish mumkin. Spektr (to'lqin) bo'yicha zichlashtirish usulida optik kuchaytirgichlarning vazifasi keskin ortadi. Chunki optik kuchaytirgichlar turli optik tashuvchili bir necha optik signallarni bir vaqtda kuchaytiradi. Xattoki bu hollarda ham, dispersiya tufayli signallarni buzilishiga va shovqinlarga qo'yiladigan talablar bajarilmaydigan oraliq stantsiyalarda va oxirgi stantsiyalarda regeneratorlarni o'rnatish shart.

Regenerator va optik kuchaytirgichlarning taqqosiy xarakteristikalarini 5.3-jadvalda berilgan.

Optik kuchaytirgichlar kam elementlardan tarkib topgani uchun uning tuzilishi oddiy. Lekin narxi ancha qimmat. Ehtiyojni oshishi bilan narxi arzonlashishi mumkin. Optik kuchaytirgichlarning ishonchliligi regeneratorlarga qaraganda yuqori. Bu uning eng muhim afzalligi bo'lib, suv ostida optik kabellarni yotkazganda retranslyatorlarni tashkil etishda e'tiborga olinadi. Optik kuchaytirgichlarni ishi signallarni uzatish tezligiga bog'liq emas, regeneratorlarda esa aksincha.

5.3-jadval
Regenerator va optik kuchaytirgichlarning qiyosiy xarakteristikalarini

Xarakteristikasi	Regenerator	Optik kuchaytirgich
Tuzilishi	Murakkab	Oddiy
Narxi	Arzon	qimmat, ammo tushayapti
Puxtaligi	Yuqori	Juda yuqori
Signalni regeneratsiyalash	Bajariladi	Bajarilmaydi
Uzatish tezligiga bog'liqligi	Bog'liq	Bog'liq emas
Bir vaqtda bir necha signal- larni uzatish imkoniyati	Mavjud emas	Mavjud
Signal/ shovqin nisbati	Yuqori	Quyi
Qo'llanish sohasi	Lokal, regional va regionlararo tarmoqlar	Regional va rasionlararo tarmoqlar

Regeneratorlar bitta signal bilan ishlaydi. Optik kuchaytirgichlar esa kuchaytirish zonasining berilgan oraliq chegarasida turli to'lqin uzunlikli (WDM signal) bir necha optik signallarni bir vaqtda kuchaytiradi.

Retranslyator – regeneratorning umumiy tuzilish sxemasi 5.8-rasmda keltirilgan.

Sxemada:

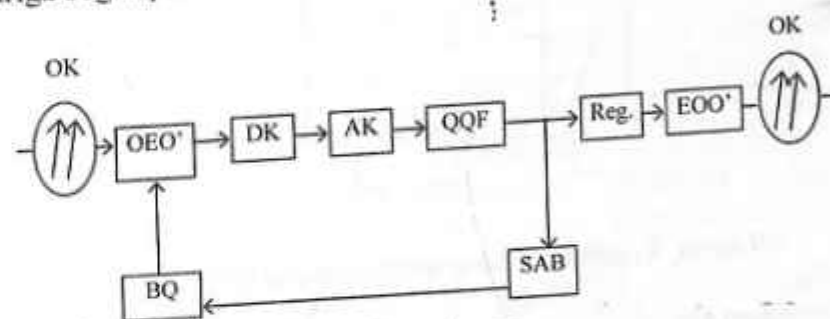
OK – optik kabel (stantsiya yoki liniya kabeli);

OEO' – optoelektron o'zgartirgich. Optik signalni elektr signaliga o'zgartiradi. OEO' sifatida p-i-n fotodiod yoki lavin fotodiod ishlatiladi;

DK – dastlabki kuchaytirgich;

AK – amplituda korrektori, optik kabelda birinchi navbatda dispersiya tufayli hosil bo'ladigan buzilishlarni qisman bartaraf etadi;

QQF – qabul qiluvchi filtr, foydali chastota oralig'idan tashqaridagi shovqin va buzilishlarni bartaraf etish maqsadida signal spektriga bog'liq ravishda chastota oralig'ini chegaralaydi;



5.8-rasm. Raqamli retranslyatorning umumlashgan tuzilish sxemasi

SAB – sathni avtomatik boshqaruvchi qurilma, elementlarning eskirishi, xarorat natijasida kabel va OEO' xususiyatlarini o'zgarishidan qurilma kirishidagi signallar o'zgarganda regenerator kirishidagi kirish signallari sathini doimiylikini ta'minlaydi;

BQ – boshqaruvchi qurilma, SAB qurilmasidan berilayotgan signallar ta'sirida OEO' uzatish parametrlari o'zgarishini ta'minlaydi;

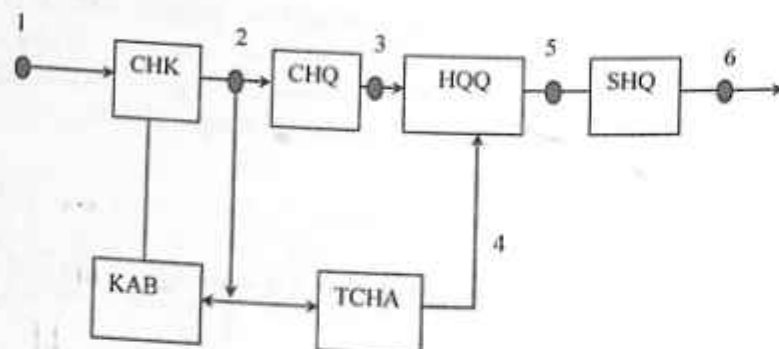
Reg – regenerator, elektr impulslari shaklini tiklaydi;

EOO' – elektron optik o'zgartirgich, elektr impulslari ketma-ketligini optik impulslar ketma-ketligiga o'zgartiradi. EOO' sifatida yorug'lik yoki lazer diodlari qo'llaniladi.

Raqamli retranslyatorning asosiy elementi regenerator hisoblanadi.

5.3.1. Optik signallarni regeneratsiyalash. Optik regeneratorning tuzilishi va ish printsipi

Regeneratorning umumlashgan tuzilish sxemasi 5.9- rasmda tasvirlangan.



5.9-rasm. Regeneratorning umumlashgan tuzilish sxemasi

Sxemada:

- CHK – chegaralovchi kuchaytirgich;
- KAB – kuchayishni avtomatik boshqaruvchi qurilma;
- CHQ – chegaralovchi qurilma;
- HQQ – hal qiluvchi qurilma;
- TCHA – taktli chastota ajratgich;
- SHQ – shakllantiruvchi qurilma.

Bu elementlarning vazifalarini regenerator ishining vaqt diagrammasidan ko'rish mumkin (5.10-rasm). Bu rasmdagi 1-6 signallar 5.9-rasmda tasvirlangan regeneratorning 1-6 nuqtalaridagi signal ko' rinishlaridir.

Regenerator ishini ko'rib chiqamiz.

QQF chiqishidan (5.8-rasm) signallar chegaralovchi kuchaytirgichga (1) tushadi. CHK KAB sxemasidan ham boshqariladi. KAB HQQ yordamida «1» va «0» impulsni to'g'ri

hal qilish uchun signal sathini doimiylikini qo' shimcha ravishda saqlab turadi. CHKda signallar kuchaytiriladi va buzilishlarni ma'lum bir qismini bartaraf etish maqsadida signallarni amplitudalari chegaralanadi (2).

CHK chiqishidan signal CHQ va TCHA kirishiga tushadi. Signal sathi U_{cheg} dan oshsagina CHQ chiqishida signal hosil bo'ladi (3). TCHA chiqishidan HQQ kirishiga (4) $f_1=1/T$ taktli chastota impulsining davriy ketma-ketligi uzatiladi, bu yerda T-impuls ketma-ketligi davri.

Agar HQQ ning birinchi kirishiga CHQ chiqishidan axborot signallari ketma-ketligi (3), ikkinchi kirishiga taktli impuls ketma-ketligi (4) berilsa va ular bir-biri bilan mos tushsa, HQQ chiqishida ma'lum amplituda va davriylikka ega impuls hosil bo'ladi (5).

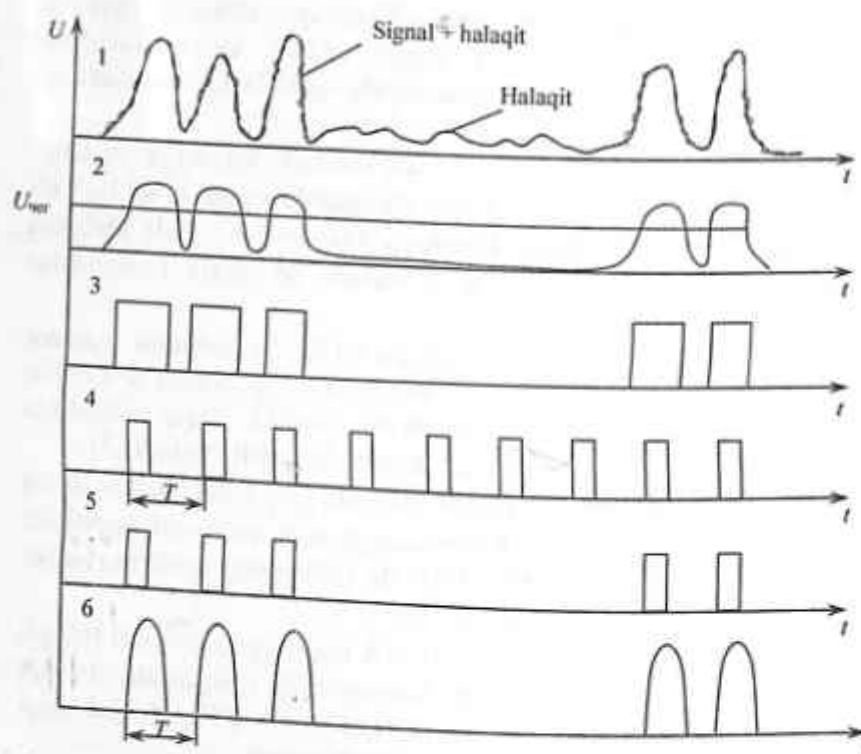
Bu impuls SHQga uzatiladi. SHQda impuls shakli to'liq regeneratsiyalanib, boshlang'ich signallarga mos keluvchi impuls shakllanadi. So'ng bu impuls EOO' da (5.8-rasm) optik nurlanish impuls ketma-ketligiga o'zgartiriladi.

Shuni belgilab o'tish kerakki, TCHA ishining xatoliklari tufayli hosil bo'ladigan fazalar titrashini kamaytirish maqsadida TCHA chiqishidagi impulslarning davriy ketma-ketligi (4) CHQ chiqishidagi to'g'rilangan impuls bilan albatta fazalashtiriladi.

Chegaralovchi qurilma va chegaralovchi kuchaytirgich regeneratorning asosiy elementlari hisoblanib, uning shovqindan himoyalanganligini ta'minlaydi, chegaraviy kuchlanish va mustahkam kuchaytirishni aniqlashni talab etadi.

Chegaraviy kuchlanishni o'zgarishi regeneratorning shovqinbardoshlilikini kamaytiradi, bu chegaralovchi kuchaytirgich (CHK) chiqishidagi to'g'rilangan impulslarning maksimal qiymati va chegaralovchi qurilmaning chegaraviy kuchlanishi orasidagi optimal nisbatni buzilishiga olib keladi. Bunday optimal nisbatni doimiy ushlab turish uchun regeneratorlarda KAB qurilmasi qo'llaniladi.

Regeneratorlarning yuqorida aytib o'tilgan imkoniyatlari tufayli signallar to'liq qayta tiklanadi, shovqinlarning ta'sir qilishi yo'qoladi, aloqa sifati yaxshilanadi, shovqindan himoyalanganlik oshadi.

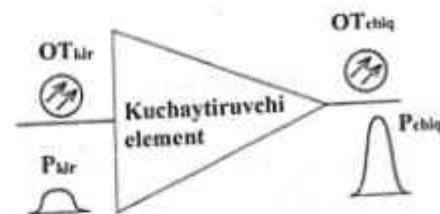


5.10-rasm. Regenerator ishining vaqt diagrammasi

5.4. Optik kuchaytirgichlar

5.4.1. Optik kuchaytirgichlarning tasniflanishi va asosiy parametrlari

Optik kuchaytirgich optik signalni elektr signalga o'zgartirmasdan uni kuchaytirish uchun mo'ljallangan TOUT komponentiga aytiladi. Optik kuchaytirgichning umumlashtirilgan sxemasi 5.11-rasmda keltirilgan. P_{kir} quvvatli optik nurlanish kirish optik tolasi OT_{kir} orqali KE kuchaytiruvchi elementga beriladi, bu erda optik signalni P_{chiq} quvvatgacha kuchaytirish jarayoni bo'lib o'tadi, keyin kuchaytirilgan optik signal OT_{chiq} chiqish optik tolasi orqali mos TOUT komponentiga beriladi.



5.11- rasm. Optik kuchaytirgich

Optik kuchaytirgich kirish optik signallarini faqat optik operatsiyalar orqali, bunda hech qanday optik signalning shaklini tiklamasdan quvvatini kuchaytiradi, ya'ni optik kuchaytirgich protokol yoki uzatish tezligiga bog'liq emas va istalgan formatdagi kirish signalini kuchaytirishi mumkin. Bitta optik kuchaytirgich bir vaqtda ko'p sonli mustaqil spektral kanallarni kuchaytiradi.

Optik kuchaytirgichlarni tasniflash asosan quyidagi belgilar bo'yicha bajariladi:

1) Tayyorlash texnologiyasiga bog'liq ravishda optik kuchaytirgichlar quyidagi turlarga ajratiladi:

- lazerli yarim o'tkazgichli optik kuchaytirgichlar - YaO'OK (Semiconductor Optical amplifiers — SOA);

- erda kam uchraydigan elementlar (EKUE) bilan legirlangan optik toladagi optik kuchaytirgichlar;

- optik toladagi nochiqliq buzilishlar asosidagi optik kuchaytirgichlar;

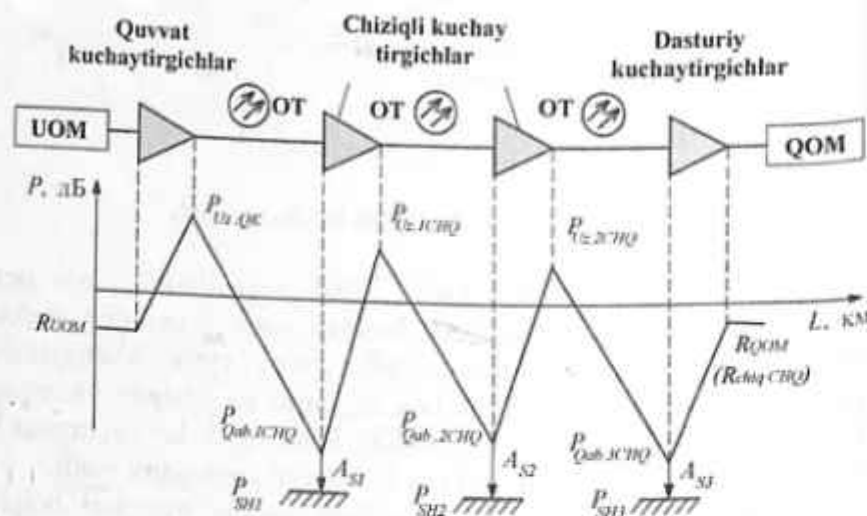
- EKUE bilan legirlangan OTdagi va undagi nochiqliq buzilishlardan foydalanadigan kombinatsiyalangan optik kuchaytirgichlar;

2) TOUT liniya traktidagi ulanish joyiga bog'liq ravishda optik kuchaytirgichlar quyidagilarga bo'linadi (5.12- rasm):

- oxirgi stansiya uzatuvchi optik moduli (UOM) chiqishiga ulanadigan va liniya trakt kirishida optik signal quvvatini kuchaytirish uchun mo'ljallangan quvvat kuchaytirgichlari (busterlar);

- TOUT liniya traktlarining olisdagi uchlarida o'rnatiladigan va fotofabullagichning sezgirligini oshirishga mo'ljallangan datlabki kuchaytirgichlar (bu kuchaytirgich qabul qilish optik moduli (QOM)

bilan integratsiyalanadi va tor polosali optik filtr bilan birga ishlatiladi);



5.12- rasm. Magistral bo'ylab optik kuchaytirgichlarni joylashtirish va sathlar diagrammasi

- talab qilinadigan halaqitbardoshlikni ta'minlaydigan sathgacha optik signalni kuchaytirish zarur bo'ladigan TOUT liniya trakti nuqtalarida o'rnatiladigan chiziqli kuchaytirgichlar. Apparatning ichida optik kuchaytirgichlar passiv elementlar - modulyatorlar, filtrlar, kommutatorlar va boshqalar kiritadigan yo'qotishlarni kompensatsiyalash uchun mo'ljallangan yo'qotishlar kompensatorlari sifatida ishlatiladi.

5.12- rasmda TOUT liniya trakti bo'yicha optik signalni uzatish sathlar diagrammasi (SD) tasvirlangan. Asosiy nuqtalar quyidagilar hisoblanadi:

- P_{UOM} - UOM chiqishidagi va optik quvvat kuchaytirgichi kirishidagi uzatish sathi;
- P_{Uz_QK} - quvvat kuchaytirgichi chiqishidagi optik signalning quvvati sathi;
- $S_{QK} = P_{Uz_QK} - P_{QOM}$ quvvat kuchaytirgichining kuchaytirishi;
- $P_{Qab_1CHK} - P_{Qab_2CHK} = P_{Uz_QK} - A_1$ ga teng bo'lgan birinchi chiziqli kuchaytirgich kirishidagi qabul qilish sathi;

- A_1 - birinchi kuchaytirish oralig'idagi so'nish.

SD da turli kuchaytirgichlarning uzatish va qabul qilish sathlari, shuningdek kuchaytirgichlarning kirishlaridagi shovqinlar sathlari ko'rsatilgan. Har bir kuchaytirish oralig'i uchun P_{Qab} qabul qilish va P_{sh} shovqin sathlari orasidagi farq optik signalni liniya trakt shovqinlaridan himoyalanganligini aniqlaydi:

$$A_z = P_{Qab} - P_{sh}$$

TOUT optik filtrlari yoki boshqa selektiv qurilmalar bilan kombinatsiyada optik kuchaytirgichlar qisqa to'liqli, uzun to'liqli, polosali bo'lishi mumkin.

Optik kuchaytirgichlarning asosiy parametrlari
kuchaytirish koeffitsienti yoki quvvat bo'yicha kuchaytirish, o'z shovqinlari sathi va kuchaytirgich chiqishidagi to'yinish quvvati hisoblanadi.

Optik kuchaytirgichlarning kuchaytirish koeffitsienti quyidagi ko'rinishdagi nisbatdan hisoblanadi

$$K_m = P_{chiq}/P_{kir} \quad (5.2)$$

Optik kuchaytirgichlarning kuchaytirishi quyidagi logarifmik kattalikdan iborat:

$$S = 10 \lg(P_{chiq}/P_{kir}), \text{ dB} \quad (5.3)$$

Shovqin koeffitsienti yoki shum-faktor (noise-factor) quyidagi ko'rinishdagi nisbat hisoblanadi:

$$F_{sh} = (P_{kir}/P_{shkir})/(P_{chiq}/P_{shchiq}) \quad (5.4)$$

yoki logarifmik shovqin koeffitsienti:

$$d = 10 \lg(P_{kir}/P_{shkir})/(P_{chiq}/P_{shchiq}) = A_{zkir} - A_{zchiq} \quad (5.5)$$

bu erda P_{shkir} - optik kuchaytirgich kirishidagi shovqin quvvati;
 P_{shchiq} - optik kuchaytirgich chiqishidagi halaqit quvvati;

A_{zkir} va A_{zchiq} - optik kuchaytirgich kirishida va chiqishidagi himoyalanganlik.

F_{sh} shovqin koeffitsienti optik kuchaytirgich kirishidagi SSHNga qaraganda optik kuchaytirgich chiqishidagi SSHNning kamayishini xarakterlaydi. Logarifmik koeffitsient optik kuchaytirgichdan o'tishida optik signalning shovqinlardan himoyalanganligida yo'qotilarni xarakterlaydi. Optik kuchaytirgichning bu parametrini baholash "elektr darajada" optik signalni fotodetektor yordamida elektr signalga o'zgartirish yo'li bilan amalga oshiriladi.

To'yinish quvvati - optik kuchaytirgichning P_{chiq} to'y chiqish quvvati bo'lib, bunda K_m kuchaytirish koeffitsienti minimal kirish signalida erishiladigan K_m maks (yoki S_{maks} kuchaytirish) kuchaytirish koeffitsientining maksimal qiymatidan 2 martaga (S kuchaytirish yoki 3 dB ga) kichik bo'ladi.

Optik kuchaytirgichning bu parametri ularning to'yinish imkoniyatidan kelib chiqadi, chunki kuchaytirgichning chiqish quvvati uning konstruktiv o'ziga xos xususiyatlari va damlash generatorining quvvati bilan cheklangan. Shuning uchun kirish signalining quvvati oshganda kuchaytirgichning kuchaytirishi kamayadi.

To'yinish chiqish quvvati damlash generatori quvvatining va kuchaytirgich boshqa parametrlarining funksiyasi hisoblanadi va odatda 10 dan 100 mVt gachani (10 dan 20 dBm gachani) tashkil etadi.

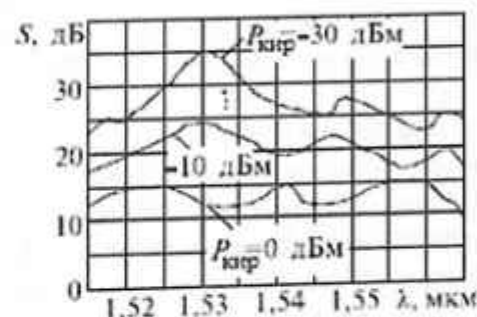
Optik kuchaytirgichning kuchaytirish koeffitsienti deyarli o'zgarishsiz qoladigan kirish signalining minimal va maksimal quvvati optik kuchaytirgichning *dinamik diapazonini* aniqlaydi. U optik kuchaytirgichningqator o'ziga xos shovqinlari, masalan, o'z-o'zidan nurlanish orqali kuchaytirilgan (O'O'K, Amplified Spontaneous Emission - ASE) shovqinlarga bog'liq bo'lgan shovqin koeffitsienti bilan uzviy bog'langan. Bu shovqinlar turli fizik xarakterdagi tasodifiy qo'zg'atuvchi omillar ta'siri ostida, masalan, kuchaytirgichning qizishi (issiqlik fonlari), shuningdek fotonlarning tarqalishini borligi hisobiga vujudga keladi.

Optik kuchaytirgichlarning muhim xarakteristikalarini ularning *spektral xarakteristikalarini*, ya'ni optik kuchaytirgichning kuchaytirish koeffitsientini optik nurlanish to'lqin uzunligiga bog'liqligi - $S = f$

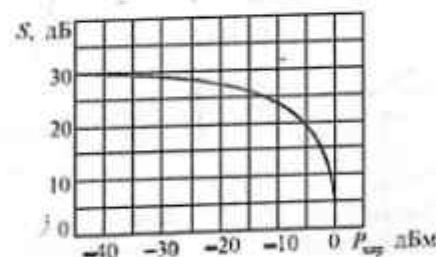
(λ) hisoblanadi. 5.13- rasmda kirish optik signali quvvatining uchta qayd etilgan qiymatlari uchun kuchaytirishning to'lqin uzunligiga bog'liqligi keltirilgan.

Kuchaytirishning kirish quvvatiga bog'liqligi - $S = f(P_{kir})$ *amplitudaviy xarakteristika* orqali tavsiflanadi (5.14- rasm).

Turli elementlar asosida bajarilgan optik kuchaytirgichlar o'ziga xos parametrlar va xarakteristiklarga ega, ular haqida mos kuchaytirgichlarni ko'rib chiqishda beriladi.



5.13- rasm. Optik kuchaytirgichning spektral xarakteristikasi



5.14- rasm. Optik kuchaytirgichning amplitudaviy xarakteristikasi

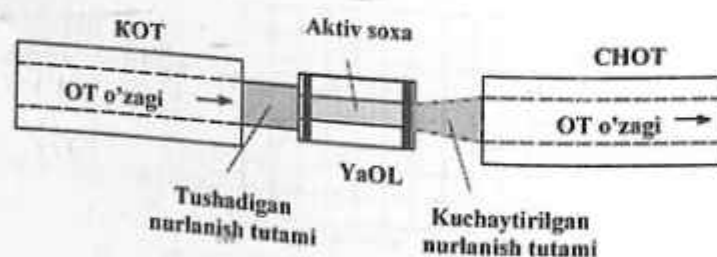
5.4.2. Yarim o'tkazgichli optik kuchaytirgichlar

Yarim o'tkazgichli optik kuchaytirgichlarni (YaO'OK) qurish asosida yarim o'tkazgichli lazerli diodlar (YaO'D) yotadi. Shuning uchun bunday optik kuchaytirgichlar (5.15-rasm) yarim o'tkazgichli lazerli kuchaytirgichlar (YaO'LK) deyiladi.

Kirish optik tolasi (KOT) orqali keladigan tashqi optik nurlanish birlamchi fotonlari YaO'Lning aktiv qatlamiga tushadi, ikkilamchi fotonlarni paydo bo'lishini keltirib chiqaradi. Bitta birlamchi foton K ikkilamchi fotonlarni emissiyalanishini keltirib chiqaradi, ya'ni K-martalik optik kuchaytirish o'z o'rniga ega bo'ladi. Kuchaytirilgan optik nurlanish chiqish optik tolasi (CHOT) orqali TOUTning mos komponentiga beriladi. YaO'Lning aktiv sohasi $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}$ yoki $\text{In}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}_y\text{P}_{1-y}$ turdagi kristallardan tayyorlanadi va bir necha mikronlar kenglikka va mikrondan kichik qalinlikka ega bo'ladi, bu bunday kuchaytirgichlarni chip-modulda integral sxemalarning boshqa elementlari bilan birga integratsiyalash imkoniyatini beradi.

Tuzilmasiga bog'liq ravishda YaO'L quyidagi uchta yarim o'tkazgichli kuchaytirgichlar turlariga bo'linadi.

Kuchaytirgichning kirishi va chiqishida mahkamlangan ko'zguli yarim shaffof devorli tekis rezonator bilan jihozlangan *Fabri-Pero kuchaytirgichlari*. Tekis rezonatorlar optik teskari aloqa rolini o'ynashi bilan ko'p karrali kuchaytirish protsedurasini ta'minlaydi.



5.15- rasm. Yarim o'tkazgichli lazerli kuchaytirgich

Fabri-Pero kuchaytirgichlari juda tor (1,2 GGs gacha), lekin keng qayta sozlanadigan dipazonda (800 GGs) yuqori kuchaytirish ko'effitsientini (25 dB gacha) ta'minlaydi. Ular impulsli kuchaytirish tor maksimumlari va taroqlar o'zgarish qadamlarili taroqli filtr turidagi spektral xarakteristikaga ega. Bundan tashqari, bunday kuchaytirgichlar optik signalning polarizatsiyasiga deyarli sezgir emas va yon tashkil etuvchilarning kuchli so'ndirilishi bilan (5 GGs

dagi interval chegaralaridan tashqarida 20 dB ga so'ndirish) xarakterlanadi

Yugurma to'lqin kuchaytirgichi

Agar optik kuchaytirgichda kuchaytirish bitta yo'l bosish amalga oshirilsa (rezonatorlar yo'q, optik teskari aloqa bo'lmaydi), u holda bunday optik kuchaytirgich Yugurma to'lqin kuchaytirgichi (YuTK, Traveling Wave Amplifier — TWA) deyiladi.

YuTK 60...100 nm kenglikdagi polosada 1 dB dan yomon bo'lmagan notekislikli etarlicha tekis spektral kuchaytirish xarakteristikasiga ega. So'nggi vaqtlarda YuTKning ajoyib xarakteristiklari (ishlab chiqarishdagi nisbatan oddiyli, etarlicha xarakteristiklari (ishlab chiqarishdagi nisbatan oddiyli, etarlicha yuqori kuchaytirish ko'effitsienti va keng ishchi chastotalar polosasiga egaligi) va antiqaytaruvchi qoplamalarni ishlab chiqarish texnologiyalari sohasida erishilgan yutuqlarni hisobga olganda ular TOUT texnikasida keng qo'llanilmoqda. Lekin ularga ikkita kamchiliklar xarakterli bo'ladi:

1) YaO'L ning aktiv qatlami bir necha mikronlardagi ko'ndalang o'lchamga, bir mikron chegaralardagi qalinlikka ega, bu OT o'zagi diametridan (bir modali OT uchun 9 mkm) ko'p martaga kichik. Shu tufayli kirish OTdan yorug'lik oqimining katta qismi aktiv zonaga tushmaydi (5.14- rasmga qarang) va yo'qotiladi, bu kuchaytirgichning foydali ish ko'effitsientini (FIK) kamaytiradi. Kirish OT va YaO'L aktiv sohasining orasiga linza qo'yish bilan FIKni oshirish mumkin, lekin bu YuTK konstruksiyani murakblashishiga olib keladi;

2) kuchaytirish ko'effitsientini kirish signal polarizatsiyasiga kuchli bog'liqligi o'z o'rniga ega bo'ladi. Uzatishda signal polarizatsiyasi nazorat qilinmaydigan jarayon hisoblanadi va demak, kuchaytirgichning kuchaytirish qiymati ham nazorat qilinmaydigan bo'ladi. Chunonchi, kuchaytirish fluktuatsiyasi ikkita ortogonal polarizatsiyalar uchun 4...6 dB ga etishi mumkin. Bu kamchilikni yo'qotish YuTKning konstruksiyasini sezilarli murakblashtirmasdan mumkin bo'lmaydi, bu uning narxini ortishiga olib keladi.

Injeksiya to'siladigan kuchaytirgichlar (ITK)

Injeksiya to'siladigan kuchaytirgichlar oddiy kuchaytirgichlar kabi ishlaydi. Bunday optik kuchaytirgichlar ba'zan *qayd etilgan kuchaytirishli* kuchaytirgichlar deyiladi. Ularning ishlash rejimi asosiy nurlanish modasini generatsiyalash uchun zarur bo'ladigan doimiy kuchaytirishni ta'inlaydi.

ITKni qurish asosiga taqsimlangan teskari aloqali va taqsimlang Breg qaytarishli lazerlar qo'yilgan.

Bunday optik kuchaytirgichlarning kuchaytirishi faqat lazerning rezonans chastotasidan farqli bo'lgan chastotalarda o'z o'rniga ega bo'ladi va lazerning spektral xarakteristikasi odatda generatsiyalaadigan bo'ylama modaning rezonans maksimumiga simmetrik bo'lgan keng, uzluksiz va silliq sohada etarlicha katta kuchaytirish egaligi tufayli mumkin bo'ladi.

Konstruktiv jihatdan YaO'LK standart hajmlardagi oddiy metall korpuslardagi uzatish optik modullariga o'xshash bajariladi. Korpusning yon qirralari orqali bir modali OTdan 3 mm diametrli bir tolali optik kabellar chiqarilgan. Optik kuchaytirgich korpusidaaktiv sohadan tashqari, optik izolyatorlar va yarim sferik linzalar bilan birga mikrosovutkich (Pelte elementi), termorezistor, fotodiod va boshqalar joylashtiriladi. Optik kuchaytirgich tuzilmasida YaO'L ishchi nuqtasi va haroratni stabilashni amalga oshiradigan elektron sxema, shuningdek monitoring qilish tizimi mavjud.

Misol uchun quyida Corning (AQSH) firmasi ishlab chiqaradigan YaO'LK parametrlari keltirilgan.

Diapazon, mkm	1,53...1,56
Ichki kuchaytirish, dB	31
Kiritish/chiqarish va tarmoqlashga yo'qotishlar	3
Polyarizatsion sezirlik, dB	0,12
Damlash toki, mA	130
3 dB sathda kuchaytiriladigan chastotlar polosasi, nm	38
To'yinish chiqish quvvati sathi, mVt	8
Kuchaytirish spektral xarakteristikasi notekisligi, dB	±0,5
Logarifmik shovqin koeffitsienti, dB	5,8
Yarim o'tkazgichli lazerli kuchaytirgichlar 1,31 va 1,55 mkm to'lqin uzunliklarida quvvat kuchaytirgichlari, chiziqli	

kuchaytirgichlar va optik signalni detektorlashdan oldingi dastlabki kuchaytirgichlar sifatida ishlatiladi.

5.4.3. Tolali optik kuchaytirgichlar

O'tgan asrning 80-nchi yillarida Deyvid Peyn Sautgempton universiteti, Buyuk Britaniya xodimlari guruhi bilan birga optik signalni optik-elektron o'zgartirishsiz, erbiy bilan legirlangan optik tola yordamida kuchaytirishni taklif etdi. Taklif etilgan texnologiyada bitta cheklash bo'lgan: u faqat 1,55 mkm to'lqin uzunligida markazli tor spektral dipazonda signallarning kuchaytirishga imkon berdi. 1987 yilda bunday erbiy bilan legirlangan optik tola asosidagi kuchaytirgich (Erbium Doped Fiber Amplifier — EDFA) ishlab chiqildi va optik tolali kuchaytirgichlarning (OTK) katta imkoniyatlarini namoyish etdi. Bu momentdan boshlab butun dunyo bo'ylab telekommunikatsion laboratoriyalar to'liq optik liniya traktlarni yaratish maqsadida optik uzatish izimlarida EDFAdan foydalanishga yo'naltirilgan tadqiqotlarni o'tkaza boshladi.

OTK ning nisbatan oddiyligiga qaramasdan, birinchi faqat optik ma'lumotlarni 9000 km masofaga 5 Gbit/s tezlikda uzatish 1992 yilda amalga oshirilgan.

OTK sohasidagi tadqiqotlar ham EDFAlarni takomillashtirish va ularning imkoniyatlarini kengaytirish, ham yangi elementlar asosini va erbiydan (Er) tashqari, erda kam uchraydigan elementlar yoki lantanidlar - prazeodim (Pr), neodim (Nd), tuliy (Tm), itterbiydan (Yb) foylaniga asoslangan yangi texnoogiyalarni izlashga yo'naltirilgan.

Zamonaviy EDFA larda kvarsli yoki florid asosdagi OT lar ishlatiladi. Har ikkalar turlardagi OTlar deyarli bir xil ichki tuzilmaga ega, lekin florid asosdagi tola erbiy bilan legirlashning yuqoriroq darajasini ta'minlaydi. Har ikkala texnoogiyalar uchinchi shaffoflik oynasida ma'qul kuchaytirishni ta'minlaydi, lekin kvarsli asosdagi EDFA uchun kuchaytirish spektral xarakteristikasi florid asosdagi EDFAdagiga qaraganda kam bir jinsli bo'ladi.

Florid asosdagi OT ga legirlovchi qo'shimcha sifatida prazeodim ishlatilgan va 1,31 mkm markaziy to'lqin uzunligi ikkinchi shaffoflik oynasida signallarni kuchaytiradigan OTK

(Praseodymium Doped Fluoride-based Fiber Amplifier — PDFFA) ishlab chiqildi. PDFFA kuchaytirgichlari kichik buzilishlarga, past shovqin sathiga ega, lekin EDFA ga qaraganda kam samarali hisoblanadi. Bu kuchaytirgichlar 200 mVt to'yinish quvvatida 34 dB gacha kuchaytirishni beradi.

Ikkita 1,46 mkm to'lqin uzunligi sohasi va 1,65 mkm to'lqin uzunligi sohasi ishchi dipazonlarga ega bo'lgan tuliylar bilan legirlangan florid OTdagi OTKlar (Thulium Doped Fluoride Fiber Amplifier — TDFFA) yaratilgan.

TDFFA ning avzalliklari:

- to'yinish rejimida chiqish signalining yuqori quvvati (juda yuqori chiqish signalining quvvatili kuchaytirgichlarda legirlovchi arralashma sifatida Yb itterbiy ham ishlatiladi);
- kuchaytirishning optik nurlanishning polyarizatsiyasiga bog'liq emasligi;
- past shovqin koeffitsienti.

Erbiy bilan birga itterbiy bilan legirlangan OT li optik tolali kuchaytirgichlar 0,7 ... 1,1 mkm to'lqin uzunliklari dipazonida ishlatilishi mumkin.

OTK larni yaratish sohasidagi tadqiqotlarning boshqa sohasi OT da noxiziqli hodisalardan foydalanish hisoblanadi.

Oddiy kvarsli OTda majburiy kombinatsion tarqalish (MKT) yoki Raman kuchaytirilgan tarqalish samarasi raman kuchaytirgichlari usuliteley (RU, Raman Amplifiers — RA) asosida yotadi. Bunda, agar optik signal OTda intensiv damlash to'lqini bilan birga tarqalsa, uning to'lqin uzunligi esa kombinatsion tarqalish to'lqin uzunliklari dipazonida yotsa, optik signalni kuchaytirish bo'lib o'tadi.

Raman kuchaytirgichlari o'z tabiatiga ko'ra past shovqinga ega va keng to'lqin uzunliklari dipazonida ishlaydi, lekin ularda kuchaytiriladigan spektral kanallar orasida sezilarli noxiziqli o'tishlar vujudga keladi, bu bir kanalli TOUT larda yoki bunday halaqitlarning ta'siri ularni o'rtachalashtirish hisobiga kamaytiriladigan juda katta kanallar sonli TUBZ TOUT larda ularning qo'llanishini cheklaydi. Bundan tashqari, Raman kuchaytirgichlari polyarizatsiyaga sezgir.

Intensiv qo'zg'atuvchi yorug'lik to'lqini va mos damlashning noxiziqli o'zaro ta'sirlashishi bilan bog'liq Mandelshtam-Brillyuen

majburiy tarqalishi - VRMV (Stimulated Brillouin Scattering - SBS) ishlatilishi mumkin.

VRMV asosidagi kuchaytirgichlar ko'p jihatdan MKT asosidagi kuchaytirgichlarga yutqazadi va shuning uchun TOUT texnikasida alohida tarqalishga ega emas.

Istiqbolli yo'nalish turli kombinatsiyalar, shu jumladan taqsimlangan raman kuchaytirgichi va lantanidlar asosidagi kuchaytirgichlardan tashkil topgan aralash OTKlarni ishlab chiqish va yaratish hisoblanadi. Bunday kuchaytirgichlar $\pm 1,5$ dBdan ortiq bo'lgan og'ishli 82,8 nm kenglikdagi polosada bir tekis kuchaytirish spektral xarakteristikasiga ega.

EDFA turdagi optik kuchaytirgichlarning ishchi parametrlari

TOUT, ayniqsa TUBZ TOUT texnikasida erbiy bilan legirlangan OT asosidagi optik kuchaytirgichlar (EDFA) eng keng tarqalgan. Damlash samaradorligini oshirish uchun OTK da ishlatish uchun mo'ljallangan aktiv tola oshirilgan sonli aperturaga ega bo'lishi kerak. Buning uchun OT o'zagi ayrim moddalarning, masalan, GeO_2 yoki Al_2O_3 ning oksidlari bilan qo'shimcha legirlanadi.

Yuqorida erbiy biriumalari bilan legirlangan OT asosidagi optik kuchaytirgichlarga, lekin ayrim o'ziga xos xususiyalar bilan qo'llansa bo'ladigan optik kuchaytirgichlarning asosiy parametrlari va xarakteristikalari ko'rib chiqilgan edi.

EDFA ning S kuchaytirishi ma'lum λ to'lqin uzunligida quyidagi formula bo'yicha aniqlanadi:

$$S = 10 \lg(P_{\text{chiq}} - P_{\text{o'q'n}})/P_{\text{kir}}, \quad (5.6)$$

bu erda P_{kir} — kuchaytirgich kirishidagi foydali optik signalning quvvati;

P_{chiq} — kuchaytirgich chiqishidagi foydali optik signalning quvvati;

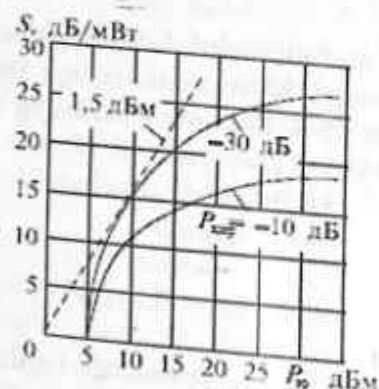
$P_{\text{o'q'n}}$ — o'z-o'zidan kuchaytirilgan nurlanish quvvati.

EDFA kuchaytirish spektral xarakteristikasi - $S = f(\lambda)$ 5.16-rasmda keltirilgan, rasmdan kelib chiqadiki, u kirish signal sathiga bog'liq bo'ladi.

Kuchaytirishni damlash quvvatiga bog'liqligi

EDFA ning S kuchaytirishi R_d damlash quvvatiga kuchli darajada bog'liq, ya'ni $S = f(P_d)$ bo'ladi. Bu bog'liqlik kirish optik nurlanish P_{kir} quvvati sathining turli qiymatlari uchun 5.16-rasmda keltirilgan bo'lib, bunda S kuchaytirish dB/mVtlarda ifodalangan va koordinatalar boshidan o'tadigan maksimal kuchaytirish egriligiga urinmaning ohishi maksimal burchagi orqali aniqlanadi. Ta'kidlaymizki, eng katta kuchaytirish qiymati 1,53 mkm atrofidagi to'lqin uzunliklarida bo'ladigan damlash nurlanishi va legirlangan OT oraliqlari yutilishining eng katta qiymatlarida o'z o'rniga ega bo'ladi (damlash to'lqin uzunligi kichik bo'lishi kerak).

Damlash generatorining bir millivatt quvvatiga maksimal kuchaytirishga erishish uchun qiymati 0,2 ... 0,4 chegaralarda yotadigan, asosiy qiymati 0,3 ga teng bo'lgan yuqori aperturali OT ishlatiladi.

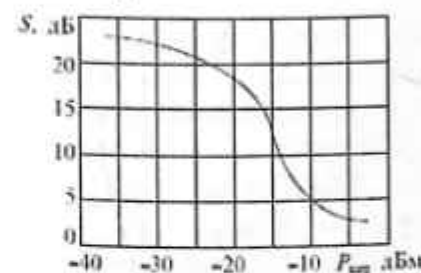


5.16-rasm. EDFA kuchaytirishini damlash quvvatiga bog'liqligi

Kuchaytirishni kirish signalni quvvati sathiga bog'liqligi

Kirish signalni quvvatining minimal quvvati, bu shunday sathki, bunda kuchaytirish sezilarli o'zgarmaydi. Kuchsiz signalni kuchaytirish sohasini aniqlash uchun kuchaytirgich kirishidagi shovqinni baholash kerak.

Effektiv kirish shovqini, hisoblashlarning ko'rsatishicha, 1,55 mkm to'lqin uzunligida taxminan 30 nVt/nm ni tashkil etadi. Bu qiymatni kuchaytirishga ko'paytirish bilan kuchaytirgich kirishidagi shovqinning sathini aniqlash mumkin. P_{kir} kirish signalning quvvati shovqin quvvatidan katta bo'lishi bilan u yanada muhim rol o'ynaydi.

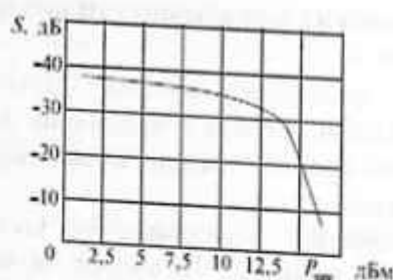


5.17-rasm. EDFA kuchaytirgichning amplitudaviy xarakteristikasi

$\Delta\lambda = 10$ nm o'tkazish polosasi kengligi kuchaytirgich $\lambda = 1,55$ mkm da 0,3 mVt atrofida effektiv kirish shovqiniga ega bo'ladi, uning kuchaytirishga ta'sirini oldini olish uchun kirish signalining sathi 45 dB dan oshmasligi kerak.

P_{kir} kirish signalning quvvatini shovqin quvvatiga tenglashtirsa bo'lganida uning kuchaytirish qiymatiga ta'siri sezilarsiz bo'ladi. Kuchaytirgichning bunday ishlash rejimi kuchsiz signalni kuchaytirish rejimi deyiladi. 5.17-rasmda kuchaytirgichning kuaytirishini kirish signal quvvati sathiga bog'liqligi, ya'ni uning amplitudaviy xarakteristikasi (AX) keltirilgan.

AX kuchsiz signal rejimi sohasini aniqlashga imkon beradi va juda past kirish kuchlanishi sathlarida kuchaytirishni kamayishi kuzatilishini ko'rsatadi. Shunday qilib, AXning noxiziqiligi signalning kirish sathlari uchun muhim parametr hisoblanadi.



5.18-rasm. EDFA kuchaytirishini chiqish signali quvvatiga bog'liqligi

To'yinish quvvati

Kuchaytirgichning AXdan kelib chiqadiki (5.17-rasmga qarang), kichik kirish signallari dipazonida kuchaytirgichning kuchaytirishini deyarli o'zgarmas kattalik hisoblash mumkin. Keyin kuchaytirish kirish signali sathining ortishi bilan kamayadi (deyarli eksponensial qonun bo'yicha). AXning bu "tushadigan" oralig'i kuchaytirgichning to'yinishi sohasini aniqlaydi. Uning bo'lishi ortadigan kirish signali sathi, ko'chish iversiyasi hosil bo'ladigan sathda ikkilamchi fotonlarni generatsiyalay oladigan birlamchi fotonlarning tanqisligi keltirib chiqaradigan K kuchaytirish koeffitsientini kamayishi bilan tushuntiriladi. Bu soha miqdoran kuchaytirgichning chiqishidagi P_1 to'yinish quvvati orqali harakterlanadi, u AX bo'yicha maksimal kuchaytirishga nisbatan 3 dBga kamaygan qiymatda aniqlanadi (5.18-rasm).

Signalning polarizatsiyasiga EDFA kuchaytirishining sezgirligi

Kuchaytirgichning kuchaytirishini foydali signalning polarizatsiya qiymatiga bog'liq o'zgarishini xarakterlaydi. Polarizatsiyaning o'zgarishi kuchlanish qiymatini o'zgartirish bilan kirish optik signalining parazit amplitudaviy modulyasiyalanishiga olib keladi. Polarizatsiyaga kuchaytirishning sezgirligi optik tolaning turiga kuchli darajada bog'liq bo'ladi.

EDFA asosidagi kuchaytirgichlarning shovqinlari

EKUE bilan legirlangan OT asosidagi kuchaytirgichlar shovqinlarining asosiy tashkil etuvchilaridan biri O'O'NK shovqinlari hisoblanadi. Bu shovqinlarning spektral zichligi oq yoki issiqlik shovqinlarining spektral shovqiniga o'xshash bo'ladi. O'O'NKga bog'liq kuchaytirgichning shovqin koeffitsienti (yoki uning logarifmik analogi) quyidagi formula bo'yicha aniqlanadi:

$$F_{o'o'nk} = 2n_{o'o'nk} (K - 1) / K \text{ yoki } d_{o'o'nk} = 10 \lg [2n_{o'o'nk} (K - 1) / K] \approx 3 + 10 \lg n_{o'o'nk}$$

bu erda $n_{o'o'nk} = N_2 / (N_2 - N_1)$ - o'z-o'zidan emissiya koeffitsienti;

N_1 va N_2 - asosiy va qo'zg'algan holatlardagi zarrachalarning ko'chishi.

EDFA asosidagi ko'pchilik kuchaytirgichlar uchun logarifmik shovqin koeffitsienti 6...8 dB chegaralarda yotadi. Optik kuchaytirgichlar shovqinlarining boshqa tashkil etuvchilari ham ta'sir ko'rsatadi:

- qoldiq damlash signali shovqini - qoldiq damlash to'liqini kuchaytirgichning chiqishiga o'tishiga bog'liq damlashli kuchaytirgichlardagi o'ziga xos shovqin manbai; bu shovqinning ta'sirini kuchaytirgichning chiqishiga ulanadigan optik filtdan foydalanish bilan sezilarli kuchsizlantirish mumkin;

- O'O'NK tashkil etuvchilarining urilishi shovqini, u O'O'NK tashkil etuvchilarini kvaziampitudaviy-modulyasiyalangan signal polosasi ichida o'zaro ta'sirlashishiga bog'liq bo'ladi; O'O'NK shovqini chiqish quvvati ortishi bilan kamayadi. Demak, quvvat kuchaytirgichlari (busterlar) sifatida ishlatiladigan OTKlar uchun bu shovqinlarni e'tiborga olmaslik mumkin. Bu shovqinlar kuchsiz signallarni kuchaytirishda juda muhim, masalan, fotodetektorlar kirishida ulanadigan dastlabki kuchaytirgichlarda o'z o'rniga ega bo'ladi;

- signalning o'z-o'zidan murlanish tashkil etuvchilari bilan urilishi shovqini foydali signal O'O'NK shovqini bilan aralashganda (o'zgartirilganda) vujudga keladi. Bu shovqinni filtrlash yo'li bilan yo'qotish mumkin emas, chunki u modulyasiyalangan optik tashuvchi chastotalari polosasida yotadi;

- bitta spektral kanal signalini boshqa spektral kanallar signallari bilan parazit amplitudaviy yoki chastotaviy modulyasiyalanishi hisobiga kanallar spektral ajratiladigan TOUTlardagi *kesishma halaqitlarga bog'liq shovqinlar*.
Zamonaviy EDFA texnologiyalar asosidagi kuchaytirgichlarning asosiy parametrlari 5.4-jadvalda keltirilgan.

5.4-jadval
EDFA texnologiyalar asosidagi kuchaytirgichlarning asosiy parametrlari

Kuchaytirgichning parametrlari	Optik nurlanish to'lqin uzunligi, nm	
	1530 ... 1536	1550... 1554
Kuchaytirish, dB	38...43	38...41
Ishchi polosa kengligi, nm	2	4
Kichik kirish signalida kuchaytirish, dB	15...40	15...35
Chiqish quvvati, Vt	>0,5	>0,5
Shovqin koeffitsienti, dB	5,0	4,35
To'yinish quvvati sathi, dB	+15	+15,8
Kuchaytirishning polarizatsiyaga sezirligi, dB	<1,0	<1,0

EDFA texnologiyasi kuchaytirgichlarining asosiy funksional sxemalari

Zamonaviy TOUT larda OT uchinchi shaffoflik oynasi to'lqin uzunliklari diapazonida va 1480 nm damlash to'lqin uzunligi diapazonida EDFA kuchaytirgichlar eng keng qo'llanadi. Bu qator sabablar orqali tushuntiriladi, ulardan asosiylari quyidagilar:

- 1) bu to'lqin uzunligida ishlaydigan yarim o'tkazgichli lazerli diodlardan yuqori damlash quvvatining mumkinligi;
- 2) damlash quvvatidan foydalanishning yuqori samaradorligi, chunki 1480 va 1550 nm orasidagi uncha katta bo'lmagan energetik zonalar o'z o'rniga ega bo'ladi;
- 3) olisidan rejimda damlashli EDFA uchun optik tolaning kichik so'nishi;

4) keng yutilish spektri tufayli damlash lazeri to'lqin uzunligi aniqligiga yuqori bo'lmagan talablar.

EDFA kuchaytirgichlarini damlash uchun 980 nm nurlanish to'lqin uzunligi lazerlar kamroq qo'llaniladi, ular past shovqin koeffitsientili kuchaytirgichlarni yig'ishga imkon beradi, lekin bunda tor yutilish polosasini olish uchun damlash to'lqin uzunligini yuqoriroq o'rnatish aniqligi talab qilinadi. Turli damlash to'lqin uzunliklari uchun kuchaytirgichlar parametrlarini taqqoslash 5.5-jadvalda keltirilgan.

5.5-jadval
Turli damlash to'lqin uzunliklari uchun kuchaytirgichlar parametrlari

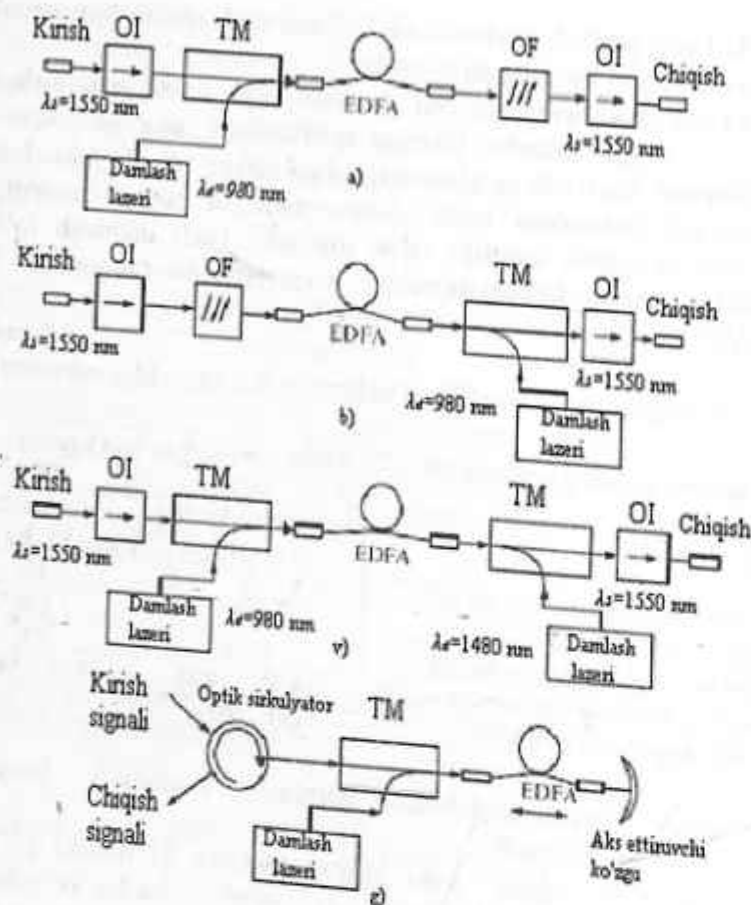
Kuchaytirgichning parametrlari	Optik nurlanish to'lqin uzunligi, nm	
	1480	980
Yorug'lik manbai	Fabri-Pero YAO'L InGaAsP/InP	Super panjarali YAO'L InGaAs
Kuchaytirish samaradorligi, dB/mVt	5	10
Shovqin koeffitsienti, dB	5,5	3...4,5
Chiqish to'yinish quvvati sathi, dB	+20	+5
Damlash to'lqin uzunligi diapazoni, nm	1470... 1490	979... 981
Damlash chiqish quvvati, mVt	50... 200	10... 20

EDFA kuchaytirgichlari damlash sxemalari bo'yicha quyidagicha tasniflanadi:

- *birga yo'nalgan* yoki to'g'ri damlash yo'nalishi (5.19,a-rasm), bunda signal va damlash nurlanishlari o'sha bir yo'nalishda tarqaladi. Damlashning birga yo'nalishi past shovqinlar sathini ta'minlaydi. Bunday damlash sxemasi kichik kirish signallari kuchaytirgichlari va mkasimal kuchaytirish koeffitsientini olish, ya'ni dastlabki kuchaytirgichlar uchun avzalloq;

- *qarama-qarshi yo'nalgan* yoki damlashning teskari yo'nalishi, bunda signal va damlash nurlanishlari qarama-qarshi tarqaladi (5.19,b-rasm). Bunday damlash sxemasi kuchaytirgichning chiish quvvati maksimal bo'ladigan to'yinish rejimiga tezroq erishishni ta'minlaydi. Quvvat kuchaytirgichlari (busterlar) damlashning teskari yo'nalishidan foydalanish bilan ishlatiladi;

- *ikki yo'nalishli* damlash sxemasi (5.19,v- rasm). Bunda ikkita damlash lazerlari ishlatiladi, ulardan birinchisi (980 nm to'lqin uzunligiga) bir yo'nalishda damlash sxemasi bo'yicha ishlatiladi.



5.19- rasm. EDFA kuchaytirgichlarini damlash sxemalari: *a* – to'g'ri damlashli optik kuchaytirgich; *b* – teskari damlashli optik kuchaytirgich; *v* – ikki yo'nalishli damlashli optik kuchaytirgich; *g* – qaytarishli damlash

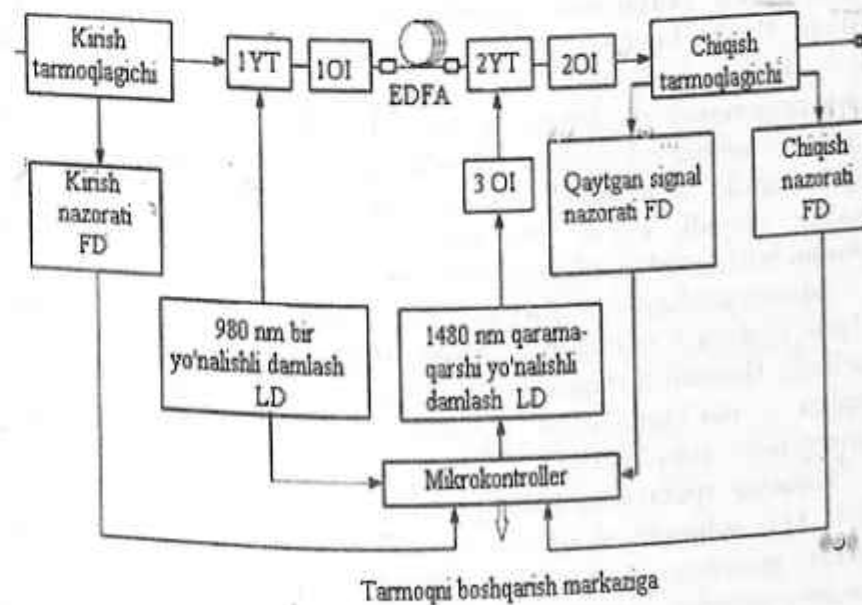
Ikkinchisi esa (1480 nm to'liq uzunligiga) qarama-qarshi yo'nalishda damlash sxemasi bo'yicha ishlatiladi. Bu sxemalardan har birining avzalliklaridan foydalanish imkoniyatini beradi. 1480 nm to'liq uzunligida damlash yuqoriroq kvantli samaradorlikka ega, lekin yuqoriroq shovqin koeffitsientiga ega, shu bilan birga, 980 nm

to'liq uzunligida damlash kvant chegarasiga yaqin shovqin koeffitsientini ta'minlashi mumkin;

- qaytariladigan damlash, u kirish va chiqish optik nurlanishlarini yo'naltiradigan kirish optik sirkulyatori va qaytarish ko'zgusini o'z ichiga oladi (5.19.g- rasm).

5.19-rasmda quyidagi belgilashlar qabul qilingan: OI — kuchaytirish muhitini (legirlangan OTni) kirish va chiqishdan qaytgan optik signallar va damlash nurlanilari ta'siridan saqlaydigan, shuningdek O'O'KNning teskari tarqalishini so'ndiradigan optik izolyatorlar; TM — yig'indi optik signalni EDFA – erbiy bilan legirlangan optik tolaga kiritilishini ta'minlaydigan to'liq multipleksorlari (yo'naltirilgan tarmoqlagichlar); OF — kuchaytirilgan optik signalni ajratish (5.19,a-rasm) yoki kombinatsiyalangan nurlanishni kirish signaliga ta'sirini yo'qotish (5.19,b- rasm) uchun zarur bo'ladigan optik filtr.

Ikkita damlash lazerlarili EDFA sanoat kuchaytirgichning blok sxemasi 5.20-rasmda keltirilgan.



5.20-rasm. EDFA kuchaytirgichning funksional sxemasi

1530 ... 1570 nm diapazondagi to'liq uzunligi kuchaytiriladigan optik signal kirish tarmoqlagichiga beriladi, uning chiqishlaridan optik nurlanishning qismi kuchaytirgichning 1YT yo'naltirilgan tarmoqlagichiga, boshqa kichik qismi kirish optik nurlanishini nazorat qilish FD fotodektoriga beriladi. 1YT yo'naltirilgan tarmoqlagichning boshqa kirishiga lazerli diodan $\lambda_{d1} = 980$ nm to'liq uzunligi (980 nm bir xil nurlanish damlash LD) damlash nurlanish bir xil yo'nalishda beriladi, boshqa chiqishdan damlash signali kuchaytirgichni monitoring qilish sxemasiga kiradigan mikrokontrollerga beriladi. 1YT chiqishidan kirish optik signali va damlash signali 1OI optik izolyator orqali erbiy bilan legirlangan optik tola halqasiga (EDFA) beriladi.

Halqadagi to'liq uzunligi 15 ... 100 metrni tashkil etadi (chunonchi, eng katta kuchaytirishga 100 metr to'liq uzunligiga erishiladi, katta to'liq uzunligida damlash quvvati sathi ta'sir eta boshlaydi). EDFA chiqishidan kuchaytirilgan optik nurlanish 2YT yo'naltirilgan tarmoqlagich kirishiga beriladi, uning ikkinchi kirishiga 3OI orqali $\lambda_{d2} = 1480$ nm to'liq uzunligi damlash nurlanish qarama-qarshi (1480 nm qarama-qarshi nurlanish damlash LD) beriladi. Keyin kuchaytirilgan optik nurlanish 2YT tarmoqlagich, 2OI optik izolyator va chiqish tarmoqlagichi orqali kuchaytirgichning chiqishiga beriladi. Bu tarmoqlagichning boshqa chiqishlaridan har xil qaytgan signallarning turlarini nazorat qilish va chiqish optik signalining parametrlarini baholash uchun optik signallar olinadi, keyin ular mikrokontrollerga va undan keyin tarmoqni boshqarish markaziga beriladi.

Sanoat kuchaytirgichlari o'ralgan legirlangan OT buxtaga ega bo'lgan, plataga o'rnatilgan o'ta katta integral sxemalar ko'rinishida bajariladi. Bundan tashqari, kuchaytirgich tarkibiga kontrollerlar va signallar ma'lumotlariga ishlov berish qurilmalarining mikroprotessorlari kiradi.

Kanallar spektral ajratiladigan TOUT dan intensiv foydalanish tufayli OT uchinchi shaffoflik oynasida spektral kanallar sonini oshirish muammosi, demak, optik kuchaytirgichning o'tkazish polosasini oshirish zarurati vujudga keladi. EDFA asosidagi sanoat kuaytirgichlarining o'tkazish polosasi 1530 ... 1560 nm diapazonda 35 nm ni tashkil etadi. Lekin ularning 1550 va 1580 nm sohlarida tekis kuchaytirish spektral xarakteristikasini hisobga olinsa,

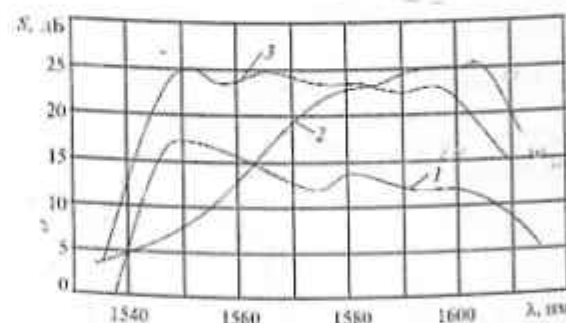
kuchaytirgichlarning o'tkazish plosasi kengligini quyidagilardan foydalanadigan usullar orqali har ikkala polosalarni (1535 ... 1560 va 1560 ... 1580 nm) birlashtirish bilan oshirish mumkin:

- 1535 ... 1580 nm diapazonda kuchaytirishni tekislaydigan optik filtrlarli EDFA kuchaytirgichlar;

- 1535 ... 1560 va 1560 nm o'tkazish polosalarili kuchaytirgichlarning parallel ulanishi;

- qisman tekis kuchaytirishli EDFA kuchaytirgichlarining va raman kuchaytirgichining kaskadli ulanishi yoki raman kuchaytirgichi kuchsiz optik signalni kuchaytirgich sifatida, EDFA kuchaytirgich esa quvvat kuchaytirgichi sifatida ishlatilishi.

5.21-rasmda yuqorida ko'rsatilgan usullar asosida yig'ilgan OTKning spektral xarakteristiklari tasvirlangan: 3-egri chiziq — optik filtrlri va tuzatish qurilmalarili EDFA kuchaytirgichlar; 2-egri chiziq — raman kuchaytirgichi; 1-egri chiziq — raman kuchaytirgichi va optik filtrlri va tuzatish qurilmalarili EDFA kuchaytirgichlari kombinatsiyasi.



5.21- rasm. Har xil OTK turlarining spektral xarakteristiklari

Legirlovchi element sifatia tulyning ishlatilishi (TDFA) 1450 dan 1610 nm gacha diapazonda 200 nm gacha polosa kengligili kuchaytirgichni yig'ishga imkon beradi.

5.4.4. Raman optik kuchaytirgichlari

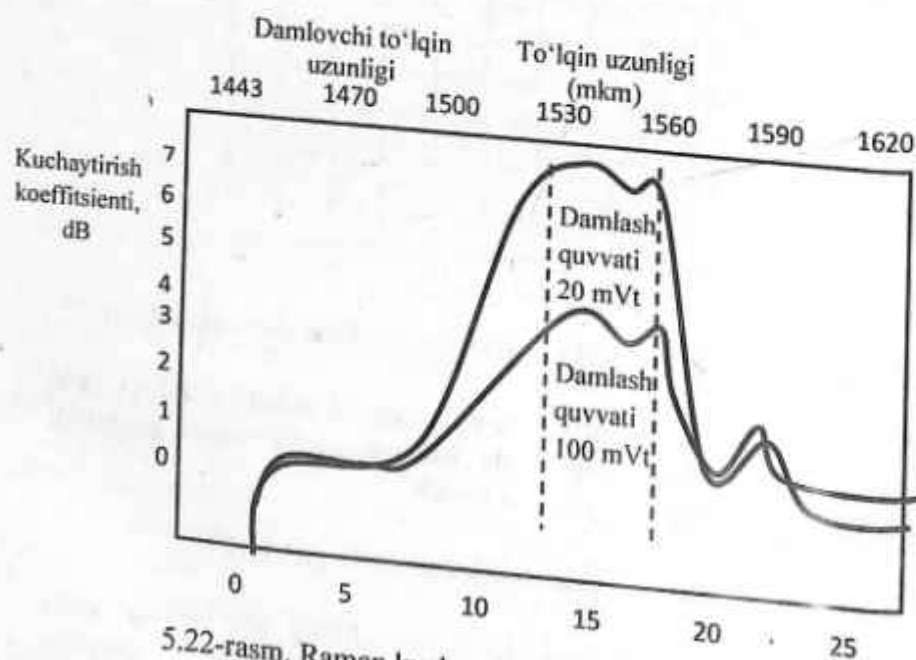
Bu turdagi optik kuchaytirgichning ish prinsipi katta quvvatli damlovchi yorug'lik to'liqining optik tolaning

nobirjinsliklaridagi sochiilish chog'ida u bilan bir xil yoki qarama-qarshi yo'nalishda tarqalayotgan kuchsiz signal bilan o'zaro ta'sirlashuvidan foydalanishga asoslangan. Bunday ta'sirlashuv jarayonida signalning muayyan spektral diapozonning markazi damlovchi to'lqin chastotasi ω_d ga nisbatan signal chastotasi ω_c qadar siljigan bo'ladi:

$$\omega_r = \omega_d - \omega_s. \quad (5.7)$$

Bu chastotaviy siljish Raman siljish deb ataladi.

Yuqoridagi 5.22-rasmda to'lqin uzunligining 1470-1620 nm oralig'i uchun kvars tolali optik kuchaytirgichi kuchaytirish koeffitsienti va kuchsiz signal chastotasi (to'lqin uzunligi) orasidagi bog'lanish ya'ni kuchaytirgichning amplitudaviy chastotaviy xarakteristikasi tasvirlangan, xarakteristika quvvati 100 va 200 mVt ga teng bo'lgan 1440 nm li damlash to'lqin uzunligi uchun keltirilgan.



5.22-rasm. Raman kuchaytirgichning spektri

Rasmdan ko'rinadiki, to'lqin uzunliklarining oralig'i taxminan 30 nm ni tashkil etadi va S diapozonga mos keladi, biroq xarakteristika notekis bo'lgani uchun bunday kuchaytirgichlardan juda zich zichlashtirilgan (DWDM) tizimlarda foydalanish uni tekislash choralari ko'rinishini talab etadi.

Signal intensivligi I_c damlash intensivligi I_d ga qaraganda kichik bo'lgan hol uchun kuchayish koeffitsienti bu turdagi kuchaytirgichlar uchun quyidagi munosabat bilan aniqlanadi:

$$G_0 = \exp(g \cdot P_{daml} \cdot \alpha_{eff} / A_{eff}), \quad (5.8)$$

bu erda $P_{daml} = I_{daml} \cdot A_{eff}$ damlash quvvati, α_{eff} va A_{eff} – damlash quvvati, α_{eff} va A_{eff} mos ravishda optik tolaning effektiv uzunligi va ko'ndalang kesimi, g optik kuchaytirgich amplitudaviy – chastotaviy xarakteristika-sining effektivligi.

Kuchaytirish koeffitsienti damlash quvvatining $P_{daml} = 1$ Vt qiymatigacha quvvatning ortishi bilan chiziqli tarzda ortadi. So'ngra u damlash quvvatining bir necha Vt qiymatlarida to'yinishga chiqadi.

Raman kuchaytirgichlarining odatiy quvvatining 1 Vt ga yaqin qiymatlarida ularning kuchaytirish koeffitsienti 17-30 dB oralig'ida yotadi. Bunda damlash quvvatining ortishi bilan kuchaytirish koeffitsientining kamayishi kuzatiladi. Biroq amaliyotda damlash quvvatining 100-200 mVt li pastroq sathlaridan foydalaniladi va bu holda kuchaytirish koeffitsienti 4-8 dB oraliqda yotadi. Raman kuchaytirgichlarining to'yinish quvvati 1 Vt yarim o'tkazichli optik kuchaytirgichlarniki 1 mVt nisbatan ancha katta. Raman optik kuchaytirgichda 1300 nmli optik signallarini kuchaytirish uchun 1060 nm li to'lqin uzunlikka ega bo'lgan lazerdan, 1320 yoki 1443 nm li signallarni kuchaytirish uchun esa, to'lqin uzunligi 1550 nm ga teng lazerlardan foydalaniladi.

Bu turdagi kuchaytirgichlar etarli darajada keng polosali (5-10 TGs) bo'lsalarda, kuchaytirgich koeffitsientining to'lqin uzunligi bo'yicha notekisligi tufayli, ulardan qisqa davomiylikka ega bo'lgan optik impulslarini kuchaytirish uchungina foydalanish mumkin. WDM tizimlarida kuchaytirish chog'ida amplitudaviy – chastotaviy xarakteristikasini tekislash talab etiladi.

Raman kuchaytirgichlaridan tolali optik uzatish tizimlarida foydalanishga bo'lgan e'tibor ularning quyidagi afzalliklari bilan bog'liq:

- ular istalgan to'lqin uzunligida ishlashi mumkin;
 - bu turdagi kuchaytirgichlarda aktiv muhit sifatida tolali yorug'lik uzatgichining o'zidan foydalaniladi;
 - bu kuchaytirgichlarining kuchaytirish spektri (to'lqin uzunligi) damlash spektri (to'lqin uzunligi) bilan belgilanadi. Shu sababdan tegishli to'lqin uzunlikli damlash manbai-lazer diodining tanlab olish yo'li bilan kuchaytirish jarayonini yuqorida ta'kidlanganidek bir necha o'n nm li oraliqda shakllantirish mumkin.
 - bu turdagi kuchaytirgichlar past sathli shovqinga ega.
- O'zgarishlar samaradorligini yuqori emasligi va optik uzatish tizimlari uchun odatiy bo'lgan 30 dB kattalikdagi kuchaytirish koeffitsientiga erishish uchun ancha katta uzluksiz damlash quvvati (1 mVt) ning zarrurligi kuchaytiriluvchi kattaliklar orasidagi o'tish xalaqitlarining kattaligi Raman kuchaytirgichlarining kamchiligi hisoblanadi.

Biroq keyingi vaqtda tarkibiga germaniy aralashmalari kiritilgan maxsus tolali yorug'lik uzatgichidan foydalanishga asoslangan yuqori samarali Raman kuchaytirgichlari ishlab chiqildi. Shu sababdan bu turdagi kuchaytirgichlar tolali optik uzatish tizimlarida foydalanish nuqtai nazardan borgan sari muhim ahamiyat kasb etib bormoqda. Jumladan erbiyli tolalichaytirgich va Raman kuchaytirgichlarining turli xil kombinatsiyalaridan iborat duragay kuchaytirgichlarni yaratish va ishlab chiqish ustida ishlar olib borilmoqda.

Nazorat savollari

1. Raqamli tolali optik aloqa tizimlarining liniya traktiga ta'rif bering.
2. Optik aloqa liniya traktida regenerator va kuchaytirgichlarni qo'llashda qanday farq bor?
3. Optik liniya traktida regeneratorlardan qanday maqsadda foydalaniladi?
4. Optik regeneratorlar qanday alohida xususiyatlarga ega?
5. Optik signallarni regeneratsiyalash jarayonini tushuntiring.

6. Raqamli optik regeneratorlarning umumlashgan tuzilish sxemasini tushuntiring.

7. Optik regeneratorlarning tuzilishi va ish prinsipini vaqt diagrammalari asosida tushuntiring.

8. Tolali optik liniya traktida signallarni uzatish sifatiga qanday omillar ta'sir qiladi?

9. Raqamli tolali optik aloqa tizimlarining optik liniya kodlariga qanday talablar qo'yiladi?

10. Optik liniya kodlarining elektr kodlardan asosiy farqi nimada?

11. 1B2B sinfiga qaysi kod turlari mansub va ular qanday shakllanadi?

12. 2B4B sinfidagi kodlar qanday shakllanadi va bu kodlar qanday afzalliklarga ega?

13. mBnB kodidagi ortiqlik va liniya signalining taktli chastotasi qaysi miqdoriy munosabat bilan aniqlanadi?

14. 2B3B, 3B4B, 5B6B sinfidagi kodlar qanday shakllanadi va ular qanday afzalliklarga ega?

15. Yuqori tezlikli TOATda qaysi liniya kodlaridan foydalaniladi?

16. Optik kuchaytirgich qanday asbob? Undan qaysi maqsadlarda foydalaniladi?

17. Optik kuchaytirgichlarning ish mexanizmi qanday fundamental fizik jarayonlardan foydalanishga asoslangan?

18. Optik kuchaytirgichlarning qanday turlari mavjud?

19. Aralashmali tolali optik kuchaytirgichning tuzilishi va ish mexanizmini tushuntiring.

20. Aralashmali tolali optik kuchaytirgichning xarakteristika va parametrlarini tavsiflang.

21. Aralashmali tolali optik kuchaytirgichning qanday xillari mavjud? Ularga qiyosiy tavsif bering.

22. Yorug'likning Raman sochilishiga asoslangan optik kuchaytirgichning ish mexanizmini tushuntiring. Bu turdagi optik kuchaytirgichning afzallik va kamchiliklari nimada?

23. Yarim o'tkazgichli optik kuchaytirgichning tuzilishi va ish mexanizmini tushuntiring. Bu turdagi optik kuchaytirgichning afzallik va kamchiliklari nimada?

24. Yarim o'tkazgichli optik kuchaytirgich tolali optik aloqa tizimlarida qanday maqsadlarda qo'llaniladi?
25. Aralashmali tolali, Raman sochilishiga asoslangan va yarim o'tkazgichli kuchaytirgichlarning xarakteristika va parametrlariga qiyosiy tavsif bering.
26. Optik kuchaytirgichning kuchaytirish koeffitsienti, kuchaygan spontan nurlanish quvvati, shovqin omili kabi parametrlari uchun miqdoriy munosabatlar yozing va ularga tavsif bering.
27. Optik kuchaytirgichlarni tolali optik aloqa tizimlarida qo'llash usullarini tavsiflang.

VI-BOB

OPTIK ALOQA TIZIMLARI

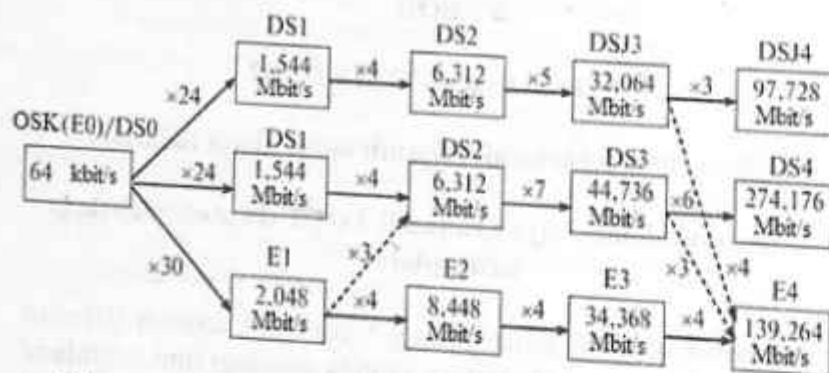
6.1. Plezioxron ierarxiyali raqamli optik aloqa tizimlari

6.1.1. Plezioxron ierarxiyali raqamli TOUT da multiplekslash prinsiplari

Plezioxron raqamli ierarxiyaning tolali optik uzatish tizimlari (PRI -TOUT) deb, oxirgi apparatura sifatida quyidagi tipik oqimlarni shakllantiruvchi qurilmalar qo'llanadigan TOUT ga aytiladi: PRI ning Yevropa standarti E1 (2,048 Mbit/s), E2 (8,448 Mbit/s), E3 (34,368 Mbit/s), E4 (139,264 Mbit/s), yoki PRI ning Amerika standarti DS1 (1,544 Mbit/s), DS2 (6,312 Mbit/s), DS3 (44,736 Mbit/s), DS4 (274,176 Mbit/s), yoki PRI ning Yaponiya standarti DS1, DS2, DSJ3 (32,64 Mbit/s) va DSJ4 (97,728 Mbit/s) (6.1-rasm).

6.1-rasmda ko'rsatilishicha, istalgan standartlarning qurilish asosi bo'lib asosiy raqamli kanal (ARK — Ye0) hisoblanadi. Bu yerda har bir PRI standartlarining doirasida multiplekslash koeffitsienti va ular orasidagi kross-multiplekslash ko'rsatilgan hamda quyidagi belgilashlar qo'llanilgan: DSO — Digital Signal of level 0 — 64 kbit/s uzatish tezligiga ega nolinci sathli raqamli signal; DS1 — birinchi sathli raqamli signal yoki 1,544 Mbit/s uzatish tezligiga ega birlamchi raqamli signal (oqim) va DS2 — ikkinchi sathli raqamli signal yoki Amerika va Yaponiya PRI standartlarining 6,312 Mbit/s uzatish tezligiga ega ikkilamchi raqamli signali (potok); DS3 — uchinchi sathli raqamli signal yoki 44,736 Mbit/s uzatish tezligiga ega uchlamchi raqamli signal (potok) hamda DS4 — to'rtinchi sathli raqamli signal yoki 274,176 Mbit/s uzatish tezligiga ega amerika standartining PRI to'rtlamchi raqamli signal DS1 DS2 DSJ3DSJ4; DSJ3 — uchinchi sathli raqamli signal yoki 32,064 Mbit/s uzatish tezligiga ega uchlamchi raqamli signal (potok) hamda DSJ4 — to'rtinchi sathli raqamli signal yoki Yaponiya

standarti PRI bo'yicha 97,728 Mbit/s uzatish tezligiga ega to'rtlamchi raqamli signal.



6.1-rasm. Multiplekslash va kross-multiplekslash sxemasi

Uzatishning standart tezliklari hamda kross-multiplekslash va multiplekslashning o'rnatilgan koeffitsientlarining ko'pchiligi nafaqat PRI turli standartlarini avtonom qo'llash bo'yicha imkoniyatlarni ochib beradi, balki ularni o'zaro ta'sirlashuvini ta'minlaydi. Keyingi o'rinlarda faqat Evropa standartining (ES) PRI raqamli TOUT ko'rib chiqiladi.

ES PRI birlamchi raqamli oqimlarning shakllanishi ARK soniniga muvofiq baytlarni yoki kanal intervallari oktetlarini ketma-ket sinxron birlashtirish (multiplekslash) orqali amalga oshiriladi (ba'zida bayt-interliving termini qo'llaniladi). Natijada 30 axborot bayti uzunligidagi birlamchi raqamli oqim sikli shakllanadi. Sikli sinxronlash baytlarini, boshqarish va o'zaro ta'sir signallarini (BO'S) qo'shish E1 oqimning axborot intervalini buzmaydi.

Pleziokson raqamli oqimlar E1, E2, E3 va E4 transport TOUT uzatish tizimlari uchun asosiy foydali yuklama hisoblanadi, ular boshqa raqamli oqimlarni uzatish uchun ham moslashgan bo'lishi mumkin (masalan, ATM texnologiyasi, lokal hisoblash va shahar tarmoqlari, FDDI — Fiber Distributed Data Interface texnologiyalari — tolali optik taqsimlangan 100 Mbit/s tezlikka ega ma'lumotlar uzatish interfeysi).

6.2. Sinxron raqamli ierarxiyalik optik aloqa tizimlari

6.2.1. Sinxron raqamli ierarxiyaning yaratilishini texnik iqtisodiy aspektlari

PRI uzatish tizimlari bir qator kamchiliklarga ega, ular uzatishning optik tizimlarining potensial imkoniyatlaridan to'liq foydalanishga imkon bermaydi. PRI ning asosiy kamchiliklari quyidagilardan iborat.

1. PRI oqimlari sikllarining kam ortiqchiligi, bu tarmoq avtomatlashgan nazorati, boshqaruvi, xizmat ko'rsatishi uchun servis kanallarni yaratish imkoniyatini ta'minlamaydi. E1, E2 sathdagi multipleksirlangan oqimlari marshrutizatsiyasi vositalarining umuman yo'qligi, ma'lumotlar uzatish tarmoqlarida PRI tizimini qo'llashda o'ta muhim sanaladi. Busiz, texnik xizmat ko'rsatish, ishonchliligi va yashovchanligi sifati bo'yicha zamonaviy talablarga javob beradigan telekommunikatsiy tarmoqlarni yaratish mumkin emas. Nazorat va boshqaruv signallarini uzatishning maxsus tarmoqlarini yaratish, alohida nazorat va boshqaruv apparaturalari, ularni ishlashini ta'minlaydigan dasturiy hamda operativ o'tkazish apparaturalarini yaratish talab etiladi.

2. Oraliq punktlarda kanallarni kiritish-chiqarish qiyinligi, komponent oqimlarni agregatlarga multiplekslashda (E1 oqim E2 oqimga, E2 oqimidan E3 oqimiga) maxsus tenglashtiruvchi bitlarni qo'yish (staffing) yo'li orqali komponent oqimlar tezligini tenglashtirishga (muvofiqlashtirishga) to'g'ri keladi, ular demultiplekslashda to'liq o'chirilib ketadi. Tenglashtiruvchi bitlarning har bir PRI sathidagi vstavka shunga olib keladiki, to'liq demultiplekslashni amalga oshirmay turib, qandaydir komponent oqimni agregat oqimdan ajratib bo'lmaydi. Masalan, agar E4 oqimidan E1 oqimni ajratish kerak bo'lsa, u holda E4 oqimni barcha bosqichlarni o'tib to'liq demultiplekslash lozim bo'ladi (E4 oqimidan E3 oqimini ajrating, so'ng oxirigidan E2 ni, nihoyat E2 oqimidan E1 oqimini ajrating). Bu muammoning jiddiyligi egiluvchan multipleksorlarni qo'llash bilan kamayadi, ammo ular ancha keyinroq ishlab chiqilgan.

3. Zamonaviy TOUT bir vaqtning o'zida regeneratsion maydonni uzaytirish bilan birga uzatishning yuqori tezligini

ta'minlaydi. Ko'pchilik regeneratlarni tarmoq bog'lama va stansiyalari bilan moslashtirish mumkin. Yuqori tezlikdagi oqimlarni PRI uzatish tizimlari asosida amalga oshirish tezliklarni moslashtirish murakkab jarayoni tufayli ulkan hamda kam ishonchli texnik yechimlarga olib keladi.

4. Sinxronizatsiyaning buzilishida PRI uzatish tizimida komponent oqimlarning sinxronizmini ko'p bosqichli tiklash uchun nisbatan ko'p vaqt talab etiladi.

5. Turli bosqichdagi va standartdagi uzatish tizimi PRI xarakteristikalarini farqlanadi (ular sikl tuzilishi, uzatish tezligi va boshqa parametrlar bo'yicha tor maxsuslashtirilgan), bu global tarmoqlarni hamda yangi uzatish tizimlarini yaratishni qiyinlashtiradi.

6. Bozor iqtisodiyoti sharoitida apparatura ishlab chiqaruvchilari va yetkazib beruvchilari hamda tarmoq operatorlari juda ko'p, ularning tarmoqdagi o'zaro harakati apparaturani standartlashtirish va ekspluatatsiya texnologiyalarining yuqori sathini talab etadi — bir liniya traktida turli ishlab chiqaruvchilarning apparaturalari ishini ta'minlashdan tortib, to turli operatorlarning zonalarini o'zaro ta'sirigacha. PRI da liniya signallarga standartlar yo'q, uzatishning sifat ko'rsatkichlari chuqur normalashtirilmagan. Shuning uchun turli ishlab chiqaruvchilarning uskunalari bir-biriga mos kelmaydi va tarmoqning asosiy konfiguratsiyasi "nuqta-nuqta" bo'lib qolgan.

Zamonaviy RUT egiluvchan, oson boshqariladigan tuzilmaga ega bo'lishi kerak, u ma'lum darajada egiluvchan multipleksorlar tizimida amalga oshirilgan. Ular turli hajmdagi axborot oqimini uzatish va qayta ulanishni ta'minlashi kerak, kommutatsion bog'lamalarda bu oqimlarni kiritish hamda ajratish, uskuna ishlash sifatini chuqur nazorat qilish, kanallar, traktlar va tarifatsiyani elektr aloqa xizmatlaridan foydalanishning xaqiqiy vaqti hamda ularning sifatiga muvofiq nazorat qilish.

Oxirgi paytlarda egiluvchan multipleksorlar PRI texnologiyalariga sikllarning yangi tuzilmasi tatbiq qilindi, ular PRI uzatish tizimlari imkoniyatlarini kengaytiradi: xatolarni nazorat qilish, sinxronizatsiya statusi haqida xabar uzatish, boshqarish va nazorat resurslarini amalga oshirish, ATM yacheykalarini uzatish. Lekin bu umuman olganda PRI kamchiliklarini bartaraf etmaydi.

Uzatish tizimi PRI dagi kamchiliklarni yengib o'tish RUT yangi ierarxiyasini ishlab chiqishga olib keldi, u sinxron raqamli ierarxiya deb nomlandi — SRI yoki Synchronous Digital Hierarchy — SDH, yo'naltiruvchi tizim sifatida tolali optik kabellarni qo'llashga yo'naltirilgan.

SRI texnologiyasi asoschilari sifatida Amerika kompaniyasi Bell Laboratories (Bell Labs) mutaxassislarini hisoblash mumkin, ular 1984 yilda telekommunikatsiya tarmoqlarini qurish texnologiyasi g'oyasini taklif qilgan, bu quyidagi imkoniyatga ega:

- Uzatish tezliklari ierarxiyasini standartlashtirish va PRI da cheklanganlarni davom ettirish;

- Elektr aloqaning yo'naltiruvchi optik tizimlarini qo'llashga ierarxiyani yo'naltirish;

- yagona shakldagi turli xabarlar (trafik) ni uzatish;

- kiritish/chiqarish komponent oqimlari, agregat oqimlarni yig'ish/sochish murakkab jarayonini chetlab o'tib, agregat oqimga kiruvchi har bir komponent oqimni aniqlash imkoniyatiga ega bo'ladi;

- SRI oqimi sikllari tuzilmasini shakllantirish, ular oqimlar signalizatsiyasi va marshrutizatsiyasining turli ko'rinishlarini amalga oshiradi;

- Ierarxiya tasarrufida turli topologiyadagi tarmoqlar konfiguratsiyasini boshqarishni amalga oshirish;

- tarmoqni boshqarish va monitoringning yagona tizimini yaratish;

- turli ishlab chiqaruvchilar uskunalarning mos kelishi uchun standart interfeyslarni ta'minlash;

- zahiralashning turli usullarini qo'llab tarmoqlarning ishonchligi va ishlash qobiliyatini oshirish.

Qo'yilgan vazifalarni yechish uchun Bell Labs ishlab chiqaruvchilari taklif qildilar:

- 1) Baytli birlashishning pleziokron emas, sinxron sxemasini qo'llash — komponent oqimlarni agregat oqimga multiplekslash;

- 2) Inkapsulyatsiya texnologiyasini qo'llash — paketlarga ma'lumotlarni joylash, kiritilgan virtual konteynerlar texnologiyasini taklif qilib, yagona modul ko'rinishida ularga ma'lumotlarni joylash va transportirovka qilish, ularga yuklash va

Amerika standarti PRI oqimini ko'chirish imkonini beradi: DS1 (1,544 Mbit/s, yoki 1,5M), DS2 (6,312 Mbit/s, yoki 6M) va DS3 (44,736 Mbit/s, yoki 45M);

3) Ierarxiya asosiga birlamchi uzatish tezligini $OS1 = 50,688$ Mbit/s qo'yish, bu optik tashuvchining birinchi sathiga mos keladi (Optical Carrier — OC1);

4) Ierarxiyaga yetarli sondagi sathlarni kiritish $OS1... OSM$ (jami 768 sath) va sath raqamiga mos karrali keyingi sathlarni qabul qilish, masalan $OS3 = 3 \times 50,688 = 152,064$ Mbit/s.

Shunday qilib, Sinxron optik tarmoq SONET (Synchronous Optical Network) texnologiyasiga asos solingan. Biroq, turli standartdagi PRI oqimi kross-multiplekslashning o'ziga xosligini hisobga olib (5.1-rasmga qarang), uzatishning birlamchi tezligi sifatida sinxron transport signal STS-1 (Synchronous Transport Signal) 51,84 Mbit/s ga teng qabul qilingan.

SONET texnologiyasining rivojlanishi Evropa standarti PRI ni hisobga olganda sinxron raqamli ierarxiya (SSI, Synchronous Digital Hierarchy — SDH) yaratilishiga olib keldi, u virtual konteynerlar universal to'plamini o'z ichiga oladi, ular Amerika va Yevropa PRI standart sathlarining barcha oqimini joylashtirish imkonini beradi (inkapsulyasiyalash), shuningdek SONET axborot tuzilmasi ham. SRI da birlamchi tezlik sifatida sinxron transport modul STM-1 (Synchronous Transport Module of level 1) 155,52 Mbit/s tezlikda qabul qilingan. Sinxron transport modul STM-1 yangi standart SONET OS3 ($51,84 \times 3 = 155,52$ Mbit/s) bilan mos keladi hamda multiplekslash sxemasiga yevropa standarti PRI — 140 Mbit/s maksimal tezligini kiritish imkonini beradi (5.1-rasmga qarang).

6.1-jadvalda SONET va SRI standartlari tezligining qiyosiy ifodasi keltirilgan.

Quyida SRI asosiy axborot tuzilmasini shakllantirish jarayoni ko'rib chiqilgan, ular STM-N komponentli raqamli oqimlar yuklanish prosedurasini tashkil qiladi.

6.1-jadval

SONET va SRI standartlarining tezliklari

OS-N sathining SONET optik tashuvchisi	STS-N sathining elektrli SONET	SRI STM-N ekvivalent moduli	Liniyadagi tezlik, Mbit/s
OS-1	STS-1	-	51,84
OS-3	STS-3	STM-1	155,52
OS-12	STS-12	STM-4	622,08
OS-24	STS-24	-	1244,16
OS-48	STS-48	STM-16	2488,32
OS-192	STS-192	STM-64	9953,28
OS-768	STS-768	STM-256	39813,120

6.2.2. Sinxron raqamli ierarxiya tuzilishining asosiy prinsiplari

SRI texnologiyasi asosida transport tarmog'ining asosiy farqlari quyidagilar:

- liniya optik interfeyslarni standartlashtirish;
- nazorat va boshqarishning standartlashgan vositalarining mavjudligi;
- avtomatik zahiralashning standartlashgan mexanizmlari;
- funksional ierarxik arxitektura, unda bir necha qatlamlar ajratiladi.

Transport tarmoqlari (TT) arxitekturasi ITU-T G.805 tavsiysi bilan aniqlanadi. TT ichida topologik bo'g'liq bo'lmagan funksional qatlamlar ajratiladi, ular mijoz/foydalanuvchi munosabati bilan bog'langan. SRI tarmog'ining yuqori qatlami uchun foydalanuvchi mijoz bo'lib hisoblanadi. Har bir qatlam nimqatlamlarga bo'linadi (6.2-rasm). Barcha qatlamlar ma'lum funksiyani bajaradi, standartlashgan ulanish nuqtasiga ega; har bir pastki qatlam yuqoridagi qatlamga xizmat qiladi.

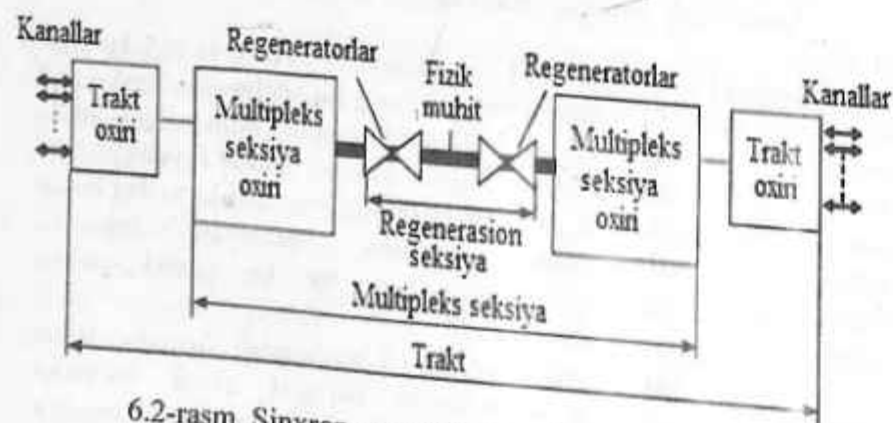
Har bir qatlam shaxsiy nazorat va boshqarish vositalari bilan jihozlangan, bu avariya oqibatlarini bartaraf qilish bo'yicha operatsiyani osonlashtiradi hamda qolgan qatlamlarga avariya ta'sirini pasaytiradi. Har bir qatlam funksiyasi quyi xizmat qilish qatlamini fizik amalga oshirish usullariga bog'liq emas. Har bir qatlam bo'g'liq bo'lmagan holda yaratilishi va rivojlanishi mumkin.

Qatlam bo'yicha qurilishi tarmoqni qurilishi va undan foydalanilishini osonlashtiradi, yuqori texnik-iqtisodiy ko'rsatkichlarga erishish imkonini beradi.

Eng yuqori qatlam kanallar tarmog'ini tashkil qiladi, ular SRI oxirgi apparaturaning turli to'plamlarini va iste'molchilar terminalini birlashtiradi. Kanallar qatlami tarmog'i SRI oxirgi apparaturasining turli komplektlarini va iste'molchilar terminallarini bog'laydi hamda kanallar ijarasi xizmati, paket kommutatsiyasi xizmati, kanallar kommutatsiyasi kabi xizmatlarni qo'llab-quvvatlaydi.

SRI tarmog'ini qatlamlarga bo'lish 6.2-jadval

SRI qatlami	SRI kichik qatlamlari	
Kanallar		
Traktlar	quyi tartibda	
	yuqori tartibda	
Uzatish muhiti	Seksiyalar	Multiplekli Regenerasion Fizik muhit



6.2-rasm. Sinxron raqamli ierarxiya qatlamlari

Kanallar guruhlarini turli tartibdagi guruhli traktlarga birlashtiradi (o'rta qatlam). Traktlar tarmog'i fizik muhitdan o'tiq

mustaqil bo'lib, shaxsiy topologiyaga ega bo'lishi mumkin. Traktlar qatlamida dasturiy va distansion nazorat hamda bog'lanishlarni boshqarish amalga oshiriladi. Guruhli traktlar liniya traktlarga birlashtiradi, ular quyi qatlam-uzatish muhitiga tegishli. Uzatish muhiti seksiyalar qatlami (multipleks va regenerasion) va fizik muhit qatlamiga bo'linadi. Regenerasion seksiya liniya signalini uzatilishini regeneratorlar orasida yoki regenerator va oxirgi punkti yoki traktlar kommutatsiyasi orasida ta'minlaydi. Regenerasion seksiyalar muhitga to'liq bog'liq. Multipleks seksiya punktlar orasida axborot uzatishni ta'minlaydi, bu yerda traktlar yo tugaydi, yo qayta ulanadi. Multipleks seksiyalar uzatish muhitiga bog'liq bo'lishi va topologiyada cheklanishlarga ega bo'lishi mumkin.

SRI transport tarmog'i o'zining har bir qatlamida nimtarmoqlarga bo'linishi mumkin: magistral, regional (zona ichi), mahalliy va b. Nimtarmoqlarga bo'lish tarmoqdan foydalanish jarayonini soddalashtiradi, ish sifatining normalashtirilgan mos keluvchi parametrlarini kiritadi.

SRI da axborotlar oqimining shakllanishi

SRI tarmoqlarining axborot yuklamasi bo'lib PRI standartlarining raqamli oqimlari, ATM yacheykalar oqimlari (Asynchronous Transfer Mode — asinxron uzatish rejimi), lokal (LAN, Local Area Network) va mahalliy yoki shahar tarmoqlari (MAN, Metropolitan Area Network) ning raqamli oqimlari, FDDI texnologiyalari asosida (Fiber Distributed Data Interface — 100 Mbit/s tezlik bilan ma'lumotlarni uzatuvchi tolali optik taqsimlangan interfeys) hamda boshqa raqamli signallar bo'lishi mumkin. Analog signallar (yuqori sifatli televidenie, videokonferensiya va b.q.) dastlab muvofiq standartning raqamli shakliga o'zgartirilgan bo'lishi kerak. Bu raqamli oqimlarni komponent oqimlar deb ataymiz.

Fizik muhit orqali axborot signallarni tarqatishning fizik jarayoni uzatish deyiladi, turli joylarda joylashgan punktlar orasidagi axborotni — axborot tuzilmalarini ko'chirishning funksional jarayoni esa transportirovka yoki olib o'tish deyiladi. SRI ning bazaviy axborot tuzilmasi bo'lib, yuqorida aytib

o'tilganidek, birinchi sathning sinxron transport moduli — STM-1 hisoblanadi, u 155,52 Mbit/s tezlikka ega. Yanada yuqoriroq tezlikli modullar 155,52xN Mbit/s tezlikda STM-1 N oqimlarini sinxron multiplekslash yo'li orqali shakllantiriladi, bu yerda N = 4, 16, 64, 256. STM-1 shakllantirishda turli axborot tuzilmalarining o'zaro ta'sirini ko'rib chiqamiz.

STM-1 ni E1 oqimi asosida shakllantirish. STM-1 modullarni yig'ish SDH guruh tashkil qilish tuzilmasida STM-1 asosiy pog'onalaridan biri hisoblanadi va multipleksor deb ataluvchi qurilma orqali amalga oshiriladi. Yevropa va Amerika standartlarining PRI komponent oqimlarini qo'llab STM-1 ning shakllanish sxemasini ko'rib chiqamiz, ammo boshqa komponent oqimlarni ham qo'llash mumkin (ATM, FDDI va b.).

Sinxron raqamli oqimlarni shakllantirish ikki o'lchamli matrisa ko'rinishidagi komponent oqimlar siklini taqdim etishga asoslangan, u m qator va n ustunlardan iborat, bu yerda matrisaning har bir yacheykasi bir baytni o'z ichiga oladi. Bunday matrisaning yuqori chap burchagi sikl boshlanishini belgilab beruvchi identifikatsiyalangan markerni o'z ichiga oladi. E1 oqim uchun bunday matrisaga misol 6.3-rasmda ko'rsatilgan. Uzunligi 125 mks dan iborat E1 oqim sikli 32 baytni tashkil qiladi. Yuqori chap bayt-yacheykaga sikl boshlanishini belgilab beruvchi sikl sinxronizatsiyasi o'z ichiga olgan nolli kanal intervali (KI 0) mos keladi. Keltirilgan 2 dan 9 gacha numeratsiya quyida aniqroq yoritilgan.

SRI texnologiyasida konteynerlarni tashish — transportirovka qo'llaniladi. Transportirovka — ko'chirishga moyil komponent oqimlar keyingi ketma-ket uzatish uchun standart konteynerlarda joylashtiriladi (Container) — S-n.

«Konteyner» termini ma'lum hajmdagi axborot tuzilmani ta'riflaydi, u boshlang'ich raqamli oqimni uzatish uchun talab etiladi. Barcha konteyner baytlari 125 mks da uzatiladi, konteyner n ning sathi amerika va yevropa standartlari PRI oqimiga mos keladi (6.4-rasm).

	1	2	3	4
2	KI0	KI1	KI2	KI3
3	KI4	KI5	KI6	KI7
4	KI8	KI9	KI10	KI11
5	KI12	KI13	KI14	KI15
6	KI16	KI17	KI18	KI19
7	KI20	KI21	KI22	KI23
8	KI24	KI25	KI26	KI27
9	KI28	KI29	KI30	KI31

6.3-rasm. E1 oqim matrisasi

6.3-jadval

Konteynerlar sathi	
Konteyner	Oqim PRI, Mbit/s
S-11	1,5 (DS1)
S-12	2 (E1)
S-2	6 (DS2)
S-3	34 (E3)
S-4	140 (E4)

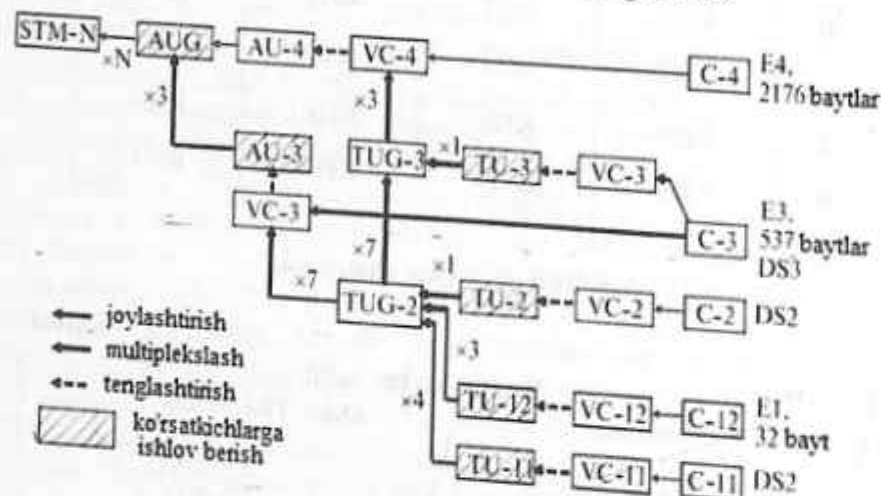
Izoh: S-11 konteyneri uchun birinchi 1 raqami konteyner sathini, ikkinchi 1 raqami PRI Amerika standartini bildiradi; S-11 konteyneri uchun birinchi 1 raqami konteyner sathini, ikkinchi 2 raqami PRI Yevropa standartini bildiradi.

C-11, C-12 va C-2 konteynerlar quyi sath konteynerlari (Lower Order — LO), C-3, C-4 konteynerlar — yuqori sath konteynerlari (Higher Order — HO) deyiladi.

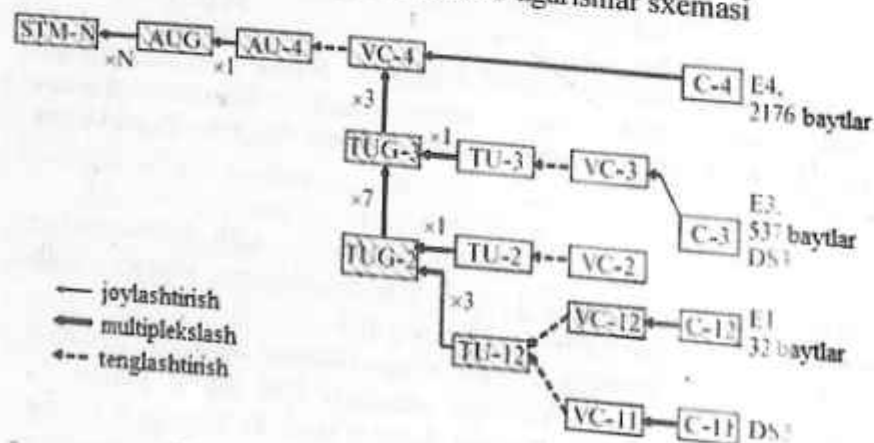
ITU-T standartining SRI da o'zgarishining umumiy sxemasi 6.4-rasmda ko'rsatilgan. Yevropa standarti PRI oqimi uchun Ts = 125 mks davomiylikdagi siklda baytlar soni ko'rsatilgan. Uning murakkabligi shundan iboratki, u Yevropa va Amerika standartlari (SONET) sinxron transport modullari shakllanishini

integrasiyalaydi, u SDH/SONET deb nom olagan. Yevropa elektraloqa standartlashtirish institutining (Europe Telecommunication standard institute — ETSI) SRI da o'zgartirishlari sxemasi 6.5-rasmda keltirilgan.

E1 oqimlaridan STM-1 ko'p qo'llanadigan shakllanishlarini ko'rib chiqamiz (5.5-rasm, shtrixlangan blokklar). Shakllantirish bir necha bosqichlardan iborat, ular turli axborot tuzilmalarini shakllantirish proseduralarini o'z ichiga oladi.



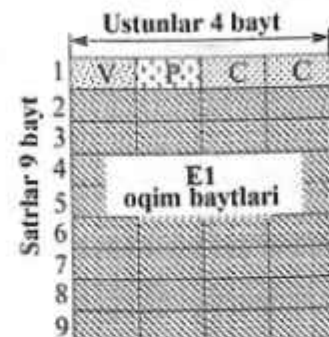
6.4-rasm. ITU-T SRIda o'zgarishlar sxemasi



6.5-rasm. SRI da o'zgarishlar Yevropa sxemasi

Birinchi bosqich. E1 oqimini C-12 konteyneriga E1 oqimi sikliga ikki bayt C ni qo'shish yo'li orqali yuklashdan boshlanadi (6.3-rasmga qarang). Bu operatsiyani shartli ravishda ifoda bilan aks ettirish mumkin

$$C-12 = E1 + 2 \text{ bayt } (C) = 32 + 2 = 34 \text{ bayt.}$$



6.6-rasm. C-12, VC-12 va TU-12 tuzilmasi

C-12 konteyner tuzilmasi 6.6-rasmda aks ettirilgan. Har bir kadr 34 baytli matrisadan iborat (E1 oqimida 1x32 bayt), $m=9$ qator va $n=4$ ustunlarni o'z ichiga oladi. Qaydlangan baytlarga tenglashtirish C — baytlar qachon yuklanishni ko'tara olmaydi va faqat uzatish tezligini mos keluvchi konteyner uzatish tezligigacha yaqinlashgan kattalashtirish uchun qo'llaniladi. Bu baytlarda aniq tenglashtirish bitlari (tezliklarning moslashuvi), tenglashtirishni boshqarish bitlari joylashishi mumkin, ular qabul qilgichga ayni damda aniq tenglashtirish bitlarida nima joylashganini ko'rsatadi: yuklanish bitlari yoki vstavka bitlari (staffing).

Ikkinchi bosqich. Traktlar qatlamida ulanishlarni tashkil qilish uchun qo'llanadigan axborot tuzilmasi virtual konteyner deyiladi VC-12 (Virtual Container-12, 6.5-rasm). U C-12 konteyneriga bir bayt P qo'shish orqali hosil bo'ladi (6.6-rasm) va trakt sarlavhasi — POH deyiladi (Path Over Head). Bu operatsiya shartli ravishda ifoda bilan beriladi

$$VC-12 = C-12 + 1 \text{ bayt } (POH) = 34 + 1 = 35 \text{ bayt.}$$

Traktli sarlavha — virtual konteyner siklining qismi, bir oxirdan boshqa oxirigacha VC uzatishning yaxlitligini ta'minlaydi hamda trakt sifatini nazorat qilish va avariya, ekspluatasiya axborotlarini uzatish imkonini beradigan xizmat baytlari to'plamidan iborat.

SRI apparaturasi VC traktlarining tugallanish qurilmasida POH ajralib chiqadi.

Virtual konteynerlar VC traktning tugallanish nuqtalarida VC shakllanadi va tugallanadi (VC Path, yoki VC Path Trail) — normalashgan virtual konteynerlarni (VC) ushbu VC ga mos keluvchi uzatish tezligi bilan uzatish uchun mo'ljallangan texnik vositalar kompleksi. VC trakti VC sarlavhasi shakllangan (tugallangan) joyida boshlanadi (tugaydi). SRI texnologiyasida bu kompleks multipleks seksiya deb ataladi. Virtual konteynerlar ikki turga bo'linadi: a) quyi sathdagi virtual konteynerlar $\wedge$ O) VC-11, VC-12 va VC-2, E1, DS1 va DS2 oqimlari asosida shakllangan; b) yuqori sathdagi virtual konteynerlar (NO), E3, DS3 va E3 oqimlari yoki yuklama bloklar guruhlar asosida shakllangan, bular haqida keyinroq aytib o'tamiz.

Uchinchi bosqich. VC-12 ga bir bayt V PTR (PoinTeR) ko'rsatkichli ni qo'shish yo'li orqali quyi sath axborot tuzilmasi shakllanadi, SRI terminlarida TU-12 (Tributary Unit — TU-12) tributar blok deb nomlanadi. Bu operatsiya shartli ravishda ifoda bilan beriladi

$$TU-12 = VC-12 + 1 \text{ bayt (PTR)} = 35 + 1 = 36 \text{ bayt.}$$

Ushbu blok, quyi sathdagi axborot tuzilmalarga taalluqli bo'lib, adabiyotlarda turg'un bo'lmagan nomga ega: yordamchi yoki yuklama blok, yuklama modul yoki yuklanish bloki, subblok, birlamchi blok, tributar blok, kirish kanallari bloki, transport bloki va h.k. bu yerda keyinalik ham bu tuzilmaning nomi yuklama bloki yoki TU blokni qo'llaymiz.

Yuklama blok, STM-1 sikli bilan moslashgan va PTR ko'rsatkichidan iborat, o'z sathdagi VC yuklanish belgilab qo'yilgan. Ko'rsatkich VC holati haqidagi axborotni keyingi yanada yuqoriroq darajadagi VC boshlanishiga nisbatan olingan axborotni o'z ichiga oladi, unda TU joylashgan. Bundan

tashqari, ko'rsatkich tranzit VC tezligini yuklanayotgan TU tezligiga qarab tenglashtirishni amalga oshiradi. Yuklanish bloki TU-12 9 qator va 4 ustunlardan iborat. Keyingi o'zgarishlarda qatorlar soni o'zgarishsiz qoladi, faqat ustunlar soni o'zgaradi.

125 mks davomiylikka ega to'rtta konteyner C-12, VC-12 va TU-12 bloklari (5.6-rasmga qarang), har biri C-12 (5.7-rasm,a) yuqori siklni (multikadr), VC-12 (6.7-rasm,b) yuqori siklni va TU-12 (6.7-rasm,v) yuqori siklni tashkil qiladi, ularning har biri 500 mks davomiylikka ega.



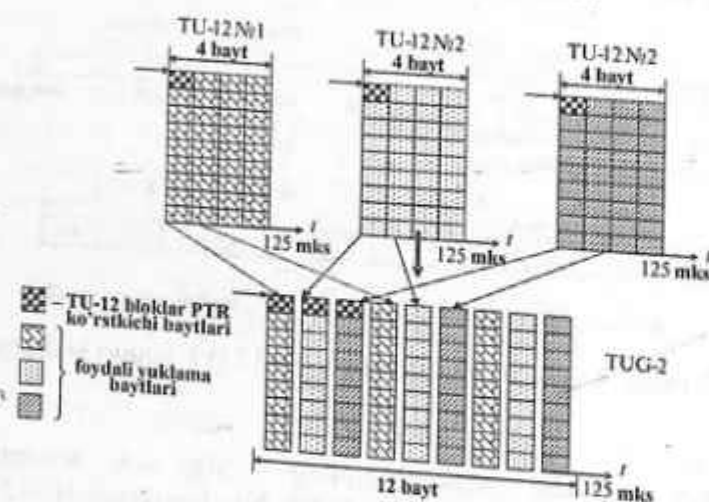
6.7-rasm. C-12 (a), VC-12(6) va TU-12 (v) yuqori sikllarga birlashish

Yuqori sikllarni shakllanishining o'ziga xos tomonlari shundan iboratki, trakt sarlavhasi POH bir konteyner C-12 ga emas, to'rtta konteynerdan iborat tuzilmaga ulanadi, ular yuqori sikl 500 mks davomiylikni tashkil qiladi.

To'rtta C-12 ning har biriga, 34 baytdan iborat, POH sarlavha baytdan bittasi ulanadi, u to'rtta baytlardan iborat: V5, J2, N2 va K4. Natijada virtual konteynerlar VC-12 ning yuqori sikli hosil bo'ladi (6.7-rasm,b). Bu yuqori sikl axborot maydoniga o'tkaziladi, u to'rtta yuklangan bloklar TU-12 yuqori sikllardan tashkil topgan. PTR TU-12 ko'rsatkichi ham sarlavha VC-12 kabi to'rtta baytdan tashkil topgan (V1, V2, V3 va V4), to'rtta yuklama blokka ega yuqori sikl davomida uzatiladi (6.7-rasm,v). Shu

yerning o'zida axborot maydonining baytlar numerasiyasi (raqamlash) keltirilgan. Foydali yuklama 0 va 139 orasida joylashadi hamda bir yuqori siklda (multikadr) T^{12} joylashgan baytlar soniga mos keladi, V1, V2, V3 va V4 baytlardan tashqari. Bundan kelib chiqadiki, yuqori siklda baytlarning umumiy soni 144 ga teng. Foydali yuklama V2 baytdan keyin keladi.

Yuqori sikl VC-12 supersikl TU-12 ichida "suzib" yurishi mumkin; V5 sarlavha baytining yuklanishi boshlanadigan baytning raqami V1 va V2 ko'rsatkich baytlarida yozilgan. VC uzatish tezligini yuklama bloklar TU-12 ga nisbatan tenglashtirish zarur bo'lganda, ko'rsatkichning V3 bayti va undan keyin keluvchi bayt qo'llanadi, unga ijobiy moslashganda vstavka kiritiladi. Ortiqcha axborot salbiy moslashganda V3 baytiga uzatiladi.



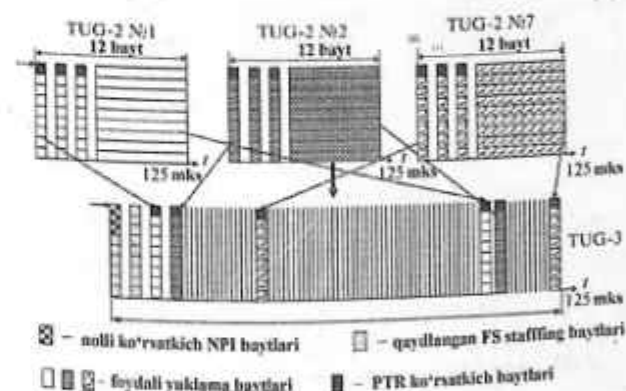
6.8-rasm. Yuklama bloklar TU-12 dan TUG-2 bloklar guruhini shakllantirish prosedurasi

To'rtinchi bosqich. Uchta yuklama bloklar TU-12 ni multiplekslash (6.5-rasm), TUG-2 turidagi yuklama bloklar guruhini shakllantirish bilan yakunlanadi (Tributary Unit Group — 2), axborot hajmi $3 \times 36 = 108$ bayt. Multiplekslash prosedurasi 6.8-rasmda keltirilgan.

Yuklama bloklar guruhi — bu uchta turli yuklama baytlar TU-12 ni sikl davomiyligi 125 mks baytli birlashishidan

shakllanuvchi tuzilma. TUG-2 tuzilmasi uchta $3 \times 36 = 108$ baytdan iborat va matrisadan ta'riflanadi, $m = 9$ qator va $n = 12$ ustunni o'z ichiga oladi. TU-12 komponent oqimlarning baytlarini agregat oqim TUG-2 tuzilmasiga joylashtirish quyidagicha amalga oshiriladi: avval birinchi ustun TU-12 № 1 baytlari joylashadi, so'ng birinchi ustun TU-12 № 2 baytlari, keyinroq birinchi ustun TU-12 № 3 baytlari joylashadi. Ikkinchi, uchinchi, to'rtinchi ustunlar uchun joylashtirish prosedurasi takrorlanadi (6.8-rasmga qarang). Bunday joylashtirish texnologiyasi boshqa tuzilmalar uchun ham o'rinli.

Beshinchi bosqich. Avvalombor yettita yuklama bloklar TUG-2 ni multiplekslash orqali (6.5-rasm) $7 \times 108 = 756$ baytli sikl shakllanadi, u matrisani $m = 9$ qator va $n = 84$ ustun. So'ng ularga 3 baytni qo'shamiz, indikasiya nol ko'rsatkichli maydon indikasiyasi — NPI (Null Pointer Indicator) va 15 bayt, qaydlangan staffing mos keladi (vstavka) — FS (Fixed Stuff) — bo'sh maydon qaydlashish sikl (kadr) ichidagi holatida, 774 baytga teng 756 bayt foydali yuklama TUG-3 tipda yuklamali bloklar shakllanadi.



6.9-rasm. TUG-3 ni TUG-2 dan shakllantirish prosedurasi

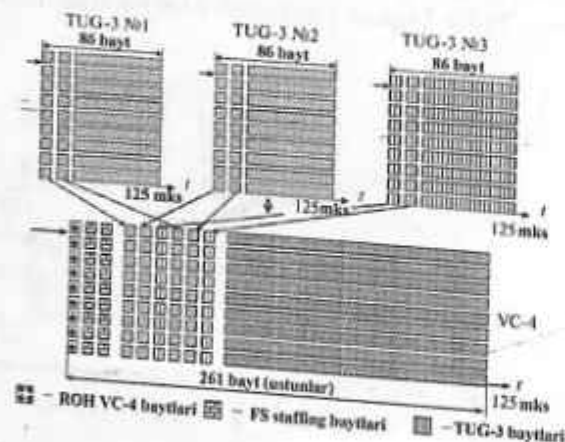
TUG-3 yuklamali blokning shakllanish prosedurasi 6.16-rasmda keltirilgan, bundan shuni ko'rish mumkinki, TUG-3 sikl (kadr) $m = 9$ satrli va $n = 86$ ustundan, ya'ni TUG-3 shartli formulaning shakllanishi $TUG-3 = 7 \times TUG-2 + NPI + FS_{TUG-3} = 7 \times 108 + 3 + 15 = 774$ bayt ko'rinishiga ega

Oltinchi bosqich. POH va 18 bayt FS 9 bayt fraktli sarlavhani keyinchalik qo'shish bilan $774 \times 3 = 2322$ baytli sig'im tuzilmasiga TUG-3 uchta blokni multiplekslash boshlanadi.

Natijada $2322 + 9 + 18 = 2349$ bayt axborot sig'imli (NO) VC-4 yuqori darajadagi virtual konteyner olamiz. Umumiy shakllanish formulasi VC-4 ko'rinishiga ega $VC-4 = 3 \times TUG-3 + POH_{VC-4} + FS_{VC-4} = 3 \times 774 + 9 + 2 \times 9 = 2349$ baytga ega, va bu $m = 9$ satr va $n = 261$ ustunini o'z ichiga olgan kadrda mos keladi (6.10-rasm).

Yettinchi bosqich. PTR tuzilmasida VC-4 9 baytli ko'rsatkichni qo'shish bilan AU-4 (Administrative Unit) sig'imli $2349 + 9 = 2358$ bayt tipli administrativ blok shakllanadi. AU-4 bloki — bu (rasmga muvofiq 6.4) avval shakllangan VC-4 (6.11-rasm) virtual konteynerga joylashadigan axborot tuzilma. Shuningdek, (PAYLOAD) blok AU-4 hamma foydali yuklama 2349 baytni tashkil qiladi, matrisadan tashkil topgan hamma ko'rsatkich.

Shuning uchun hamma matrisani PAYLOAD



6.10-rasm TUG-3 TUG-3 bloklardan shakllanishi

(9×261 bayt) $2349/3 = 783$ soniga teng uchta baytli guruhlar bo'linadi. Bundan, har qanday tribda raqami ehtimol osongina ko'rsatkich orqali aks etishi mumkin. Bundan tashqari, guruhlar uch baytdan foydali yuklamani bo'lish (SONET) amerika va (SDH)

yevropa SRI orasida mos kelish standartlari bilan erishishga mumkinlik beradi.



6.11-rasm. AU-4 administrativ blokni virtual VC-4 konteyner bilan yuklash

Sakkizinchi bosqich. STM-N tuzilmasida aniq yo'naltirilgan pozitsiyalarni egallagan bir yoki bir nechta AU-4 bloklar AUG (Administrative Unit Group) administrativ blokli guruhlar deb ataladi. U AU-4, STM-1 uchun bloklarini multiplekslash bilan shakllanadi. STM-1 uchun koeffitsient multiplekslash 1 ga teng.

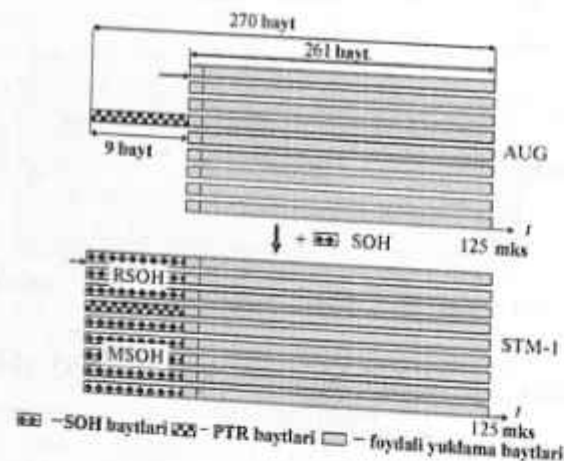
To'qqizinchi bosqich. SOH (Section Over Head) seksiyali sarlavha baytni qo'shish bilan STM-1 (Synchronous Transport Module — level one), ya'ni STM-N bo'limlari, siklli sinxronizatsiya axborotini tashuvchi, xizmat aloqasini, xizmat ko'rsatish tizimi va boshqarish kanallari, seksiyalar sifati va boshqalar. SOH RSOH (Regeneration Section Over Head) bo'linadi — $3 \times 9 = 27$ baytli va MSOH (Multiplexer Section Over Head) sig'imli regeneratsion seksiya sahifasi — $5 \times 9 = 45$ bayt (6.12-rasm) sig'imli multipleksli seksiya sahifasi. RSOH regeneratsionlarda belgilanadi, MSOH esa — multipleksorlarda.

STM-1 tuzilishi $= 9$ satr $n = 270 = 9$ satr va $n = 270$ ustunida matrisani namoyon etadi. Bundan kelib chiqadiki, STM-1 axborot sig'imi $2358 + 27 + 45 = 2430$ bayt siklida (kadrda) davomiyligi 125 mks ga teng.

STM-N uzatuvchanlik tezligi

$$S_{STM-N} = m \times n \times 8 / T_s \quad (6.1)$$

unda $m = 9$ — sikldagi sahifalar raqami; n — sikldagi ustunlar raqami; 8 — baytdagi bitlar raqami; $T_s = 125 \cdot 10^{-6}$ s — sikl davomiyligi.



6.12-rasm. AUG guruh blokidan STM-1 moduli shakllanish jarayoni

STM-1 $n = 270$ uchun. Unga (6.1) kiradigan kattaliklar qiymatini yozishda $C_{STM-1} = 2430 \times 8 \times 10^6 / 125 = 155,52 \text{ M bit/s}$ ni olamiz

Shakllanishning umumiy formulasi STM-1 E1 oqim asosida quyidagi ko'rinishga ega

$$\begin{aligned} \text{STM-1} = & \{ \{ [(32 \text{ bayt E1} + 2 \text{ bayt S-12} + 1 \text{ bayt VC-12 (POH)} + 1 \text{ bayt} \\ & \text{TU-12 (PTR)}) \times 3 \text{ TUG-2}] \times 7 \text{ TUG-3} + 3 \text{ bayt NPI} + 15 \text{ bayt FS T} \\ & \text{va O-e} \} \times \\ & \times 3 \text{ VC-4} + 9 \text{ baytlar VC-4 (POH)} + 18 \text{ baytlar FS VC-4} + 9 \text{ baytlar} \\ & \text{AU-4 (PTR)} \} \times 1_{\text{AUG}} + 3 \times 9 \text{ baytlar RSOH} + 5 \times 9 \text{ baytlar MSOH} \end{aligned} \quad (6.2)$$

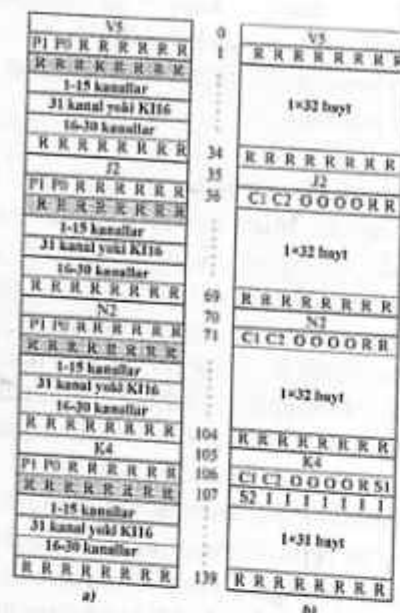
(6.1) formulasi aniqroq hisoblanadi, vaholangki ko'rinishi sustroq (6.5-6.12-rasm bilan taqqoslaganda), shakllanish jarayoni STM-1 algoritmi bilan tasavvur qilish mumkin.

Sinxron modul E1 oqimiga kiritish tartibi. E1 (yoki 2M) tarmog'ida yanada keng tarqalgan oqimlar har xil usullar yordamida STM ga kiritiladi:

- bit- va bayt- qaydlangan faza bilan sinxronli («qattiq») yoki qaydlangan (locked) tartibda kiritish;
- bit- va bayt-suzuvchi faza bilan sinxron («Yengil») yoki suzib kiruvchi rejimda;
- asinxron.

Qaydlangan (locked) kiritish rejim E1 kirish oqimi SRI tarmog'i taktli mexanizm bilan sinxron va tarmoqqa kirish o'zaro sinxronlashni hamda transport tarmog'ini talab qilibgina qolmay, balki kirib kelayotgan oqimlar «buferizasiya» qiladi, demak 125 mks gacha kattaligida ularning ushlanib qolinish vaqtini yuqoriligidadir. Shu sababli axborot oqimi har doim xuddi shu pozitsiyada VC-12 konteyner ichida joylashadi. Bu VC-12 konteynerga komponentli oqimlarni kiritish rejimida bayt bo'yicha sinxron qayta o'zgartirish qo'llaniladi. Bunda TU-12 yuklamali VC-12 blokda konteynerining joylashishi qaydlangan bo'ladi. Suzuvchi faza bilan bayt-sinxron rejimida taxmin qilinishicha, kirib kelayotgan oqim sikllar bo'yicha tuzilgan, yana shuni aytish joyizki sikllarning birinchi baytlari vaqt bo'yicha S-12 konteynerlari birinchi baytlar bilan mos keladi. «Yengil» rejim misoli yoki suzuvchi VC-12 ga E1 oqim baytlarini kiritish sikl usti VC-12 uchun to'rtadan 6.12-rasmida ko'rsatilgan, 0 dan 139 gacha raqamlash esa baytlarni raqamlashda ko'rsatilgan. Bu holatda konteyner avvalida bayt P1P0RRRRRR (6.13-rasmida, shtrixlangan) tuzilishi bilan, keyin bayt RRRRRRRR qaydlangan vstavkaga olib boradi, so'ng baytlar 1 dan 15 gacha 16 kanalli interval (KI16) signalli kanallar bo'yicha yoki 31 axborot kanalini uzatish uchun qo'llanilishi mumkin. KI 16 keyin bayt kanallari 16 dan 30 gacha joylashishi mumkin. Konteynerning ohirgi bayti qaydlangan RRRRRRRR vstavka bilan band.

V5, J2, N2 bitlari va K4 VC-12 shakllanishida (POH) traktli sahifa sifatida qo'llaniladi. Shu yerda oqim o'tish mumkinligi «buferizasiyasi» talab qilinadi, natijada bu oqimning kanallar intervali bayti rasmida VC-12 ko'rsatilgan supersikl pozitsiyasini egallaydi; P1P0 = 11 bitlar supersikl (multikadri) va 00 — oxirida, boshqa holatlarda supersikl sinxronizasiya uchun; R — ballastli bitlar qo'llaniladi. Berilgan rejim KI 16 kanalli intervalni kiritish bilan yoki E1 signalli kanallar oqimi yo, kiritilgan signalli kanalda, 31-m axborot kanali band.



6.13-rasm. E1bVC-12 oqimini joylashtirish: a — bayt sinxronli; b — asin-sinxronli; I — axborotli bit; O — sahifaning zahiradagi bit; S — bit tekislashni boshqarish; S — tekislash biti; R — qaydlangan bitni qo'yish

Uchinchi VC-12 bayt E1 oqimni sinxronizasiya signallarni o'tkazish uchun qo'llaniladi, voholangki kiritish rejimda buni kiritish shart emas. Berilgan E1 VC-12 da oqim baytlarini kiritish rejimi mumkinlik beradi. Ko'rsatkichlarni qayta ishlash orqali STM-1 da bevosita oqimni kiritish kanallariga kirish yo'li ochiladi. Boshqalarda ko'pincha kiritishning asinxron usuli qo'llaniladi, masalan 6.20.b-rasmda ko'rsatilgan. Har bir VC-12 yuqori sikli 256 tarkibli axborot baytiga ega (32 bayt, umumiy holatda boshlang'ich oqim baytlari va qaydlangan vstavka bayt bilan mos kelmaydi (oxirgi)). Bayt, bayt ortidagi keyingi sarlavha, shuningdek birinchi konteynerda qaydlangan vstavka bilan band keyingi ikkitasi esa (S1 va S2) kelishilgan tezlikni boshqarish bitlardan tashkil topgan, (R) qaydlangan vstavka bitlar va sahifalar bitlari (O), funksiyalari shu paytgacha aniqlanmagan. Oxirgi konteynerning ikkinchi bit sikli S1

va S2 bitni o'z ichiga oladi, qaydlangan bit vstavkalari va birikmada salbiy tekisligi S1 bit — S1S1S1 = 111.

Neytral kelishuvda S1 bitga vstavka kiritiladi. Ijobiy kelishtirish vstavka birinchi bitga ham keyingi (axborot) baytga kiritiladi 6.12-rasmda shu bit S2 bit bo'lib belgilangan — S2S2S2 = mosligida ijobiy tekisligi 111bit. Buyruqlar quyidagicha: agar C1C1C1 = 111, shunda S1 = R, agar S1S1S1 = 000, to S1 = I; S2 va S2 uchun ham. Ko'rinib turibdiki, kelishish buyruqlari uch simvolli, demak, birlamchi xatolardan muhofaza qilingan, va bu to'liq ishonchligini ta'minlaydi.

E3 oqim asosida STM-1 shakllantirish. Birlamchi bo'lib o'tkazish tezligi 34,368 Mbit/s yoki 537 baytga teng bo'lib, ketma-ketlikning uzunligi 125 mks raqamli oqim E3 hisoblanadi, nisbatidan $34368 \times 1000 \times 125 / 1000000 = 537$ bayt qabul qilinadi.

Birinchi bosqichda 219 bayt qo'shatirib konteynerni tekislash va axborot sig'imi $537 + 219 = 756$ (sig'imi TUG-3 shakllanishida STM-1 oqim asosida E1) baytga ega bo'lgan S-3 shakllantirishga erishiladi.

Birinchi bosqichda sig'imi 9 baytli POH traktli sahifa qo'shiladi, ya'ni VC-3: VC-3 = C-3 + POH = $756 + 9 = 765$ bayt virtual tipli konteyner shakllanadi.

Uchinchi bosqichda. TU-3 sig'imli TU-3 = VC-3 + PTR = $765 + 3 = 768$ bayt yuklamali blok ning shakllanishi bilan tugallanadi.

To'rtinchi bosqichda. FS (Fixed Stuff) baytlar qo'shilishi va mos keladigan multiplekslash bilan yuklama TUG-3: TUG-3 = TU-3 + FS = $768 + 6 = 774$ (E1 oqimi uchun uning shakllanishi) va blok shakllanadi.

Beshinchi bosqichda. Ko'paytirish koeffitsienti, 3 teng guruhli blokni multiplekslash bilan, S-4 sig'imli S-4 = $TUG^3 = 774 \times 3 = 2322$ bayt konteyner olamiz.

Oltinchi bosqich. Olingan konteynerga sig'imi 9 bayt traktli POH sahifa qo'shib, V⁴ sig'imli VC-4 = S-4 + POH = $2322 + 9 = 2331$ bayt virtual konteyner olamiz.

Yettinchi bosqich. 18 baytli FS simvollar qo'shish yordamida tekislaymiz va PTR sig'imli 9 baytli AU-4 administrativ blok shakllanadi: AU-4 = VC-4 + FS + PTR = $2331 + 18 + 9 = 2358$ bayt.

Sakkizinchi bosqich. 27 bayt sig'imli RSOH registasion seksiyasiga sahifani qo'shish bilan va MSOH multipleksli sahifa 45 baytli seksiyasini qo'shish bilan STM-1: $STM-1 = AU-4 + RSOH + MSOH = 2358 + 27 + 45 = 2430$ bayt shakllanadi. Avvalgidek, $2430 \times 8 \times 1000000 / 125 = 155,52$ Mbit/s axborot tezligini olamiz.

Shakllanishning umumiy formulasi E3 asosida STM-1 quyidagi ko'rinishga ega.

$$STM-1 = \{[537 \text{ bayt } YeZ + 219 \text{ bayt } S-3 + 9 \text{ bayt } VC-Z (POH) + 3 \text{ bayt } TU-3(PTR) + 6 \text{ bayt } FS \text{ } TU-3 \times 1TUG-3] \times 3C-4 + 9 \text{ bayt } VC-4 (POHI) + 18 \text{ bayt } FS + 9 \text{ bayt } AU-4(PTR)\} \times 1AUG + 3 \times 9 \text{ bayt } RSOH + 5 \times 9 \text{ bayt } MSOH. \quad (6.3)$$

S-3 konteyneriga Ye 3 oqimini kiritish uchun Ye 1 oqimi kiritilganidek ijobiy qo'pol va aniq nol, ijobiy va salbiy tenglashish usuli qo'llanadi. Buning uchun konteynerning har bir uchta satriga aniq tenglashtirish maqsadida ikkita bit ko'zda tutilgan. Shuni aytish joizki, E3 oqimidan juda kam foydalaniladi, negaki STM-1 transport modulini to'ldirish juda sust. Haqiqatdan, (2 Mbit/s) yoki 3 oqimini E3 (34 Mbit/s), ya'ni 48 oqimi E1 STM-1 olib o'tish 63 oqimini E1.

E4 oqimi asosida STM-1 shakllantirish. Demak, STM-1 modulini nisbatan to'ldirish $48/63 = 0,762$ ni tashkil etadi. Komponentli E4 (140M) turdagi oqim 125 mks sikli uzunligi 2176 bayli ketma-ketlik ko'rinishida rasman namoyish etilgan.

Birinchi bosqich. 164 baytni qo'shish bilan S-4tipli konteyner shakllanadi, ya'ni $S-4 = E4 + 164 = 2340$ bayt, va $m = 9$ strok va $n = 260$ ustundan iborat matrisa bo'lib keladi.

Ikkinchi boqich. Sig'imi 9 bayt POH traktli sahifani qo'shish bilan VC-4: $VC-4 = C-4 + POH = 2340 + 9 = 2349$ bayt.

Uchinchi bosqich. Ko'rsatgichni qo'shish bilan AU-4: $AU-4 = VC-4 + PTR = 2349 + 9 = 2358$ baytli adminstrativ blok shakllanadi.

Bu ma'lumot tuzulmasini 1 teng koeffisientli ko'paytirish bilan multiplekslashda, AUG-4 tip guruhli adminstrativ blokni olamiz.

To'rtinchi bosqich. AUG-4 bayt tuzilmasiga qo'shamiz RSOH (27 bayt) – ro'yxatga olish sahifasiga va multipleksli seksiyasi

sahifasiga — MSOH (45 bayt) STM-1: $STM-1 = AUG-4 + RSOH + MSOH = 2358 + 27 + 45 = 2430$ bayt shakllanadi.

E3 oqim asosida STM-1 shakllanishining umumiy formulasi:

$$STM-1 = 2176 \text{ bayt } E4 + 164 \text{ bayt } S-4 + 9 \text{ bayt } VC-4 \text{ POH} + 9 \text{ bayt } Ai-4 \text{ PTR} \times 1AUG + 3 \times 9 \text{ bayt } RSOH + 5 \times 9 \text{ bayt } MSOH, \quad (6.4)$$

ko'rinishiga ega.

6.4-jadvalda STM-1 darajali yevropa standartiga mos sinxron modulli axborot elementlar asosiy xarakteristikasi keltirilgan.

STM-1 shakllanishi N tartibli asosiy transport modullarini yig'ishning asosi hisoblanib, bunda N STM-1 sathining multipleksirlanadigan oqimlarning sonini aniqlaydi (6.1-jadval).

6.4-jadval

STM-1 sathi sinxron moduli axborot elementlarining tasnifi

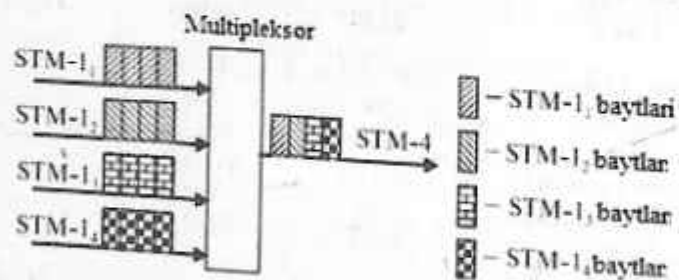
Konteyner o'lchami, bayt tezlik, Kbit/s	S-12	S-3	S-4
	34	756	2340
	2176	48384	149760
Virtual konteyner o'lchami, bayt tezlik, Kbit/s	VC-12	VC-3	VC-4
	35	765	2349
	2240	48960	150336
Yuklama bloki o'lchami, bayt tezlik, Kbit/s	TU-12	TU-3	
	36	768	
	2304	49152	
Yuklama guruhleri bloki o'lchami, bayt tezligi, Kbit/s	TUG-2	TUG-3	
	108	774	
	6912	49536	
Administrativ blok o'lchami, bayt tezligi, Kbit/s		AU-3	AU-4
		786	2358
		50304	150912
Administrativ guruhlar blok o'lchami, bayt tezligi, Kbit/s			AUG
			2358
			150912

Sinxron transportli modul sathini STM-N shakllantirish. STM-1 ni STM-N da multiplekslash bosqichma – bosqich: $4 \times 1 \rightarrow STM-4$,

4x4 → STM-16, 4x16 → STM-64, 4x64 → STM-256, 1 → N, qayerda N = 4, 16, 64, 256 sxema bo'yicha bevosita amalga oshishi mumkin. Bunda sxema uchun bevosita multiplekslash baytlarni almashtirish maqsadida qo'llaniladi. Agar STM-N shakllanishida kaskadli multiplekslash qo'llansa, unda u baytlar guruhini almashtirish sxemasi bo'yicha amalga oshiriladi, guruhda baytlar soni avvalgi kaskadni multiplekslash qisqaligiga teng. Masalan, agar STM-16 shakllanishi 4xSTM-1 → STM-4 i 4xSTM-4 → STM-16 ikki bosqichli sxema asosida bo'lsa, unda birinchi etapda bayt- interliving sxemasi bo'yicha turtta baytdan iborat bo'lgan multiplekslash qo'llaniladi.

Shuni aniqlik, agar STM-64 shakllanishi uchta bosqichli sxema bo'yicha ro'y bersa: 4xSTM-1 → STM-4, 4xSTM-4 → STM-16, 4xSTM-16 → STM-64, bunda birinchi bosqichda sxema bo'yicha bayt- interliving bilan multiplekslash qo'llaniladi, ikkinchi bosqichda — 4 baytdan iborat bo'lgan guruhlar bo'yicha interliving bilan, uchunchida — 16 baytdan tashkil topgan guruh bilan interliving.

STM-4 modulli sinxron transport yuqorida aytib o'tilganidek, STM-1 (6.14-rasm) to'rtta oqimlarning birlashishi bilan shakllanadi.

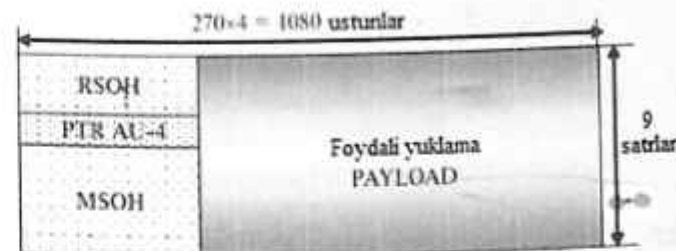


6.14-rasm. STM-4 da to'rtta STM-1 sinxron multiplekslashi

STM-4 agregatli oqimga STM-1 komponentli oqimlarni multiplekslash jarayoniga (RSOH va MSOH) alohida sektsiya sarlavhalarini va tuzilishini shakllantirishni ilgarilaydi, buning nomi administrativ blok guruhi AUG-4, AU-4 (6.11, 6.12-rasm) tuzilishi mos keladigan hamda o'zining ko'rsatgichi bilan — PTR AU-4. Baytli to'rtta AUG-1 multiplekslash 9 satrli va 1044 (261x4) ustun strukturani tashkil etadi, AU-4 multipleksirlangan oqimga tegishli

to'rtinchi satr ketma-ketlikda 36 bayt (9x4) kelib qo'shiladi. AUG-1 to'rtta multiplekslashda yaratilgan foydali yuklamaga STM-4 olish uchun RSOH va MSOH baytli sarlavhalar qo'shiladi.

STM-4 tuzilmasining yakuniy ko'rinishi 6.15-rasmda ko'rsatilgan.



6.15-rasm. STM-4 tuzilmasi

STM-N sarlavhasi va ko'rsatgichi avtonom shakllanish, bayt bo'yicha quyi darajadagi sahifalarni birlashtirish bilan tuziladi. Har bir AUG sikl strukturasi STM-N fiksatsiyalangan holatni egallaydi.

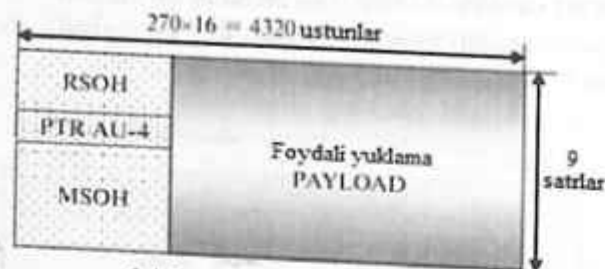
STM-4 raqamli oqim tezligi

$$C_{STM-4} = m \times n \times 8 / T_s = 9 \times 1080 \times 8 \cdot 106 / 125 = 622,08 \text{ Mbit/s.}$$

STM-16 sinxronli transport modulini 16 ta STM-1 oqimlarni birlashtirish bilan baytlari bo'yicha shakllantirish mumkin. Multiplekslash prosedurasini STM-4 shakllanish prosedurasiga analogli hisoblanadi. AUG-4 16 oqimli multiplekslash 9 satrdan va 4176 ta ustundan, 16 ta multipleksirlangan oqimlarga AU-4 qarashli to'rtinchi satr, ya'ni ketma-ketlikda bog'lanadigan 144 bayt (9x16) strukturasi tashkil etadi. Bundan so'ng foydali yuklamaga, multipleksirlangan 16 AUG-4 tashkil topgan, RSOH va MSOH sahifali seksion baytlar qo'shiladi. STM-16 so'nngi struktura 6.16-rasmida keltirilgan.

Boshqa tarafdin qaraganda, STM-16 to'rtta komponentli oqimlar STM-4 birlashtirish bilan qayta tashkil etish mumkin. Bunda to'rtta baytdan iborat bo'lgan alohida STM-4 tegishli bo'lgan multiplekslash amalga oshiriladi, ya'ni multiplekslash (kaskadli)

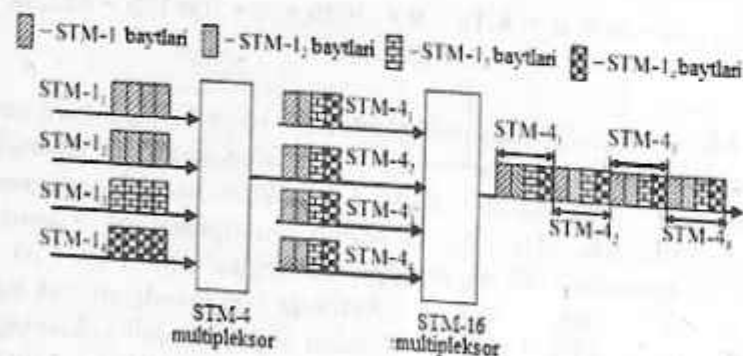
$270 \times 16 = 4320$ ustun boqichma-bosqich amalga oshiriladi (6.17-rasmga qarang).



6.16-rasm. STM-1 tuzilmasi

STM-16 raqamli oqimning tezligi $C_{STM-16} = m \times n \times 8/T_s = 9 \times 4320 \times 8 \cdot 10^6/125 = 2488,32 \text{ Mbit/s}$.

STM-64 sathi transport moduli shakllantirish uchun shunga o'xshash proseduralarni bajarib, biz 6.16-rasmda keltirilgan ustunlar soni 17280 bo'lgan STM-64 tuzilmani hosil qilamiz. STM-64 oqimining uzatish tezligi $9953,28 \text{ Mbit/s} \approx 10 \text{ Gbit/s}$ teng. STM sathi uchun TM-256 tuzimaviy matrisa tarkibida $m = 9$ satr va $n = 69120$ ustunlar mavjud.



6.17-rasm. STM-16 da to'rtta STM-4 sinxron multiplekslash

STM-256 oqimining uzatish tezligi

$$C_{STM-256} = m \times n \times 8/T_s = 9 \times 69120 \times 8 \cdot 10^6/125 \approx 40 \text{ Gbit/s}$$

Sarlavhalar funksiyalari va tuzilmalari

Turli darajadagi STM-N sinxron transport modullarni yuklaganda ikki turdagi sarlavhalar shakllanadi: VC-4/3 (yuqori daraja) va VC-12 (quyi daraja) virtual konteynerlar POH ning trakt sarlavhalari — Path Over Head, seksion sarlavhalar — Section OverHead — SOH (multipleksli seksiya — MSOH va regenerasion seksiya — RSOH).

Sarlavhalar quyidagi funksiyalarni bajarishadi:

- virtual konteyner yoki transport modulining sikli (kadri) shakllantirish;
- trakt yoki seksiya holatini nazorat (monitoring) qilish;
- xatolarni topish va ularning lokalizatsiyasi;
- trakt, seksiyani avariya yoki shikastlanish holatida avtomatik qayta ulash;
- trakt, seksiya ishlash belgilangan sifatini ta'minlash;
- boshqaruv, foydalanuvchi va xizmat kanallarni tashkil qilish.

SOH sarlavhasi bir necha STM-N multiplekslash holatida STM-N siklining (kadri) tuzilmasi va uning supersikllar (multikadrlar) bilan bog'liqligi uchun javob beradi.

Transportli modellarning tuzilmasi quyidagicha, Sarlavha tuzilmasi har doim foydali yuklamadan iborat bo'ladi. Shuning uchun tashxiz qilish mumkin, alohida trakt sarlavha baytlarida xohlagan paytda modulni saralashsiz axborotni o'zgartirish va qo'shish mumkin.

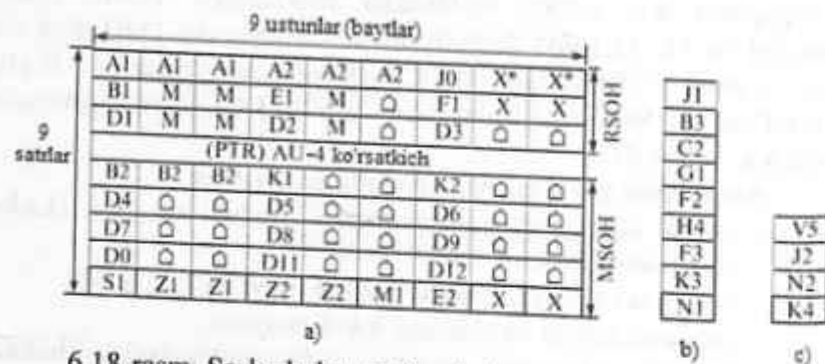
STM-1 seksiya sarlavhasi 6.18-rasmda keltirilgan, bundan kelib chiqqan holda, 8 satrdan iborat bo'lgan o'zida matrisani namoyon etadi (1... 3 va 5... 9 satr) va 9 ustun, 4- satr administrativ blok AU-4 ko'rsatkichi ostida kiritilgan.

Birinci uchta satr yoki 27 bayt regenerasion seksiya — RSOH sarlavhasini tashkil etadi, bu regenerasion seksiyaga xizmat qilish uchun mo'ljallangan. Baytlarni vazifasi quyidagicha:

$A1 = 11110101$, $A2 = 00101000$ — sikli (kadri) sinxronizatsiya baytlari, uch marotaba qaytariladi, SDH standartlarini birlashtirish bilan bog'liqligi va SONET; STM-N da bunday baytlar $3 \times N$ $A1$ va $3 \times N$ $A2$ ga;

$J0$ — struktura identifikatori, uning STM-N sikli pazisiyasini nazorat va aniqlash uchun qo'llaniladi. Sonli qiymat identifikatori har bir STM-1 ga STM-N kirish oldidan beriladi. Bu son uning

demultiplekslash jarayonida alohida STM-1 STM-N da holatni aniqlash uchun qo'llaniladi;



6.18-rasm. Sarlavhalar tuzilmalari: a — SOH STM-1; b — POH VC-3/4; v — POH VC-12

V1 — bayt nazorat prosedurasini qo'llash bilan tipning juftligi BIP-8 (Bit Interleaved Parity) regenerasion seksiyasining ichki nazorat xatoligini aniqlaydi;

M — baytlar, uzatish muhitini ko'rsatish uchun qo'llaniladigan (optik-tola yoki koaksial kabel, radioreleli chiziq) yoki xalqaro miqyosida qo'llash uchun;

O — baytlar, kelajakdagi xalqaro miqyosida qo'llash uchun zahira qilib qoldirilgan, kelajak standartlari;

E1, E2 — xizmatli aloqa baytlar, faqat birinchi STM-N tarkibida STM-1 tashkillashtirilgan. Bayt E1 regeneratordagi telefon xizmat aloqasini tashkillashtirish uchun mo'ljallangan.

E2 — so'ngi multipleksorlar orasidagi;

F1 — bayt qo'llash kanali, vaqtinchalik telefon kanallar yaratish yoki ma'lumotni uzatish kanallari, maxsus ekspluatasion ehtiyojlar maqsadida tarmoq operatori uchun zahira qilib qoldirilgan. STM-N tarkibida faqat tashkillashtiriladi;

D1-D3 — baytlar, regeneratordagi $64 \times 3 = 192$ Kbit/s tezlikda va tarmoqni boshqarish tuzilmasida ma'lumotlarni uzatish kanallarini tashkillashtirish uchun mo'ljallangan. STM-N tarkibida faqat birinchi STM-1 da tashkillashtiriladi;

V2 — baytlar xatolarini nazorat qilish. V2 uchta bayt BIP-24 prosedurasini qo'llash bilan multipleksli seksiyada xatolarni nazorat

qilish uchun xizmat qiladi. STM-N strukturasi V2 baytlar har bir STM-1 da qo'llanilishi mumkin. RSOH satrida V2 ahamiyatining shakllanishida, ya'ni V1 o'zgarishi, regeneratordagi holat, V2 ma'nosiga ta'siri hisobga olinmaydi;

K1, K2 — baytlar APS (Automatic Protection Switching) avtomat himoyali qayta ulanish kanalini va tarmoqni operativ rekonstruksiya qilish tashkillashtirish uchun K1, K2 baytlar quyidagi funksiyalarni bajaradi:

- agar bit 6... 8 bayt K2 «111» holatida o'rnatiladi, multipleks seksiyasida AIS (Alarm Indication Signal) avariya indikatsiyasi signali o'tkaziladi;

- agar bitlar 6... 8 bayt K2 holatida qarama-qarshi punktida qabul qilishning yo'qligini ma'lum qilish uchun, undan signal yoki undan signalni AIS qabul qilish «110» o'rnatiladi, ayrim hollarda FERF (Far End Receive Failure) signali uzatiladi;

- bayt K1 va bitlar 1...5 K2 bayt 1:n ($n = 1, \dots, 14$) sxemasi, ya'ni p trakti uchun bitta balki zahira qilib qo'yilganni ko'zda tutilgan bo'yicha traktlarni zahiralab qo'yishda STM ma'lum qilish uchun qo'llaniladi. Seksiyalarida va traktida zahira qilib qo'yilganiga ikkala tomoning chetida avariya multipleksorlar qayta ulanishi lozim. Bu jarayonni kelishuvda K1bayt bilan amalga oshiriladi K1 va K2 baytlar STM-N tarkibida STM-1 faqat uchun aniqlangan;

D4-D12 — multipleksorlar orasida $9 \times 64 = 576$ Kbit/s tezligida ma'lumotlarni uzatish hamda faqat STM-N tarkibida birinchi STM-1 da tashkil qilinadi;

S1 — bayt (5-8 bitlar), sinxronizatsiya manbasining tipi yoki sinxronizatsiya mavjudligi haqida axborotni o'z ichiga olgan;

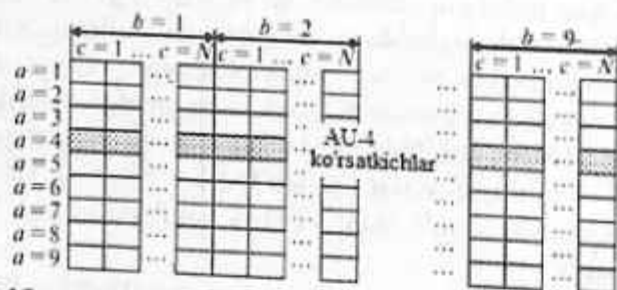
Z — baytlar, kelajakdagi xalqaro miqyosda va milliy aholida qo'llash kanallari uchun zahira qilib olingan;

M1 — bayt indikatsiyada seksiyaning oxiridagi xatolar FEBC (Far End Block Error). Bu bayt xatolar bilan, BIP-24 (V2) kod orqali ma'lum bo'lgan sonlar blokini o'z ichiga olgan. Hozirgi paytda M1 bayt faqat STM-1 va STM-4 ular uchun. Bu bayt har doim birinchi ikkita baytlar Z2 ortidan boradi.

SOH sikli STM-1V sarlavhasi tafovutida, ikkita kordinatalar bilan aniqlanishi mumkin (sitr va ustun b), baytlar SOH siklida STM-N, multiplekslashning hususiyatlari hisobga uchta kordinatalar yordamida aniqlanadi: a = 1, ..., 9 — satr raqami, b = 1, ..., 9 — bir

nehta ustunlarni birlashtiruvchi multiustun raqami, $c = 1, \dots, N$ bilan — multiplekslashda komponentli oqimning ustun raqami. STM-N (5.19-rasmda keltirilgan) sikli uchun umumiy sxemasini joylashtirish SOH bayt. STM-4 seksiyali sarlavha tuzilmasi, qo'yilgan (6.20-rasmda ko'rsatilgan) 9×36 bayt formatiga ega algoritim qabul qilingan. STM-16 sarlavha tuzilmasini, algoritimli ko'rinishi qabul qilingan, 9×144 baytni o'z ichiga olgan, STM-64 9×576 baytli formatga ega. Baytlarni joylashtirish o'xshash 6.20-rasmda ko'rsatilgan, kuchaytirilganda ularning orasidagi tafovut M 1 bayt sonini tashkil etadi.

VC-3/4 va VC-12 sarlavhalar tuzilmasi. Virtual konteynerlarning traktli sarlavhalari konteynerning o'tkazish sifatini nazorat funksiyasini bajaradi. Ular konteynerni shakllanish nuqtasidan qayta shakllanish nuqtasigacha borish marshruti yo'lini kuzatib boradi. POH o'lchami va strukturasi mos keladigan konteyner tipi bilan aniqlanadi. POH ikkita asosiy turini ajratish mumkin:



6.19-rasm. STM-N sikli uchun SOH baytlarni joylashtirish umumiy sxemasi



6.20-rasm SOH strukturasi STM-4 sikli uchun

Yuqori darajadagi marshrut sarlavhasi (High-order POH yoki NO- POH), daraja konteynerlari uchun qo'llaniladigan VC-4/VC-3 (6.18,b rasmga qarang);

Quyidagi darajadagi marshrut sarlavhasi (Low-order POH yoki O- POH), daraja konteynerlari uchun qo'llaniladigan VC-12 (6.18-rasmga qarang).

6.5-jadvalida berilgan POH VC-4/VC-3 baytlar ahamiyatga ega. Identifikator trakti J1 16 baytli ustsiklini siklli uzatish uchun qo'llaniladi, undan birinchisi CRC-7 nazorat kodiga ega, qolgan 15 esa trakt identifikator traktini kodlash uchun ishlatiladi.

6.5-jadval

POH VC-4/VC-3 baytning ahamiyati

J1 B3 C2 G1	Trakt identifikatori (marshrut trassirovkasi). BIP-8 kodini qo'llash bilan xatolarni topish. Signalli belgi: faydali yuklama turi ko'rsakichi: Signalli belgi: uzatishda xatolarning tasdiqlashi.	Takrorlanuvchi aloqa uchun yuklamaga qaram emas baytlar va ularning funksiyalari.
F2 H4 F3	Traktni foydalanuvchi kanali: xizmat signallari. Supersikl indikatori Foydalanuvchi trakt kanali: xizmat signallari.	Baytlar, yuklamalar turi uchun o'ziga xos
K3	xatolarni tasdiqlashda zahiraga qayta ulash	
N1	Tranzitli ulash nazorati	

Bu axborot o'tish trassasini kuzatib borishga imkon beradi, muhimligi shundaki qayta ulashning sonidadir. V3 baytning vazifasida boshqacha izohni talab qilmaydi. Bu haqida yana ham to'laroq aytib o'tiladi.

S2 bayt, signalli belgi deb nomlangan (Signal Label), konteyner uzatiladigan har hil tiplarni va foydali yuklama 11 formatini aniqlaydi. S2 baytning ahamiyati o'n olti qirrali tizimida hisoblash (NEX) 6.6-jadvalida keltirilgan.

Bayt G1 — (Path Status) holati va trakt monitoringi natijalarining uzoq chekkasi va axborotni o'rnatilishi haqida yuboradi.

POH da, bunda teskari yo'nalishga qarab uzatiladi. Bu baytda 1... 4 bitlar FEBE uzatish uchun mo'ljallangan — BIP-8 yordamida

ko'rilgan blokli xatolarning soni. Bunda 0 dan 8 gacha ahamiyati qo'llaniladi, qolgani esa 9 dan 15 gacha qo'llanilmaydi, beshinchi bit FERF signalini aniqlaydi, 6... 8 zahiradagi bitlar.

6.6-jadval
S2 baytning ahamiyati

Bayt tuzilmasi	NEX	Qiymati
00000000	00	Konteyner yuklanmagan
00000001	01	Konteyner yuklanmagan, yuklama tasniflanmagan
00000010	02	TUG tuzilmasi
00000011	03	Sinxron TU-n
00000100	04	Asinxronli yuklama oqimi E3 yoki DS3
00010010	12	Asinxron yuklama oqimi E4
00010011	13	ATM yuklama
00010100	14	MAN yuklama (Mahalliy tarmoq raqamli oqimi)
00010101	15	FDDI yuklama
11111110	FE	Maxsus testli signal
11111111	FF	AIS, VC-AIS: avariya holatidagi indikatsiyalar signallari

F2 va F3 baytlar ichki vazifalarni hal qilish uchun operator yordamidan foydalaniladi uzatish tizimlariga xizmat qiladi va ajratilgan xizmat kanalini yaratadi. N4 bayt ustkisikl indikator hisoblanadi (multikadri). U bir nechta sikllar (kadrlar) orasida ko'rsatadi yuklamani taqsimlash paytida qo'llaniladi va ustki sikldan qaysi sikl (kadr) berilgan virtual konteynerda ishtirok etadi, masalan TU-12 ko'rsatkichi ustki sikldan tashkil topgan (VC-12 TU-12 da kirishini ko'ring) to'rtta sikllar orasida TU-12 taqsimlanadi. Bu bayt yana ATM konteyner yacheykalarini yuklashda qo'llaniladi. Oxirga ikkita bit N4 bayt ustki siklning soni haqida ma'lumotni olib boradi va to'rtta alohida subsikllar identifikatsiya uchun qo'llaniladi. K3 bayt zahirada (APS) himoyalangan qayta ulanishning avtomat APS signalizatsiyasini ta'minlaydi. Bunda 1... 4 bitlar signallarni uzatishni ta'minlaydi, konteynerlar sathida himoya qilish uchun VC-4/VC-3 qo'llaniladi. N1 bayt tranzitli nazorat va tandemli (Tandem Connection Monitoring — TCM) ikki operatorlarning ulanishi (1 ... 4 bitlar) hamda ma'lumotlarni uzatish kanallarini tashkillashtirish (5 ... 8 bitlar) uchun qo'llaniladi. Tandemli N1 bayt ulanishni

tashkillashtirishda tandemli ulanish sarlavha sifatida aniqlangan TCOH (Tandem Connection Over Head).

Traktli sarlavha VC-12 to'rtta baytdan iborat V5, J2, N2 va K4 (6.17- rasmga qarang).

V5 bayt quyidagi funksiyalarni bajaradi: xatolarni nazorat qilish, signalli belgi, trakt indikatsiyasining holati 1 va 2 bitlar BIP-usuli trakt xatolarini nazorat qilishda ishlatiladi.

Kodli so'zning ma'nosi supersiklda POH baytlarini qo'shgan holda, mos bo'lgan virtual konteynerlarda hamma bitlar bo'yicha, hamda ko'rsatkich bitlarini qo'shmagan holda PTR TU-12 aniqlanadi. Istisno bo'ladigan holat V3 bayt hisoblanadi. Ohirgi qismidagi xatolar signali 3 bit axborotni uzatish uchun qo'llaniladi, qarama-qarshi tomonda signal xatosi oxirgi qisimga jo'natiladi FEBE (Far End Block Error), shu baytda o'rnatilishi «1». Olib tashlangan REI (Remote Failure Indication) nosozliklar 4 bit oxirgi qismini habardor qilish uchun ishlatiladi. Nosozliklar yo'qligi bu bit «0» da o'rnatiladi. VC-12 tuzilmani identifikatsiya qilish uchun 5... bitlar 7 — bitlar, yoki signalli belgi, buning ahamiyati 6.7-jadvalda keltirilgan. 8 bit signalning identifikatsiyasi FERF (Far End Receive Failure) yoki oxirgi qismida avariya holatlarida ishlatiladi. Traktning normal holatida bu bit «0» o'rnatiladi.

6.7-jadval
V5 baytning 5... 7 bitlar ahamiyati

Signalli belgi	Bit 5	Bit 6	Bit 7
Trakt o'rnatilmagan (jihozlanmagan)	0	0	0
Trakt o'rnatilgan, lekin aniqlanmagan	0	0	1
Asinxron «yengil» rejim: VC-12 oqim bilan to'ldirilgan	0	1	0
E1, sinxronsiz tarmoqda sinxrosignal bilan SDH	1	0	1
Bayt-sinxronli «yengil» rejim: VC-12 oqim bilan yuklangan E1, sinxrosignal tarmog'i silan sinxron	1	0	1
SDH	1	1	0
Kelajak uchun zahira	1	1	1
Maxsus testli signal (0181)			
Signal AIS (VC-AIS)			

Sarlavhaning boqa bitlari yuqori darajadagi sarlavhalar traktlariga mos keladi:

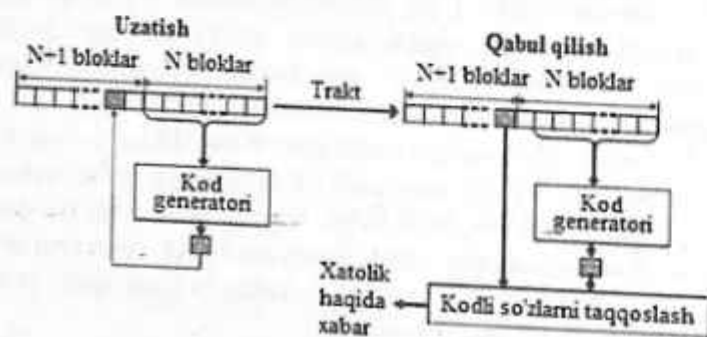
J2 — bayt identifikator trakti, takrorlanuvchi traktga mos keladigan nazorat qilishga imkon beradi;

N2 — nazorat bayti operator tarmog'i (tranzitli ulanishni nazorat qilish);

K4 — bayt APS zahiraga avtomat qayta ulanish (bunda 1...4 bitlari qo'llaniladi).

SSI transport tarmoqlari traktida xatolarni nazorat qilish.

Xatolarni aniqlash prinsipi shundan iboratki, uzatuvchi tomonida aniq bo'lgan algoritm bo'yicha analiz o'tkaziladi.

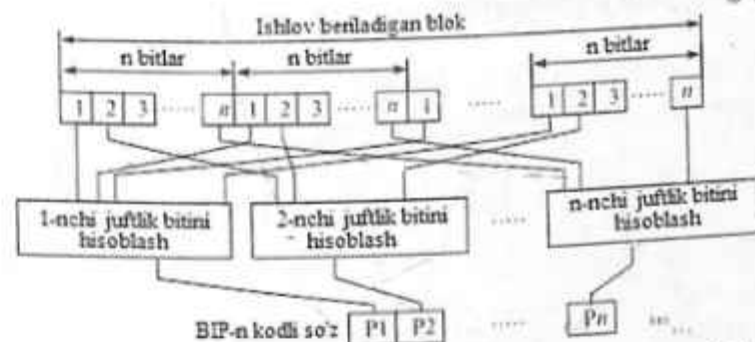


6.21-rasm. Xatolarni topish prinsipi

Xatolarni aniqlash prinsipiga ayrim axborot bloki parametrlari (odatda uzatish sikli). Analiz natijalari bo'yicha har bir so'z n simvollaridan (bit) shakllanadi, shu bilan birga virtual konteyner sarlavhasiga yoki seksiyalariga (6.21-rasm) olib o'tiladi.

Qabul qilish tomonida xuddi shu blok, xuddi shu algoritm bo'yicha yana analiz qiladi va bu qabul qilingan bilan taqqoslanadi. Har qaysi kodli so'zlarning farqi qabul qilingan blokdan xatolar sonini ko'rsatadi. Uzatilgan va yuborilgan kodli so'zlarning paydo bo'lish farqi statistikasi berilgan trakt bo'yicha uzatishning sifati haqida muhokama qilishga mumkinlik beradi. Agar kodli so'zning nisbiy kattaligi katta bo'lsa (kodli so'zni analiz qilingan blok hajmi bilan taqqoslaymiz), maxsus kodlarni qo'llash yordamida faqat xatolarni aniqlabgina qolmay, ularni bartarf qilish mumkin. Endilikda, bunday usul kanallarni to'lqin uzunligi bo'yicha ajratish

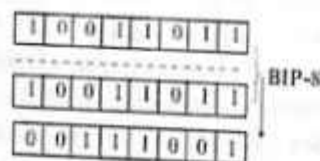
bilan tizimlarda bu usul qo'llaniladi. Xatolarni SSI uzatish tizimi aloqa traktida to'xtovsiz nazorat qilishi har bir tarmoq qatlamida amalga oshiriladi. (virtual konteynerlar traktida, multipleksli va regenerasion seksiyalarda) Ortiqcha kodni qo'llashda maishiy almashinadigan paritet BIP-n (Bit Interleaved Parity-n), ko'p hollarda juftlikni nazorat qilish usuli deb atasa ham bo'ladi. Bu baholash usuli deb hisoblanadi, lekin u raqamli signallarni uzatish sifatini analiz qilishda yaxshi natijalar beradi. Nazorat algoritmi yetarli darajada oddiy va quyidagicha xulosalanadi. Juftlikni nazorat qilish aniq bo'lgan sikl ma'lumotlari bloki kodli so'zlar chegarasida $n = 2, 8$ va 24 bit (BIP-2, BIP-8 va BIP-24 muvofiq) uchun bajariladi. Navbatdagi uzatiladigan blok kichik bloklarga bo'linadi, har biri n simvolini o'z ichiga olgan (6.22-rasm).



6.22-rasm. BIP-da kodli so'zning shakllanishi, ustundagi birliklarning soni

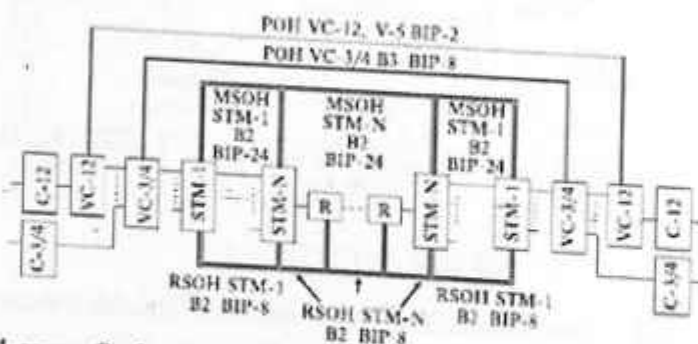
Hamma birinchi bitlar 2 modul bo'yicha kichik bloklarga summalashtiriladi. Natijalar BIP-n kodli so'zlarning birinchi bitiga joylashtiriladi. Birinchi va ikkinchi kichik bloklar mos ravishda qayta ishlanadi, qayta ishlash natijalari kodli so'zning ikkinchi bitiga joylashtiriladi, va n -bit bo'lgunga qadar davom etadi. Undan keyin har bir ustunga uning juftligi, ya'ni juft yoki toq hisoblanadi.

BIP-8 shakllanishining misoli 6.23-rasmda keltirilgan. Qabul qilingan so'z mos keladigan traktli yoki seksion sarlavhaga o'rnatiladi. Qabul qilish tomonida mos hisb qilinadi, natijalar bilan taqqoslanadi va juft xatolar soni xulosa qilinadi. Taqqoslash natijalari qarama-qarshi tomonga o'tkaziladi.



6.23-rasm. Juftlikni nazorat qilish algoritmi

Juft nazorat usuli trakt yoki marshruti seksiyadan seksiyaga va boshidan oxirigacha raqamli uzatish tizimi parametrlarini testlashga mumkinlik beradi. 6.24-rasmda sarlavhalarining harakatlanish sxemasi ko'rsatilgan. Har bir uchastkada mos keladigan tekshirish chuqurligi (n ahamiyati) belgilangan hamda sarlavha bayti ko'rsatilgan, bunda xatolarni nazorat qilish kodli so'zi mos keladigan BIP-n kod bilan joylashtiriladi.



6.24-rasm. Sarlavhalar sohasi va nazorat seksiyalari

Ko'rsatkichlarning vazifalari va tuzilishlari

Tayinlangan ko'rsatkichlar PTR (PoinTeR) virtual konteynerning boshida va ularning ichki raqamli oqim sinxronizatsiyasida yuklamali (TU-N) yoki administrativ (AU-N) bloklarda ro'yxatda turadi. Chiqish oqimi bloki, virtual konteynerga o'ralgan, balkim faza bilan uzatilgan, fazadan uzatish sikli (kadr) farq qiladi. Chiqish oqimidagi sikllar orasida va virtual konteynerlar fazali munosabatlar ko'rsatkich baytlarida ko'rinadi. Ko'rsatkich baytlari fiksatsiyalangan siklli pozitsiyalarda va birinchi baytning VC

(birinchi bayt POH) adresini siklda o'z ichiga olgan holda joylashgan.

Ko'rsatkichlarni qo'llash qayta tashkil qilingan va buferlashsiz oliy darajadagi sikllar (kadrlar) virtual konteynerlarga o'ralgan yuklamali oqimlarni o'rnatishga mumkinlik beradi. Fazaning va uzatish tezligi har qanday o'zgarishi balkim ko'rsatkich ma'nosini o'zgarishi ijobiy, nolli va tenglashtirish bilan kompensasiya qilinadi. (NO VC) yuqori darajadagi virtual konteyneridan foydalanish xuquqi AU ko'rsatkichni uzluksiz qayta ishlagandan so'ng mumkin bo'ladi. Quyi darajadagi (LO VC) virtual konteynerlarga o'tish mumkin bolishi uchun qo'shimcha ko'rsatkichlarni qayta ishlash zarur. Shuning uchun ko'rsatkichlarni qo'llash yana ham sust darajali oqimlarni kiritish va chiqarishni (komponentli oqimlar) oliy darajadagi oqimi demultiplekslashsiz ishlab chiqarishga mumkinlik beradi. (agregatli oqimni).

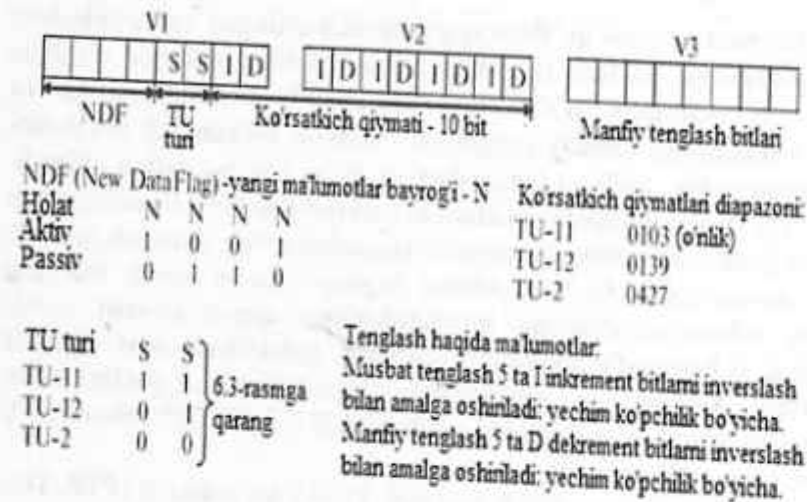
Uch turdagi ko'rsatkich mavjud: TU-12 ko'rsatkich (PTR TU-12, quyi darajada — LO), TU-3 ko'rsatkich (PTR TU-3, NO) va ko'rsatkich AU (PTR AU, — yuqori daraja NO).

TU-12 ko'rsatkich to'rtta baytdan iborat V1, V2, V3 va V4 (zahira qilib qo'yilgan), To'rtta yuklamali blokni (6.7-rasm) o'z ichiga olgan 500 mks davomiyligida supersikl mobaynida uzatiladi. V1 bayt supersiklda har doim birinchi pozitsiyani egallaydi (104 bitdan keyin), ohirgi — zahira V4 qilib olingan 69 bitdan so'ng tugallangan siklda supersikl uzatiladi PTR TU-12 baytlar strukturasi va uning alohida bitlar tayinlanishi 6.25-rasmda keltirilgan. Yangi ma'lumotlarning bayrog'i NDF ko'rsatkichning aktiv va passiv holatiga qaratiladi. Kombinasiyalarni holatini tanlash bayroqning holatini aniqlashga, yana agar uning qabulida birlamchi xato ketsa imkon beradi.

TU-12 bayt ko'rsatkichi tuzilishi ko'rsatkichni almashtirish bilan siqib chiqarilgan, lekin sababi tekislash bo'yicha emas, masalan yangi oqimning boshlang'ich yuklanishida. Ko'rsatkichning passiv holati, ko'rsatkichli so'zda o'zgarishlar tezliklarni kelishish komandasi ahamiyatini o'zgartirishi mumkin.

Yuklamali TU va administrativ AU bloklar virtual konteynerlarni VC yuklash davrida berilgan tekislashlar quyidagi

o'rinlarga ega: nolli tekislash, bunda sikliga o'rnatiladigan VC TU yoki AU bilan sinxronli, binobarin, tekislash talab qilinmaydi.



6.25-rasm. TU-12 bayt ko'rsatkichi tuzilishi

TU va AU hamda boshlang'ich VC sikllari orasida fazali farqlar (NDF bitlar ko'rsatkichining ahamiyatida fiksasiya qilinadigan) o'zgarishsiz qoladi; ijobiy tekislanish o'zining joyiga ega, agar VC uzatish tezligi TU yoki AU tezligidan past bo'lsa; sikli (kadr) anq bo'lgan pozitsiyalarda tekislash uchun 3 bayt uzatiladi (axborotni o'z ichiga olmagan). Bunda VC boshlanishi (birinchi bayt POH) siklga nisbatan 3 baytga kechikadi va ko'rsatkichning ahamiyati 1 ga kuchaytirilgan bo'lishi lozim 1; nisbatan tekislanish o'z joyiga ega, agar VC uzatish tezligi TU yoki AU dan yuqori bo'lsa; o'tkazish qobiliyatiga muvofiqligi sikl tarkibining o'zida ta'minlanadi. Buning uchun ko'rsatkichni aniq tekislash baytlari ko'zda tutilgan, bunda tarkibida VC bo'lgan 3 bayt joylashishi mumkin.

Kadr (sikl) orasidagi fazali farq va VC uchta baytga kichrayadi, va ko'rsatkichning ahamiyati 1 ga kamayishi lozim. Ko'rsatkich korreksiyasi har bir to'rtinchi kadr-siklida chiqarish mumkin, ya'ni kamida yana aynan shu bir ma'noli ko'rsatkich uchta ketma-ket keyingi sikl uning ma'nosi NDF bit bo'yicha ikki smena orasida bo'lishi lozim. Tekislash ijobiy

komandasi bir marotaba uzatiladi va ma'no inversiyasida inkrement bitlar I xulosalanadi; Bu komandani qabul qilishda qabul qiluvchi pozitsiyaga vstavkani, keyingisini esa bevosita ko'rsatkich V3bayt ortida amalga oshiradi.

Salbiy tekislash komandasi shuningdek bir marotaba uzatiladi va dekrementli D bitlar ma'nolar inversiyasida xulosalanadi. Uzatishining ishonchli tomoni kelishuv komandasi ularning ortiqcligidan taminlanadi. Beshtadan uchta bit inversiyasini aniqlash yetarli bo'ladi — ko'pincha ikkilamchi xatodan himoya identifikasiya S bitlari berilgan ko'rsatkich tipiga yo'naltiradi (6.25-rasmga qarang).

Daraja ko'rsatkichi TU-3 va AU-4 strukturasi ega, analogli TU-12 ko'rsatkichga ega; faqat V1, V2, V3 birgina 16 razryadli kodli so'z N3 va H3 baytni tashkil etuvchi baytlarining roli N1, N2, baytni bajaradi, uzatish tezligi salbiy tekislashda xizmatchi axborotni uzatish uchun (PTR AU administrativ blokni AU-4 olib o'tishda uch bayt N3).

PTR AU joylashtirish uchun 9 baytdan iborat bo'lgan maydon ajratiladi. (5.11-rasm). Agar AUG administrativ blok uch blokni AUG o'z ichiga olgan bo'lsa, unda maydon butunlay band bo'ladi: N1 birinchi uch bayt, ikkinchi va uchinchi blok, ikkinchi uch bayt — N2 baytlar uchinchi — N3 baytlar. AU-4 blokini olib o'tishda ko'rsatkich maydoni baytlarni o'z ichiga oladi. 6.26-rasmga keltirilgan.

H1	Y	Y	H2	«1»	«1»	H3	H3	H3
Y	1001	SS11		«1»	«1»	11111111		

6.26-rasm. PTR AU-3/4 tuzilmasi

N1 va N2 baytlari yagona kodli so'z tashkil etadi, 6.27-rasmga keltirilgan. AU ko'rsatkichning ahamiyati axborot maydoni tuzilmasida traktli sarlavha (J1) birinchi bayt adresini aniqlaydi, masalan AUG. PTR AU ko'rsatkichning adresli maydonida uch baytli 783 yacheykalarni o'z ichiga olgan, adreslarning maksimal soni $2^{10} = 1024$ ga teng.

H1										H2									
N	N	N	N	S	S	I	D	I	D	I	D	I	D	I	D	I	D	I	D
Yangi ma'lumotlar bayrog'i - NDF										Bitlar ko'rsatkichi - 10 bitlar									
N-yangi ma'lumotlar bayrog'i S-identifikatsiya bitlari										D-dekrement bitlar I-increment bitlar									

6.27-rasm. N1 va N2 PTR AU-3/4 baytlar tuzilmasi

«Oshiqcha» adresi taqiqlangan hisoblanadi, ularning ma'lum bir qismi ko'rsatkich haqida qo'shimcha ma'lumotni uzatish uchun xizmat qiladi. Bitni N1 va N2 baytlarda tayinlash, yuqorida belgilanganidek, mos keladigan bitlarga V1 va V2 baytlar TU-12 traktli sarlavhaga o'xshash.

TUG-2 guruhidan yuklamali TU-3 blokni shakllantirishda PTR TU-3 kursatkichini qo'llash muhimligi qoldiriladi, negaki tekislanish TU-12 bloklar sathida barpo etilgan. Bu holatda TU-3 blokida ko'rsatkich kiritilad, bu qabul paytida hisobga olinmaydi. Bu ko'rsatkich taqiqlangan adres orqali aniqlanadi «1111100000»; tekislanishning N3 salbiy bayti bunda qo'llanilmaydi.

6.3. Sinxron raqamli ierarxiyalik optik aloqa tizimlarining qurilmalari

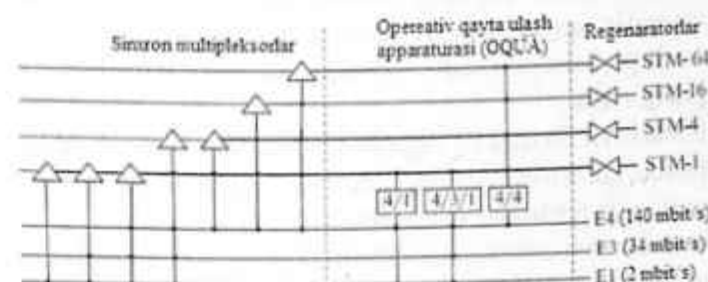
6.3.1. Umumiy tushunchalar va ta'riflar

Raqamli sinxron ierarxiyasini uzatish tizimi (SRI UT) texnik vositalar kompleksi deb ataladi, seksiyalarni tashkil etilishini ta'minlaydi, virtual konteynerlar trakti VC va raqamli sinxron ierarxiyasi trakti.

SRI UT uskunasi quyidagi asosiy apparaturani o'ziga oladi. (6.28-rasm, quyi qismidagi ko'rsatilgan komponentli oqimlar PRI va ularga mos keladigan tezlikda (B Mbit/s), yuqori — SRI darajalari).

Mos bo'lgan darajadagi sinxronli transport modulining axborot multiplekslash apparaturasi tuzilishi - STM-N. Bu apparaturaning asosiy elementi sinxron multipleksor hisoblanadi — SM (Synchronous Multiplexer — SM), ya'ni komponentli oqimlarni birlashtiruvchi uskuna, (PRI, ATM, LAN, MAN, ISDN, FDDI, SRI va boshqalar.) bir chiqish — SRI agregatli oqim. agregatli signal SM darajasi aniqlanadi. SM uskunaning elementi hisoblanadi. SRI

UT tarmoq elementiga mos keladigan turli funksiyalarni bajarishi mumkin.



6.28-rasm. SRI apparaturasi asosiy turlari

Tezkor qayta ulanish apparaturasi (AOP), signallar ichida STM-N virtual konteynerlar vaqtli pazisiyalar joyini almashtirish yordamida kesishmali ulanishni tashkil etadi, yoki kiritish /chiqarish yordamida kenglikda tarqatilgan komponentli oqimlar har qanday vaqt pazisiyasi agregatli oqimi. AOP multiplekslash yoki avtonom apparaturani ichida bo'lishi mumkin.

Liniya traktining apparaturasi, asosiy element regenerator bo'lib, tayinlanishi bu — signalni qayta tiklash (regeneratsiya), hamda:

1) STM-N siklining boshlanishini aniqlash, taktli signalni va siklli sinxronizatsiya impulsini belgilash (A1 va A2 RSOH baytlarni qo'llash bilan);

2) V1 RSOH baytni qo'llashda va traktning qarama-qarishi tomonining oxirigi mos keladigan axborotni uzatish qabul qilingan signalda xatolarni nazorat qilish;

3) regenerator elementlari holati va ularning kanallar bo'ylab D1-D3 RSOH uzatilishini turli signallarda generatsiya qilish. Regeneratorning regeneratsion seksiya yakunlanish bloki sifatida funksiyasi quyida ko'rib chiqiladi.

6.3.2. Sinxron multipleksorlar

Sinxron multipleksorlari apparaturalar SRI UT butun to'plamini o'rni bosadi. So'nggi, terminal, multipleksorlar (TM) turli sathdagi

va ularning multiplekslash axborot tuzilmalarini shakllanishini amalga oshiradi.

Multipleksorlar quyidagi funksiyalarni bajarishi mumkin:

- operativ qayta ulanish (kross-kommutasiyalar);
- multipleksor kiritish / chiqarish (MVV), ikkita agregatli portga ega
- (G'arb va Sharq) va oqimni kiritish va chiqarish imkon beradi (bular qatorida PSI) har qanday komponentli portlarda;
- agregatli portdan boshqasiga oqimni uzatish;
- liniya trakti uskunasi va boshqalar.

Har bir konkret SM shu yoki boshqa hajimdagi aytib o'tilgan funksiyalarni bajaradi. SM funksiyasining to'liq yig'masi va uning texnik tarqatish talablari G.783 ITU-T tafsisiya qilinganda ko'rsatilgan. Bu tafsiyalar umumiy funksional tizim ko'rinishida ko'rsatilgan bo'lishi mumkin (6.26-rasm), bu standart funksional bloklarni va etalon nuqtalarni o'z ichiga oladi (S, T, U va boshqalar), shu orqali standart signallar o'tadi. Funksional bloklar shakllanish misolida STM-1 ko'rib chiqamiz.

Oqim asosida E1, sathi past kirish yo'li ochiq bo'lgan portga kelib tushadigan (6.29-rasmga qarang).

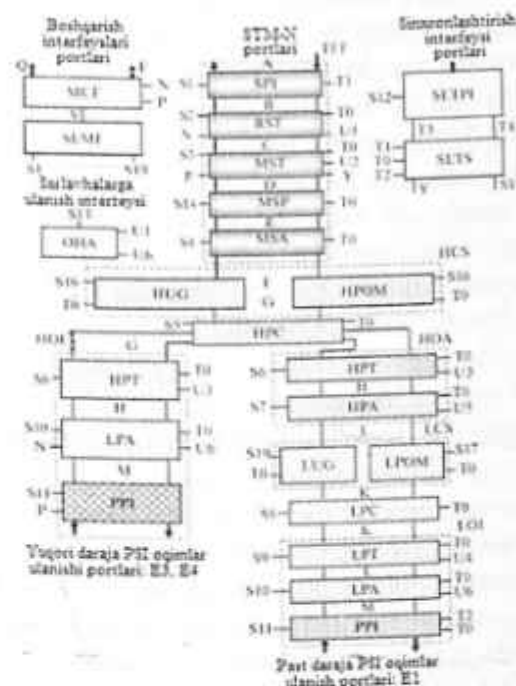
Funksional bloklarni ta'riflaganda axborot oqimi tepadan-pastga yo'nalishni qabul qilish deb hisoblaymiz, axborot oqimining yo'nalishi esa pastdan tepaga - o'tkazish yo'nalishi.

LOI (Lower Order Interface) — interfeys-modul pastki tartib, uchta funksional blokdan iborat: PPI, LPA va LPT.

PPI (Plesiochronous Physical Interface) — plezioxron fizik interfeys, oqimdan ajralib chiqishi uchun moljallangan EI (2M) taktli chastota impulsi, chiziqli kodni dekodirlashni amalga oshirish (HDB3) va konteynerni shakllantirish maqsadida axborot signallarini qayta o'zgartirish S-12 (qabulda funksiya PPI oqimga konteynerning qayta o'zgartirishdan tashkil topgan EI), shundan so'ng M etalon nuqta orqali taktli signallar bilan birgalikda LPA blokiga o'tkaziladi.

LPA (Lower order Path Adaptation) — pastki tartib traktining adaptasiya bloki sinxron konteynerga kiritish maqsadida S-12 (6.5-rasm), ya'ni S-12 konteynerida Eloquentini joylashtirish va qabul qilish davrida orqaga yo'nalgan operatsiyani bajarish. Agar kirishda signal pleziokron tipli bo'lsa, unda blok LPA bit sathida tezlikni

tekislash operatsiyasini bajaradi; keyinroq interfeys orqali L qayta tuzilgan signal LPT blokiga kelib tushadi.



6.29-rasm. Sinxron-multipleksorning umulashtirilgan funksional sxemasi

LPT (Lower order Path Termination) — quyí tartib traktining tugallanishi (terminal), virtual konteynerni uzatishda shakllanishi uchun moljallangan VC-12 konteynerga qo'shish yo'li bilan S-12 bayt traktli sahifa POH. Bu blokni qabul qilishda POH sarlavhasi analiz qilinadi (signal sifatini baholashda), endilikda avariya haqidagi ma'lumotni olib yuruvchi nazorat summasi va bitlar analizi o'tkaziladi. LOI chiqish bilan signal interfeys orqali K blokka kelib tushadi LPC.

LPC (Lower order Path Connection) — paski tartib traktlar kommutasiya bloki yana ham yuqori tartib tuzilishida pastki tartib konteyneri joyini o'zgarishi uchun xizmat qiladi (masalan, TUG-2). Ulanish matrisasidan tashkil topgan va bu raqamli multiplekslash

TU-12 tuzilishida virtual konteynerning (VC-12) egiluvchan joylashishiga mumkinlik beradi (yuklamali blokni uzatish siklida 6.5-rasmga qarang).

Kirishda va berilgan blokning chiqishda signal formatlari bir hil, chunki kommutasiya jarayoni axborot signali xarakteriga ta'sir qilmaydi. Blokka kirishi va chiqishida etaln nuqtalar bir xil va bitta simvol bilan belgilanadi K. Kommutasiyani boshqarishda va holati haqida ma'lumot olish funksional blok orqali yuz beradi om SEMF (quyida ko'rsatilgan) ealon nuqta orqali S8.

Berilgan har qanday blokda, qandaydir kirish bilan bog'langan signal jihozlanmagan trakt xosil bo'ladi. Keltirilgan aniq bo'lmagan yuklama va konteyner signali VC-12, hamda normal sarlavhani o'zida ko'rsatadi, bunda bitlar 5, 6 va 7 bayti V5 nolli holatda o'rnatilgan — «bo'sh».

LCS (Lower order Connection Supervision) — pastki tartib traktlar ulanish distansioni tranzit nuqtalarida va qayta ulanish pastki tartib traktlarni nazorat qilishga xizmat qiladi.

LCS bloki nazorat ob'ekti tarmog'ida realizasiya qiladi, pastki tartib trakti seksiyasiga va ikkita blokdan tashkil topgan LUG va LPOM. Ularning har bir bloki ikkitasidan biring holatida bo'lishi mumkin v (programmali o'rnatiladi): inactive — faol emas active — faol. Birinchi holatda ma'lumotlari etalonli nuqtalar orasidan bloklar orqali shaffof o'tadi I va K (pastga qarang). Ikkinchi holatda bloklar belgilangan funksiyani aniqlaydi.

LUG bloki (Lower order Unequipped Generator) — virtual konteynerning («bo'sh») jihozlanmagan generator yuklamani imitatsiya qiladigan VC-12 signalni generatsiya bo'lishi va LPC da axborot ma'lumotlari yo'qligi, sarlavhani shakllanishi uchun mo'ljallangan.

LUG uzatishning asosiy funksiyasi yuklamani imitatsiya biln C-12 konteynerni generatsiya qilish, kodni aniqlash BIP-2 va bitlarda ularni ahamiyatini o'rnatish, 1, 2 bayt V5 sarlavha, 3 (FEBE) bitda birlikni bayt V6 qabul qilingan signalda topilgan xatoda va baytlarni o'rnatish J2 va N2 etalon nuqtasidan olingan axborot bo'yicha sarlavha S19 va boshqalar.

LROM blok (Lower order Path Overhead Monitor) — tarkibida POH bo'lgan, pastki tartib trakti sarlavhasi manitori uchun marshrut ko'rsatkichi, qabulida tekshirish xizmat qiladi. Qabul qilish paytida

blokning asosiy funksiyalari bitlarni 1, 2 bayt V5 sarlavhasini ajratish, xatolarni sonini aniqlash uchun belgilangan axborotni qo'zlash, FEBE signallar generatsiyasi sharoitlarini aniqlash (V5 sarlavha «1» bitida 3 bayt aniqlash), FERF (V5 sarlavha «1» bitida 8 bayt aniqlash) va REI (V5 sarlavha «1» bitida 4 bayt aniqlash).

Signal interfeys I orqali NOA modulga kelib tushadi.

NOA (Higher order Path) — oliy tartibdagi modul tuzilishini VC-4 ni yig'ish uchun xizmat qiladi va ikki blokdan iborat bo'ladi NRA va NRT.

NRA blok (Higher order Path Adaptation) — oliy tartib traktini adaptatsiyasi yuklamali blok matrisasiga virtual konteynerni TU-12 kiritishni va ko'rsatkichni shakllantirishni PTR TU-12 amalga oshiradi. Bundan tashqari, shu yerda har xil yuklamali bloklar baytli multipleksorlash TU-12 ishlab qiqariladi hamda xuddi shu TUG-2 va TUG-3 tuzilmada shakllanadi. NRA bloki axborotlarni qabul qilishda har bir qayta tiklangan TU-12 bloki ko'rsatkichida demultiplekslash va dekodirlash virtual konteynerning VC-12 boshlanishini aniqlash uchun qo'llaniladi.

NRT blok (Higher order Path Termination) — oliy tartibdagi trakti tugashi (terminal) matrisani shakllanishi uchun mo'ljallangan, va bu oliy tartibdagi (VC-4) virtual konteynerga taaluqlidir. Qarama-qarshi tomonda ishlashda (ya'ni axborotni qabul qilishda) POH sarlavhalar marshrutini aniqlash uchun, bu blokda olib tashlanadi va interpretirlanadi (deshifrlanadi). Axborot signali NRS blokka kelib tushadi.

NRS (Higher order Path Connection) — bloki oliy tartibdagi traktning ulanishi va yuqorida ko'rib chiqilgan LPC moduli ham xuddi shu funksiyalarni bajaishi uchun mo'ljallangan. NRS modilini amalga oshirish o'zida matrisani taqdim etadi, bunda STM-N uzatish sikli ichida VC-4 virtual konteynerini oson joylashishiga mumkinlik yaratadi. SHundan so'ng signal interfeys G orqali modul kelib tushadi NSS (Higher order Connection Supervision) — yuqori tartibli trakti ulash nazorat bloki ikki funksional bloklardan tashkil topgan: HUG va HPOM.

HUG (Higher order Unequipped Generator) — jihozlanmagan («bo'sh bo'lgan») virtual konteyner generatori — oliy tartib trakti yuklaydi, bunda oliy traktlarni ulash blokida axborot ma'lumotlari

yo'qligi sababli NRS tartibi yuklamani imitatsiya qiladigan signalni tanlaydi.

NROM (Higher order Path Overhead Monitor) — oliy tartib trakti monitori marshrutni ko'rsatkichi qabulini tekshirish uchun xizmat qiladi. POH sarlavha tarkibida borligi. F tayanch nuqta orqali (interfeys) virtual konteyner signalidan TTF moduliga kelib tushadi.

TTF (Transport Terminal Function) — transportli terminal funksiyasi bilan modul beshta funksional blokdan iborat: MSA, MSP, MST, RST va SPI.

MSA bloki (Multiplex Section Adaptation) — multipleksli seksiya adaptatsiyasi uzatish vaqtida virtual konteyner VC-4 administrativ bloki AU-4 matrisasiga kiritishni, ko'rsatkichning shakllanishini, hamda administrativ bloklar AUG guruhlarini shakllantirishni amalga oshiradi. Qabul qilishda AU-4 blok ichida VC-4 tuzilishi boshlanishni aniqlash uchun ko'rsatkichning dekodirovka qilishni bajaradi (5.5-rasmga karang).

Qabulda blok funksiyasi MSA: 1) demultiplekslash AUG va AU ko'rsatkichlarni qo'llash bilan VC signallarni belgilash; 2) avariya signallarini topish va S4 nuqtasiga mos bo'lgan axborotni uzatish. Ye nuqtasi orqali MSA blokka chiqish signali MSP blokiga yuboriladi.

MSP blok (Multiplex Section Protection) — axborotni o'z ichiga olganidek tuzilmani STM multipleksli seksiyani himoyalash (zahira qilib olingan). MSP bloklari ikkala seksiyalar tomonlari chetida bir xil ishlaydi, STM-N signal nazoratini ro'yobga chiqara turib va avariya holatlarini va ustuvor jihatlarini hisobga olganda, zahira qilib olingan traktga qayta ulanish. Zahira qilib olingan trakt K1 va K2 sarlavha baytlarini qo'llay turib MSOH, bu bloklar zahira qilib olingan joyning oxirida axborotlar bilan almashinadi. Hamma o'rnatilganlar (opsiyalar) MSP blokda MST blokidan axborot asosida yaratiladi.

MST blok (Multiplex Section Termination) — multipleksli seksiya oxiri (terminal), asosiy funksiyalari: uzatishda:

BIP-24 hisoblash va V2 sarlavhasida baytlarni to'ldirish;

baytlarni to'ldirish K1 i K2, D4... D5, E2, Z1, Z2 ma'lumotlar, (S, P) va ONA bloki mos bo'lgan etalonli nuqtalarni qabul qiladi;

MS-FERF shakllanish (1, 1, 0 bitlarda o'rnatish 6, 7, 8 bayt K2 tegishli ravishda) MS-AIS aniqlanganida yoki SF qabulida;

baytni to'ldirish S1 (5 ... 8 bitlar) SETS blokidan etalon nuqta orqali qabul qilingan Y sinxrosignal sifati haqidagi ma'lumot (quyidagi rasmga qarang);

(generasiya MS-FEBE) qabul qilish davrida xatolarning soni haqidagi axboroti haqida M1 baytlarini to'ldirish;

qabulda:

- V2 baytni qo'llash va S3 nuqtasiga axborotni uzatish bilan qabul qilingan signalda xatolarni nazorat qilish. (quyida ko'rsatilgan);
- avariya signallarida generatsiyaning sharoitlarini aniqlash va etalon nuqtalariga mos bo'lgan axborotni uzatish;
- K1 va K2 baytlarini belgilash, avtomat zahiraga qayta ulanish tizimida qo'llaniladigan, va D nuqtasiga ularni uzatish; MSP blokiga mos keladigan komandani jo'nata turib, K1 va K2 baytlar almashtirish kriteriyalari haqida axborotni o'z ichiga olgan (qayta ulanish) axborotni himoya qilish maqsadida uzatish yo'nalishi;
- ma'lumotlarni uzatish D4... D12 kanali baytni belgilash va ularni R nuqtaga uzatish;
- S1 baytni belgilash va ma'lumotni uzatishda Y nuqtasida sinxrosignal sifati xaqida;
- Z1 va Z2 zhira qilib olingan baytlarni belgilash, E2 bayt xizmat aloqasi va ularni etalon nuqtasiga uzatish U2 va boshqalar.

RST bloki (Regenerator Section Termination) — regeneratsiya seksiyasining tugallanishi (terminal) RSOH sarlavhasiga taaluqli baytlarni kiritish/ chiqarish uchun xizmat qiladi, ya'ni birinchi to'rtta sarlavha satri SOH (baytlarni generatsiya va to'ldirish A1, A2 va J0, BIP-8 aniqlash hamda V1 ni to'ldirish D1... D3 va boshqalar). Bundan tashqari, RST blokida skrembler bor, va bu STM-1 uzatiladigan signal holatida sohta ixtiyoriylikni o'zgartiradi, RSOH sarlavha birinchi satrini istisno bilan, sinxrosignal A1 va A2 baytlarni o'z ichiga olgan. Qabul qilishda quyidagi asosiy operatsiyalar amalga oshiriladi:

- STM-N siklning boshlanishini aniqlash va siklli impulslarni ajratish (A1 va A2 RSOH baytlarini qo'llash bilan);
- STM-N signalini deskremblirlash (RSOH birinchi satrdan tashqari);

-LOF avariya signalida generatsiya shartlarini topish (siklli sinxronizatsiya fiksatsiyasini to'xtat qolishi) va S2 etalonli nuqtaga to'g'ri keladigan uzatish;

-VI RSO H baytini qo'llash bilan qabul qilingan signalda xatolarni nazorat qilish va S2 etalon nuqtasiga mos keladigan axborotni uzatish va boshqalar.

SRI (SDH Physical Interface) blok — multiplekslash pog'onasi orasida SDH uzatish (kabel bilan, optik tola bilan yoki radiochiziqli ustun bilan). Agar fizik muhit o'zida misli konli kabelni namoyon etsa, chiziqli kodlash tipida SM qo'llaniladi! (kod klass 1V2V simvollar inversiyasi guruhi bilan, bunda chiqish ketma-ketligi har bir bitga ikkitadan iborat bo'lgan kodli so'zni mos qilib qo'yiladi). Optik interfeys tavsiyalar bilan qat'ian ITU-T G.957; interfeys uchun RRL gorizontali yoki «kundalang» joylashishi ko'zda tutilmagan. Axborot misolida, bundan tashqari chiziqli signallar dekodirlash, SRI bloki sinxrosignal kirish ma'lumotlaridan chiqarib oladi.

SM va SSP SRI hamma bloklarning sinxron ishi umumiy olganda sinxronizatsiya tizimi bilan ta'minlanadi, funksional bloklarni SETS va SETPI o'z ichiga qamrab olgan.

SETS (Synchronous Equipment Timing Source) — sinxron asbob-uskuna traktli signallar manbasi hamma asbob-uskuna bloklari uchun taktli signallarni shakllantiradi SRI. Tayanch signallar sifatida (etalonli) tayanch nuqtalarda signallari chiqib ketishi mumkin T1, T2, T3 yoki ichki generator signali T0. Tayanch signallarni tushishida u haqidagi axborot blokka uzatiladi SETPI.

SETPI (Synchronous Equipment Timing Physical Interface) — sinxron moslamali traktirlashning fizikaviy interfeys li signallari SETS dan T4 nuqtalari orkali kiradigan tashqi sinxronizatsiya muxitiga moslashgan va kodlashni uzatishni amalga oshiradigan va SETS. Blokiga dekodlashtiriladigan va uzatiladigan kabul kilingan tashqi taktli signalning ajratilishi kuzda tutiladi.

MCF funksional bloklari orqali (Message Communication Function) — SEMF va xabarlar almashish funksiyalari (Synchronous Equipment Management Function) — sinxron moslamalarni boshqarish funksiyalari SM va butun SRI UT va sinxron tarmoklarning funksionlashni boshqarish ning sinxron moslamalarini boshqarishga amalga oshiriladi. SEMF bloki S1... S19 etalonli (tayanchli) nuqtalari orkali boshqa funksional bloklar

orkali uzaro xarakatlanadi. S1 ... S19, nuqtalari orqali o'tuvchi ma'lumotlar avariya signallar, buyruklar va xabarlarga bo'linadi. SEMF bloki uchun SEMF Boshqaradigan ma'lumotlar va u xaqidagi u xaqidagi javoblar MCF blokidan V etalonli nuqta orqali o'tadi. Bu bloki— boshqaruv tizimlarining ish stansiyalariga ulanish uchun F va — boshqaruv tizimiga kirish uchun Q interfeyslariga ega.

Sinxronli multipleksor OHA (Over Head Access) — sarlovhalarga kirishning funksional blokini o'z ichiga oladi, E1, E2 va F1 baytlar yordamida taqdim etilgan VC sarlovhali STM-N seksion sarlovhani tashkil qilish uchun mo'ljallangan. Bu blok tashqi kirish yo'li interfeysiga ega va U1... U6 etalonli nuqtalari orqali sarlovhalarga ma'lumotlarga uzatadi.

E3 va E4 oqimlaridan foydalanish bilan STM-1 ning shakllanishi HOI (Higher Order Interface) moduli orqali amalga oshiriladi — uch funksional bloklardan tashkil topuvchi yuqori tartibning traktli interfeysidir (5.29-rasmga qarang).

PPI bloki (Plesiochronous Physical Interface) — plezioxrlangan fizikaviy interfeys. Uning tayinlanishi va funksionlashishi, yuqorida ko'rib o'tilgan PPI blokiga analogikdir. Kirish signalini uzatishda taktli impulsar ajralib chiqadi, chiziqli kodning (SM!) dekodlanishi amalga oshiriladi va LPA blokiga taktli impulsar bilan ketma ket uzatiladigan berilgan ma'lumotlarning o'zgarishi kutiladi. Uzatishda fizikaviy muhitga plezioxronli interfeysga moslashishi va chiziqli kodlash amalga oshiriladi.

Keyinchalik M interfeysi orqali signal LPA blokiga kiradi.

LRA (Lower order Path Adaptation) — S4 sinxronli konteynerga kirish signalini amalga oshirishdan iborat bo'lgan asosiy funksiyadan iborat bo'lgan past tartibli trakt moslashuvining bloki; qabul qilishda, blok teskari operatsiyani bajaradi. Agar kirishdagi signal plezioxronli bo'lsa, u holda LPA blokida tezliklarni (manfiy/musbat) tekislash operatsiyasi bitlar sathida amalga oshadi. S-4 konteyneri N interfeysi orqali HPT blokiga uzatiladi.

NRT (Higher order Path Termination) — yuqori tartibli t raktning qo'shimchasi (terminali), POH sarlovhali S-4 to'qqiz baytli konteyner tuzulmasiga qo'shish yo'li bilan erishiladigan (VC-4) yuqori tartibli virtual konteyner matrisasini shakllantirish vazifasiga ega. Qabul qilishda aniq marshrut tanlanmaganicha, POH sarlovha:

interpretatsiyalashadi va analiz qilinadi. VC-4 shakllangan konteyner keyincha o'zgaradi, EI oqimida STM-1 asosida mos shakllanishga egadir. Qisman yuqorida ko'rsatib o'tilgandek, funksional bloklarning o'zaro harakati ko'plab etalonli nuqtalari (interfeyslar), orqali amalga oshiriladi (6.26-rasmga qarang):

A ... M — STM-N blaklarning shakllanishidagi ulanishidagi etalonli nuqtalarni, ular orqali asosiy ma'lumotli tuzilmalar o'tadi: S-12, S-3/4, VC-12, TU-12, TUG-2, TU-3, TUG-3, VC- 3/4, AU-3/4, AUG, STM-N;

N — MCF va RST bloklarning ulanish joyidagi etalonli nuqta, ular orqali regenerasion seksiyalarning ma'lumotlarini uzatish kanalining signallari o'tadi (Data Communication Channel regeneration section — DCCR);

P — MCF va MST bloklarning ulanish joyidagi etalonli nuqtasi, ular orqali multipleksli seksiyaning ma'lumotlarni uzatish kanallari o'tadi (Data Communication Channel Multiplexing section — DCCM);

T (T0 ... T4) — SETS har bir funksional blok bilan blokning ulanish joyidagi etalonli nuqtalar, ular orqali taktili sinxronizatsiyalarning signallari uzatiladi;

U — funksional bloklarning ulanish joyida etalonli nuqtalari va sarlovhaning ONA kirish yo'lidagi blokida, ular orqali hizmatchi aloqa va yordamchi kanallarning signallari uzatiladi (qo'shimcha);

Y — MST va SETS bloklarning ulanish joyidagi etalonli nuqtasi (sinxrosignal sifati haqida xabarlarini uzatish);

V — MSF va SEMF bloklarning ulanish joyidagi etalonli nuqtasi (boshqaruvning yuqori darajadagi xabarlar almashinuvi);

Q — moslamaning holati haqida xabar va moslamaga boshqaruv komandalari kirib kelayotgan boshqaruv tarmog'idagi tashqi aloqa interfeysi;

F — ishlovchi terminal bilan aloqada bo'lgan interfeys (ishchi stansiya bilan): kompyuterli interfeys RS-232-C.

6.3.3. Sinxron multipleksorlarning konfiguratsiyasi

Real multipleksorlar ko'rib chiqilgan umumiy sxemaning bir qismini bajarishi mumkin. Konkret multipleksorga ega bo'lgan funksiyalar ro'yxati uning konfiguratsiyasi bilan aniqlanadi. Nisbatan

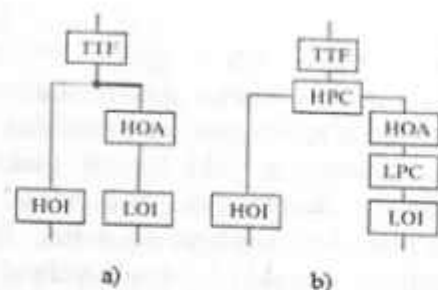
onson SM larda konfiguratsiya o'zgaras, va qoidaga asosan. Modulyatsiya funksional bloklarga aniq modullarni qo'shish yoki o'zgartirish yordamida o'zgaradigan aniq modullar - nisbatan qiyin modulli konstruksiyalarda u yoki boshqa funksiyalarni amalga oshiradi. Algoritmilar va ularning funksionlashi va boshqaruv tizimlarini va ko'plab SM konfiguratsiyalarini, dasturiy ta'minot darajasida o'zgartirish mumkin. Funksiyalarni keng o'stirish imkoniyatiga ega nisbatan murakkab SM, asosan intensiv tarzda rivojlanayotgan tarmoqlarda qo'llaniladi. Quyidagini belgilab o'tish joizki, multipleksorning tuzilmaviy sxemasining bloklari aytarli hech qachon funksional bloklar bilan mos kelmaydi. Strukturali bloklarning tarkibi elementli bazaga, ishlab chiqarish o'ziga xosliklariga va qator boshqa sabablarga bog'liqdir. Eng ko'p uchraydigan SM konfiguratsiyasini ko'rib chiqamiz.



6.30-rasm. Multipleksor-translyator yoki regenerator konfiguratsiyasi

6.30-rasmda translyatsiya funksiyasini ta'minlaydigan SM konfiguratsiyasi keltirilgan. 6.30-rasmda VC-3/4 VC-3/4 konteynerlarga imkon beruvchi konfiguratsiya multipleksor-trans-tarmoqlar orasida tranzit bo'lib o'tish, osnolyator yoki regeneratorni AU-4 bloklarida. Xalqaro V rekomendatsiyalarda bunday konfiguratsiya regenerator deb ataladi. TTF, HOA bloklar funksiyalari yuqorida ko'rib chiqilgan edi. Lekin regeneratorning funksiyasini sodda konfiguratsiya ham bajarishi mumkin, V etalonli nuqtada bir-biri bilan bog'langan SPI va RST funksiyalarni o'z ichiga oluvchi ikki blokdan tashkil topadi (5.29-rasmni ko'ring).

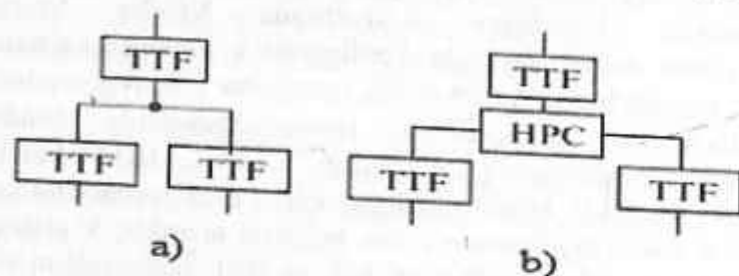
OM konfiguratsiyasi ko'rsatilgan, u STM-N sinxronli transportli moduliga kirish (EI, E3, E4 oqimlari va bosh.) signallarining o'rnatishning oddiy funksiyalarini ta'minlaydi (6.31, a-rasm).



6.31-rasm. Oxirgi (terminal) multipleksorlar konfiguratsiyasi: a — kommutatsiya funksiyasiz; b — funktsiya kommutatsiyasi bilan

Konfiguratsiyali kommutatsiyalar funksiyalaridan maxrum qilingan (LPC, HPC), shuning uchun ham sinxron oqimdagi har bir komponentli signalning joylashtirilishi maxkamlangan bo'ladi. Kommutatsiya funktsiyali OM konfiguratsiyasi (6.31, b-rasm) STM-N modulidagi hoxlagan pozitsiyada turli oqimni egiluvchi qayta joylashishini kirish yo'lini ta'minlaydi. Lekin bunday SM ning narxi mavjud konfiguratsiyalardan ahamiyatli ravishli yuqoridir, 6.31, a-rasmga muvofiq.

6.32-rasmda multipleksorlar-kondensatorlar konfiguratsiyalari keltirilgan, yuqori darajali oqimlar (NRS) kommutatsiyasining funktsiyasi mavjudligi (b) yoki majud emasligi (a) bilan farq qiladi.

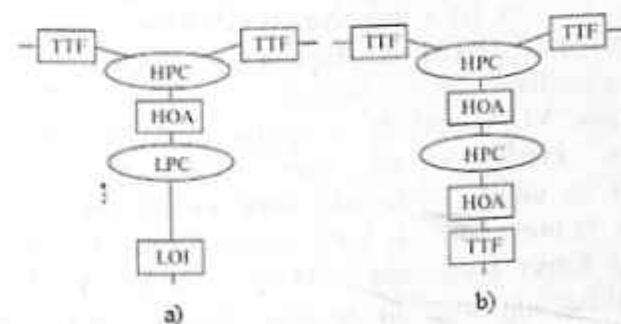


6.32-rasm. Multipleksor-konsentratorlar: a — kommutatsiya funksiyasiz; b — kommutatsiya funktsiyasiz.

Bunday multipleksorlar bir nechta STM-M oqimlarini bir eng yuqori darajali STM-N oqimiga aylantirish imkoniyatini ta'minlab beradi. VC oqimlarining qayta taqsimlash hisobiga kommutatsiya

funksiyalarining mavjudligi bir nechta qisman to'ldirilgan STM-N oqimlarini bir va o'sha darajali oqimga birlashtirishga imkon beradi.

SM tarmoqlarida eng ko'p foydalanadiganlar — bular kiritish / chiqarish multipleksorlaridir (MVB, Add/Drop Multiplexer — ADM). 6.33-rasmda barcha imkon beruvchi shunday SM ning ikki konfiguratsiyasi ko'rsatilgan.



6.33-rasm. Multipleksorlarning kiritish / chiqarish konfiguratsiyasi: a — s plezioxron interfeysli kirish yo'li; b — sinxronli interfeysli kirish yo'li (apparatura operativnogo pereklyucheniya — AOP), ba'zilarining konfiguratsiyasi.

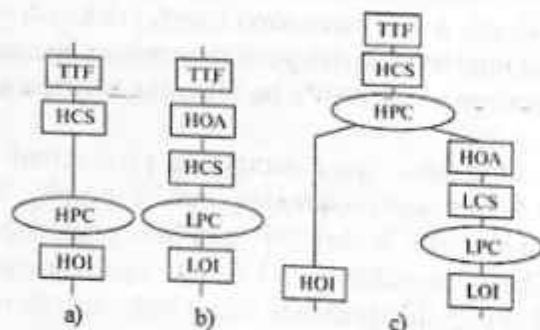
Ulardan birinchisi quyi darajaning plezioxronli interfeyslari orqali STM-N tranzitli oqimning tarkibi orqali kirish yo'lini ta'minlab beradi. NRS funktsiyasi ma'lum punktdagi yakunlash sifatidagi STM-N signalidagi VC-3/4 signallaridan foydalansa bo'ladi, yoki keyinchalik uzatishda ularni birlashtirishi mumkin.

Bunday konfiguratsiya ma'lum punktdagi VC-3/4 signallarni berilgan punktdagi xoxlagan STM-N mustaqil pozitsiyani olib kirib shakllantirishga imkon beradi. LPC quyi tartibdagi traktlarni qo'shish funktsiyasi, quyi darajali virtual konteynerlarni ishlatishgan imkon berib, bu punktda saralash hisobiga olingan yuqori darajali konteyrlarni nagruzkalar ttugashi yoki yuqori darajali chiquvchi konteynerlarga qayta o'zgaritirishi mumkin. Bundan tashqari LPC funktsiyasi shu punktda shakllanadigan quyi darajali konteynerlarni, chiquvchi VC-3/4 konteynerlarni har qanday pozitsiyaga yo'naltirilishi mumkin.

Eng qiyin va qimmatli bo'lib kross konnektor — multipleksorlari hisoblanadi.

Yuqori va quyi ulanish traktlarining 6.34-rasmda keltirilgan NRS va LPC funksiyalarning nisbatan quvvatli bloklaridan tashqari, bu multipleksorlar interfeys funksiyali katta miqdordagi bloklar bilan ta'minlashadi (TTF, HOI va LOI bloklari). Bundan tashqari AOP konfiguratsiyasiga quyi va yuqori darajalardagi traktlarni ulovchi nazoratli — LCS va HCS funksiyalari kiritiladi.

SSI (STM-1 ... STM-64) barcha darajadagi signallarni va, E4 plezioxron signallarni qayta ishlovchi 4/4 turidagi AOP farqlashadi. Qayta yoqish VC-4 sathida o'tqaziladi. AOP ning bu turiga multipleksor konfiguratsiyasi mos keladi, u 6.34,a-rasmda ko'rsatilgan va uning yordamida faqat yuqori oqimdagi krossli ulanishlarni ta'minlaydi. k konteynerga tashqi kirish yo'li TTF bloklarining kirish oqimining interfeysi uchun va HCS yuqori darajali traktlarning ulanishi nazorat funksiyalardan foydalanish yordamida amalga oshiriladi.



6.34-rasm. Operativ qayta o'zgartirishning apparatura konfiguratsiyasi: bu yerda a — yuqori darajali konteynerlarning krossli ulanishi bilan; b — quyi darajadagi konteynerlarning krossli ulanishi bilan; v — yuqori darajali va quyi darajadagi konteynerlarning krossli ulanishi yordamida

6.34, b-rasmda ko'rsatilgan AOP konfiguratsiyasi, faqat quyi darajadagi oqimlardagi krossli ulanishlarni ta'minlaydi va STM-1 (STM-4 tartibida) sinxron signallar uchun portlarga ega va 140 va 2

Mbit/s plezioxron signalli, AOP turidagi 4/1 muvofiqdir. O'zgarishlar VC-4 va VC-1 sathida amalga oshiriladi. Konteynerlarga tashqi kirish interfeyslar uchun TTF va NOA bloklari yordamida amalga oshiriladi.

Kirish oqimidagi interfeyslar uchun STM-N yoki LOI funksiyalari. Burinchi holatda quyi darajadagi LCS traktlarning ulanishini nazorati funksiyasida foydalaniladi.

Nihoyat 6.34-rasmda, turli darajadagi oqimlarning krossli ulanishini ta'minlaydigan AOP konfiguratsiyasi ko'rsatilgan. Bu konfiguratsiyasiga AOP turidagi 4/3/1 muvofiq, va u yana qo'shimcha AOP 4/1 turiga E3 oqimlari uchun portiga ega, o'tqazishni esa VC-4, VC-3 i VC-1 darajada o'tkazish mumkin. Predstavlenie konteynerov k NRS funksiyasidagi VC-3/4 konteynerlarni ta'minlash esa, STM-N signallari uchun TTF va HOI yordamida va kirish yo'li oqimlari uchun muvofiq tarzda ta'minlanadi. NRS yuqori darajadagi traktlarning ulanish funksiyalaridan LPC quyi darajadagi traktlarning ulanish funksiyalari konteynerlarning taqdim etilishi NOA konteynerlarning yig'ishi funksiyasi yordamida amalga oshadi. LPC funksiyali quyi darajadagi konteynerlarni taqdimoti, LOI quyi darajadagi trakt interfeysini funksiyasini bloklash yordamida amalga oshadi. AOP konfiguratsiyalidagiga o'xshab, boshqa konfiguratsiyalarda ham, traktlarga ulanish funksiyalarini boshqarish SEMF moslamalarni oshqarish funksiyalarini boshqarish amalga oshiriladi.

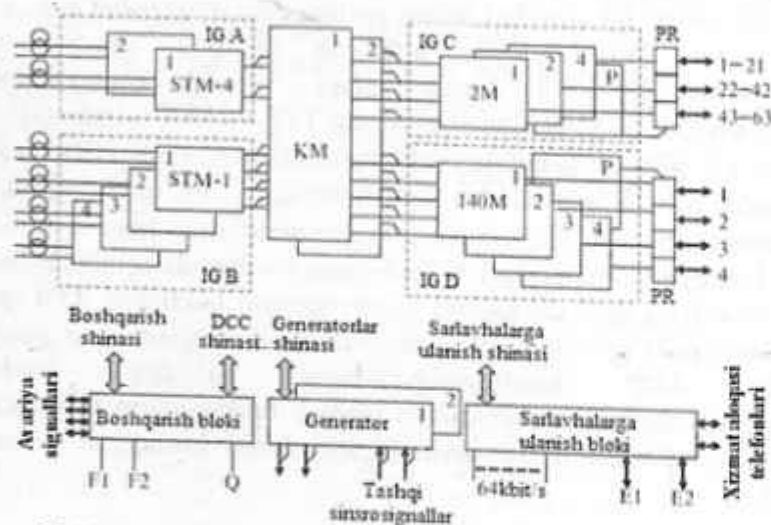
6.3.4. Multipleksorning umumlashgan tuzilish sxemasi

Multipleksorning tuzilmasi birinchi navbatda, uning konfiguratsiyasi bilan aniqlanadi, u o'z navbatida mavjud multipleksor yordamida amalga oshirilgan aniq tarmoqli vazifalarga bog'liq. Bundan tashqari tuzilmali sxema, elementli baza, ishlab chiqarish texnologiyasi va o'ziga xosliklar yordamida aniqlanadi. Tuzilmali sxemani shakllanishidagi multipleksorning konstruksiyasi va ishlab chiqaruvchining an'analari aniq vazifalarni bajaradi.

Aniq vazifalarga muvofiq multipleksorning modulli konstruksiyalari eng keng tarqatilgan, ular aniq masalalar ga muvofiq multipleksor konfiguratsiyalariga o'zgartiruvchi almashinuvchi modullarini o'zgartirishga imkon beruvchi to'plam

yordamida, va asosiysi, tarmoqni rivojlantirish imkoniyatiga qarab o'tirishdir. Ko'rinarli yutuqlarga ega bo'lgan modulli multipleksorlar nisbatan qimmatdir, shuning uchun, hozirda «mini» multipleksorlar keng tarqalishiga e'tiborni qaratishi kerak. Oxirgilari o'zgarmas konfiguratsiyaga va minimum funksiyalarga ega, masalan ulardan traktlarni ulanish funksiyasi olib tashlanadi (kross-konneksii), rezervlash imkoniyati kamayadi va bosh.

STM-4 (6.35-rasm) sinxronli transport modulini shakllantiruvchi modulli multipleksor misolida multipleksorning umumiy tuzilmali sxemasini ko'rib chiqamiz.



6.35-rasm. Modulli konstruktsiya sinxron multipleksor umumlashtirilgan tuzilmaviy sxemasi

Sxema markazida KM1 va KM2 kommutatsion modullari joylashgan. Ularning birinchisi asosiy, ikkinchisi— 100% li «qaynoq» rezerv hisoblanadi. Bu modul yuqori va quyi darajadagi NRS-n va LPC-m traktlarni ulanish funksiyasini amalga oshiradi. KM moduliga signallar VC-4 virtual konteynerlar shaklida kiradi, kommutatsiyaning vaqtinchalik signallari VC-12, VC-3 va VC-4 darajalarda amalga oshiriladi va uzatishning modal yo'nalishlarida va kirish yo'li oqimlari orasida taqsimlanadi.

To'rtinchi darajali multipleksorning KM ekvivalentlarining imkoniyatlarida ko'pincha 24 oqimida STM-1 ($63 \times 24 = 1512$ E1 oqim). Modomiki KM eng murakkab bloklardan biri bo'lgani uchun, imkoniyati bo'lsa u soddaroq blokka almashtiriladi shunday qilib regeneratorning konfiguratsiyasida, KM o'rniga blok qo'yiladi. Bu blok ikki chiziqli bloklar orasidagi sodda ulanishni ta'minlaydi.

Oxirgi konfiguratsiyali (terminalli) KM multipleksor, ularning komutatsiyasiga kirish yo'lida signallarga kirish yo'li va magistral signallarni ulanishini ta'minlovchi - eng soddasiga almashtirilishi mumkin. Lekin KM, bundan tashqari, traktlar va seksiyalar himoya funksiyalarini bajaradi va shuning uchun bunday almashish har doim ham rasional hisoblanmaydi.

Kommutatsiya modulyariga to'rt (IG) A, V, S va D interfeysli tutashadi. Ko'pincha ulardan iktasi (A va V) sinxron oqimli interfeys bloklarida jamlanadi, qolgan iktasi (S va D) kirish yo'lining interfeysli bloklarini ulash uchun xizmat qiladi. 6.35-rasmda ko'rsatilgandek, A gruppasi ikki STM-4) interfeysli blokni o'z ichiga olishi ko'rsatilgan, V gruppasi — juftlarni qo'shgan (biri asosiysi, boshqasi rezervli, 1+1 rezervli turi) STM-1 bloklarni interfeysli to'rt optik (yoki elektrik), S gruppasi — E1 oqimidagi to'rt interfeysli blokda, D gruppasi — E4 oqimlarning besh bloklari. E1 oqimlarining har bir interfeysli bloki kirish kanallarini yoqish uchun 21 portiga ega; bu bloklar rezervli munosabatda 1:3 (bitta rezervli uchta ishlayotgan). Qaysidir ishlovchi bloklarning rad etishida muvofiq kirish kanallari PR rezerviga o'tish platasi yordamida zgaradi. Shunga o'xshab har bir to'rt kanaldan E4 kanaliga kirish rezervli blokka o'zgarishi mumkin (rezerv 1:4).

STM-4 interfeysli bloklarni uzatishda signallarning quyidagi o'zgarishlari kuzatiladi:

Nagruzkali bloklarning o'zgarishi natijasida olingan yoki KM dan kiruvchi AU-4 to'rt blokiga, MSH va RSH seksion sarlovhalar qo'shiladi (STM-1 to'rt signali yuzaga keladi);

STM-1 to'rt signali STM-4 signaliga multiplekslashadi;

STM-4 elektrik signali skremblashadi, optik signalga aylanib,

STM-4 blokning chiqish raz'emiga kiradi.

Qabulda:

- STM-4 optik signali elektr signaliga aylanadi va deskremblashadi;

- STM-4 signali to'rt STM-1 signaliga demultipleksirlashadi;
- RSOH va MSOH olib tashlanadi, obrabatyvaetsya ukazatel PTR AU ko'rsatkichi qayta ishlanadi;
- AU-4 signallari KMga uzatiladi yoki VC-4 signaliga o'zgaradi;
- VC-4 iz signalidan TU-12 va TU-3 signalari ajratib olinadi va KMga uzatiladi.

STM-1 interfeysli bloklarda mos ravishda STM-1 signallari qayta ishlanadi.

Interfeysli blokda E4 oqimining signallari uzatishda CMI kodidan NRZ kodiga o'zgaradi, ularga qayd etilgan vstavka bitlari va POH traktli sarlovha qo'shiladi. Shunday qilib, E4 oqim signallari (yoki kirish yo'li oqimlari) VC-4 signallariga o'zgaradi. Keyingi o'zgarishlar STM-1 blokida o'zgarishlarga o'xshash. Qabul qilishda teskari o'zgarishlar amalga oshiriladi.

Oqimning E1 interfeysli bloki (kirish yo'lining oqimi 2 Mbit/s — 2048 kbit/s) uzatishda E1 kiruvchi oqimida 21ga o'zgartirib, HDB-3 kodini NRZga o'zgartiradi. Undan so'ng, kiritish turiga muvofiq (asinxron, bitsinxron yoki boshqacha) VC-12 konteynerli 21 oqim tashkil topadi, TUG-2 va TUG-3 ning bir bloki nagruzkali blok guruxlarining yetti signaliga ketma-ket o'zgaradi (5.1 ga qarang). TUG-3 signali KM ga uzatiladi. Qabulda qayta o'zgarishlar amalga oshiriladi.

Multipleksorning (6.35-rasmga qarang) tarkibiy sxemasini quyi qismida yana uch blok ko'rsatilgan: boshqaruv (SEMF funksiyali — sinxron moslamani boshqaruvi va MCF — xabarlar almashi), generator (SETS funksiyali — sinxron moslamali taktli signalli man'ba va SETPI — sinxron moslamani signal traktovkasining fizikaviy interfeysi) va sarlovhalarga kirish (ONA funksiyali — sarlovhalarga kirish).

Boshqaruv bloki (tizim kontrolleri) moslama yordamida boshqaruvni amalga oshiradi. Boshqaruv vazifalari keyinroq ko'rib chiqamiz, bu yerda esa blokning asosiy funksiyalarini sanab o'tamiz.

Qo'yilayotgan bloklar va boshqaruv bloklari orasidagi aloqa, holatini nazorat va moslamani funksionlashning sifati va avariya holatidagi indikasiya signallarini shakllantirishdan iborat. Olingan ma'lumotlar muxarrirlik va analiz qilinadi. Avariya signallar aktivlashadi yoki qabul qilinmaydi va F interfeyslariga uzatiladi (ish

terminali bilan bog'liq), Q (boshqaruv tarmog'i bilan aloqa) yoki stansiyaning avariya tizimiga.

Joylashtirilgan har bir blokning yuklamasi.

Zahira bloki o'zgartirishni boshqarish.

Moslamani boshqaruvida ma'lumotlar bazasini kiritilishi.

F va Q boshqaruv interfeyslarini qo'llab-quvvatlash.

Avariya signallarni qabul qilish, xonalarning holati va ularni boshqaruv interfeysiga uzatish.

Sarlavhaning ba'zi baytlariga ishlov berish, masalan D baytlariga (shina DCC — Data Communication Channel: ma'lumotlarni uzatish kanali).

Generatorning bloklari, barcha multipleksor bloklarini muvofiq taktli signallari bilan ta'minlaydi. Blok turli tartibda ishlashi mumkin: majburiy (tashqi) sinxronizatsiyada, avtonomli rejimda va tutib qolish rejimida. Bu savollar haqida to'liqroq 6-bo'limda ko'rib chiqilgan.

Sarlavhaga kirish bloki ba'zi seksion baytlarga va traktli sarlovhalarga amalga oshiriladi (6.1-qarang) va xizmat aloqasining interfeysini ta'minlaydi. Bu bloklar yordamida ba'zi multipleksorlarda rezervli baytlarga kirish yo'li mavjud, va bundan tashqari seksiyali D baytlariga ham. Ko'rpicha bu blokda bir turdagi baytlar sarlovhalarning SOH turli yo'nalishidagi sinxron modullar bo'lishi mumkin.

Yuqorida sanab o'tilgan bloklardan tashqari, sinxronli multipleksor 1+1 sxemasi bo'yicha rezervlashgan elektr ozuqasining man'basining ikkilamchi bloklarini o'z ichiga oladi.

Nazorat savollari

1. Qanday ierarxiya turlarini bilasiz va ularning bir-biridan farqi nimada?
2. Nima sababli hozirgi kunda telekommunikatsiya tarmoqlarida SDH tizimlari keng tarqalgan?
3. SDH qanday afzalliklari va xususiyatlarini bilasiz?
4. Sinxron raqamli ierarxiyaning qanday uzatish tizimlarini bilasiz, ularning bir-biridan farqi nimada?
5. SDH da raqamli liniya signallari qanday shakllanadi?
6. E1 triblaridan STM-1 satxiga o'tish jarayonini tushuntiring
7. STM-1 sikli qanday tuzilgan?

8. STM-1 sarlavxasi qanday tuzilgan, unda qanday axborotlarni uzatish mumkin?

9. STM-Nning shakllanishini tushuntiring.

10. Sinxron raqamli tarmoqlarning qanday qurilmalarini bilasiz?

11. Terminal multipleksorlarning vazifasi nimadan iborat?

12. Kirish/chiqishli multipleksorlarning vazifasi nimadan iborat?

13. Sinxron raqamli ierarxiya regeneratsiyalarining vazifasi nimadan iborat?

14. Sinxron raqamli ierarxiya kommutatsiyalarining vazifasi nimadan iborat?

15. Sinxron raqamli ierarxiya konsentratrlarining vazifasi nimadan iborat?

16. Sinxron raqamli ierarxiyaning qanday bazaviy topologiyalarini bilasiz?

17. Nuqta - nuqta topologiyasi qanday tashkil qilinadi? Uning afzalliklari va kamchiliklari haqida ma'lumot bering

18. Ketma-ket liniya zanjiri topologiyasi qanday tuzilgan? Uning afzalliklari va kamchiliklari haqida ma'lumot bering

19. Xalqa topologiyasi qanday tashkil qilinadi? Uning afzalliklari va kamchiliklari haqida ma'lumot bering

20. Yacheykali topologiya qachon qo'llash mumkin? Uning afzalliklari va kamchiliklari haqida ma'lumot bering

21. Sinxron raqamli tarmoqlarda qaysi topologiyani qo'llagan yaxshi? Nima uchun?

TO'LQIN UZUNLIGI BO'YICHA AJRATILGAN TOLALI OPTIK UZATISH TIZIMLARI

7.1. To'lqin uzunligi bo'yicha ajratish texnologiyasi

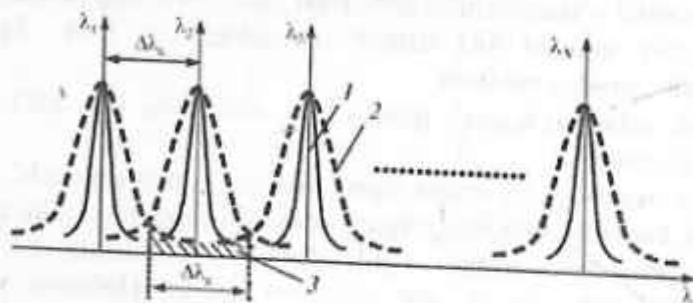
Har yili internet-trafikning ikkiga ko'payishi sababli va yangi axborotli xizmat turlarining paydo bo'lgani uchun aloqa operatorlari oldida ekspluatatsiyada uzuluksiz tarmoqning o'tkazish qobiliyatini oshirish strategik muammosi va funksiyalashning erishilgan darajasining kamayishi kutiladi.

Ma'lumki, uzatishning yuqori tezlanishidagi bir to'lqinli tolali - optik o'tkazish qobiliyati, tez harakatlanadigan elektpon moslamalar va tolaning xromotik va yoki polyarizatsion dispersiyasini kompensatsiyalash muammosi bilan chegaralanadi. Xromatik dispersiyani ta'siri uchun 2,5 Gbit/s (STM-16 sathi) dan 10 Gbit/s (STM-64 sathi) gacha tezlikni oshirishda regeneratsiya maydonining imkoniyatli cho'zilishi maksimali 16 martaga kamayadi. Bu muammoning yechimi OT past dispersion turlarini yaratish yo'llari bilan qisman yechiladi va ularning ishlab-chiqarish texnologiyalarini takomillashtirish, bir modali tashuvchining tashqi optik modulyatsiyasini va yarim o'tkazgichli sozdaniya. Shu vaqtni optik tolani potensial o'tkazuvchilik qobiliyati 100 Tbit/s teng bo'ladi (100×10^{12} bit/s), mavjud SRI tizimli texnologiyalar 1 % kamroq mavjudligini amalga oshiradi.

Optik tolani o'tkazish qobiliyatini oshirilishi ikki yo'l bilan amalga oshiriladi:

1) Ekstensivli, o'z ichiga "qora tolalarni" deb ataluvchi, ya'ni OT texnik kabelda ishlatilmaydigan, muvofiq uzatish tizimini ularga ulash orqali, yoki yangi optik kabel yotqizilishi; bu yo'l imkoniyatlari juda chegaralangandir, va har bir ekstensiv yo'lga o'xshab, u iqtisodiy tomondan istiqbolli emasdir; 2) intensiv, unda OTning o'tkazuvchilik qobiliyati, muvofiq OT shaffovlik darchalarida turli to'lqinlar uzunligida tashkillashtiriladigan optik kanallarning miqdori oshishi sababli erishiladi.

2) Ikkinchi yo'l o'zi bilan uzatish tizimlarining qurilishi, aniq bo'lgan kanallarni chastotali bo'linishi tamoyili bilan tuzilishini aks ettiradi (CHBA), bunda, aloqa liniyasi bo'yicha ko'p kanalli signalni uzatishni chastotali spektorda turli kanallarni qo'llaydi, o'z-o'zini qoplamaydigan chastota chiziqlari orasidagilar olib boriladi. Eslatib o'tish joizki, bir kanalga ajratiladigan kanallari uchun tovush chastotasi 4 kGs ga teng. Bu tamoyil elektr magnit to'lqinlar radio diapazonida ishlovchi, analogli uzatishning ko'p kanalli tizimida qo'llaniladi. Ma'lumki, uni optik diapazonga ham ishlatish mumkin, bunda optik spektrni spektral polosalarga ajratib, ularni ma'lumotni olib o'tish uchun to'lqin uzunligi orasida farqlanadi. To'lqin uzunligi bo'yicha ajratish tamoyilli uzatishning N-kanalli tizimi uchun 7.1-rasmda ko'rsatilgan. Har bir kanalga $\Delta\lambda_k$ spektr kengligidagi spektral maydon ajratiladi, va unda ma'lumot modullashgan optik olib yuruvchi yordamida o'tkaziladi. $\Delta\lambda_k$ o'lchami ikki qo'shni kanallari olib yuruvchilarning spektral masofasiga tengdir. Ma'lumki, olib yuruvchilarning tarqatuvchi spektrining kengligi $\Delta\lambda_k$ (rasmda olib yuruvchilarning shunday spektrlari butun chiziqlar bo'lib ko'rsatilgan-1) oshirilishi kerak emas, qarama-qarshi holatda esa (spektrlar punktir chiziqlar shaklida — 2) kanallar orasida quvvatli o'tuvchi pomexlar yuzaga kelishi mumkin (shtrixlangan soha — 3).



7.1-rasm. To'lqin uzunligi bo'yicha ajratish prinsipi

Har bir kanaldagi optik olib yuruvchilar, optik nur tarqatishning mustaqil man'balari bilan genirirlashadi va turli texnologiyalarning raqamli signallari bilan modullashtiriladi (ATM, SRI, IP va bosh.).

o'zaro sinxronizasiyani talab qilmaydi. Demak, bunda yuzaga keladigan optik kanallar "shaffof" bo'lib hisoblanadi va turli ma'lumotni tashish uchun foydalanilishi mumkin. Shuni belgilab o'tish kerakki, ma'lum kanalga xos to'lqin uzunligi diapazonida optik signalni uzatishni ta'minlab beradigan optik kanal deganda texnik vositalar jamlamasi va tarqatish muhiti tushuniladi.

Axborotni uzatish va ishlov berish tizimlari uchun to'lqin uzunligi bo'yicha ajratish fizik-texnik jihatlari (shuningdek, quyidagi atamalar ishlatiladi: spektral zichlash, spektral multiplekslash, optik kanallar to'lqini uzunligi bo'yicha multiplekslash, to'lqinlar uzunligi bo'yicha ajratish bilan multiplekslash texnologiyasi, Wavelength Division Multiplexing — WDM) 1970-1980 yillarda ishlab chiqilgan edi. O'tgan asrning 80-yillar oxiri, 90-yillar boshida aloqa tarmoqlarda amaliy qo'llash uchun yaroqli WDM texnologiyalarga ega tizimlar yoki to'lqin uzunligi bo'yicha ajratilgan tolali optik uzatish tizimlar (TUBA TOUT) paydo bo'lgan. WDM texnologiyasini birinchi amalga oshirishlar 850 va 1310 nm va/yoki 1310 va 1550 nm uzunlikdagi to'lqinli ikkita optik kanaldagi tizimlardan iborat edi. Shaffoflikning uchinchi oynasini (1550 nm) o'zlatirish jarayonida dastlab kanallar o'rtasidagi to'rt kanalli uzatish tizimlari $\Delta\lambda_k = 8...10$ nm, keyinchalik SRI signallar har bir kanal bo'yicha tezligi 2,5 Gbit/s va ular orasida $\Delta\lambda_k = 1,6$ nm va kamroq bo'lgan spektral intervali bo'lgan 8-16 kanallarga yuqori tezlikka ega tizimlar paydo bo'lishgan. Bunday tizimlarni texnik amalga oshirish shu vaqtda ko'p kannali (ko'p to'lqinli) signalni bir vaqtning o'zida kuchaytirish, shu bilan uni retranslyasiyasini imkonini beruvchi keng polosali optik kuchaytirgichlar (EDFA) yaratilishi tufayli imkoniyat paydo bo'ldi. Eslatib o'tamiz, raqamli signalning to'liq regeneratsiyasi amplituda, shakl va vaqt mutanosibliklarning tiklanishini bildiradi. Shuning uchun texnik adabiyotda uni ko'pincha 3R deb belgilashgan: 1R (amplification — reshaping) — amplituda tiklanishi; 2R — amplituda va shakl tiklanishi (reshaping — reforming) hamda 3R — raqamli signalning amplitudasi, shakli va vaqt mutanosiblikning tiklanishi (reshaping — reforming — retiming).

WDM texnologiyasi mavjud uzatish tizimlarida ITU-T tavsiyalariga muvofiq 7.1-jadvalda keltirilgan diapazonlar ishlatilishi mumkin.

7.1-jadval
WDM texnologiyasiga ega uzatish tizimlar diapazonlari

Diapazon	Nomlanishi	Spektr, nm
O-diapazon	Asosiy (O - Original)	1260 ... 1360
Ye-diapazon	Kengaytirilgan (Ye - Extended)	1360 ... 1460
S-diapazon	Qisqa to'liq (S - Short wavelength)	1460 ... 1530
C-diapazon	Standart (C - Conventional)	1530 ... 1565
L-diapazon	Uzun to'liq (L - Long wavelength)	1565 ... 1625
U-diapazon	O'ta uzun to'liq (U - Ultra-long wavelength)	1625 ... 1675

Umumiy holatda ushbu jadvalning barcha oltita diapazonlarini qamrab oluvchi spektr kengligi 415 nm tashkil qiladi. Buni chastotaga qayta hisoblanganda taxminan 60 TGs tashkil qiluvchi polosani beradi, hamda, demak TUBA TOUTning potentsial o'tkazish qobiliyati 60 Tbit/s tashkil qilishi mumkin. Hozirgi vaqtda WDM texnologiyasi bitta OTda 100 optik kanallar tashkil qilish imkonini berib, tashuvchi optik kanallarning bir-biridan tarqoq bo'lishi bor-yo'g'i nanometr qismlari bo'ladi.

Bunday texnologiya zich to'liqni multiplekslash (Dense WDM — DWDM) deb ataladi. U OT bo'yicha uzatish umumiy tezligi 1 Tbit/s dan yuqori bo'lishiga imkon beradi, bu esa bir to'liqni tizimlarda erishish deyarli umuman iloji yo'q. Shu bilan birga nohiziqli effektlar bilan bog'liq bir qator muammolar xosdir, ular ichidan bir qanchasini ko'rsatish mumkin: to'rt to'liqni aralashish; majburiy kombinasion (ramanov) tarqalish va fazali kross-modulyasiya. Ikki birinchi nohiziqli effektlar quyida ko'rib chiqilgan. Hozircha esa qisqa izohlar beramiz.

To'rt to'liqni siljish (TTS, Four-Wave Mixing — FWM) yangi spektral tarkibiy qismlarning paydo bo'lishiga olib keladi. Ko'p kanalli signal quvvati chegaraviy sathiga (optik kanallar signal quvvatlar yig'indisiga) yetkanida OT nohiziqligi $\omega_i, \omega_j, \omega_k$ chastotalari bilan uch to'liqlarning o'zaro munosabatda bo'lishiga olib keladi. Natijada esa $\omega_i \pm \omega_j \pm \omega_k$ yoki $2\omega_i \pm \omega_j$ chastotalarda to'rtinchi to'liq, ya'ni 3 tartib nohiziqli kombinasion mahsulotlar, paydo bo'ladi. Ushbu mahsulotlardan ayrimlari optik kanallar ishchi polosalariga kirishi va TTS li klassik UT da kabi kelib chiqishi

nohiziqli bo'lgan xalaqitlarga olib kelishi mumkin. Nohiziqlikning bunday mahsulotlarning soni:

$$N = N^2(N - 1)/2.$$

Bu erda N — optik kanallarning soni. Masalan, WDM 16 kanalli tizimida 1920 kombinasion mahsulotlar paydo bo'ladi.

TTS salbiy oqibatlar kanallar soni va optik signal quvvatining oshishi va spektral kanallarning o'rtasida chastotali intervalning qisqarishi bilan ko'payib boradi. TTS harakatini foydalanilayotgan spektr doirasida noli dispersiyali OT qo'llayotgan tizimlarda hisobga olish zarur. Yuqori samaradorlikka ega maydonli va nol bo'lmagan dispersiyali OT bu ahamiyatli emas. Spektral kanalda uzatish tezligining oshishi ham TTS salbiy oqibatlariga deyarli ta'sir o'tkazmaydi.

Majburiy kombinasion (ramanov) tarqalishi (MKT, Stimulated Raman Scattering — SRS) to'liqni uzunligi qisqaroq bo'lgan signaldan to'liqni uzunligi kattaroq signalga energiyani o'tkazishda ifodalanadi. MKT ga sabab OTning kvars tebranuvchi molekullari (fononlar) bilan optik nurlanishning o'zaro ta'siri hisoblanib, unda energiya bir to'liqdan boshqasiga o'tkaziladigan tarqalishiga olib keladi. Jarayon samaradorligi nurlanish quvvatining o'sishi bilan oshib boradi, chastotalarning turililigi bog'liq va turililik 13,2 TGs bo'lganda maksimal qiymatga yetadi.

MKT kanallar orasida kesma (o'zaro ta'sirlashuvchi) xalaqitlarga olib keladi, bu esa DWDM-tizimning spektral diapazonida quvvatni notekis taqsimlanishga sabab bo'ladi: intervalning bir uchida (uzun to'liqlar sohasida) signallar me'yordan ortiq kuchayadi, boshqa uchida esa (qisqa to'liqlar sohasida) — "susayib" boradi.

Fazali kross-modulyasiya (FKM, Cross-Phase Modulation — CPM) bir kanalning siganli faza bo'yicha qo'shni kanallarda signallarni modulyasiya qilishida ifodalanadi. FKM jarayonining fizikasi quyidagidan iborat: sinish ko'rsatkichi signalning intensivligiga bog'liq (Kerr effekti) bitta OT bo'yicha tulli kanallarning optik signallarning tarqalishida qo'shni kanallarda vaqtga bog'liq fazali siljishlar paydo bo'ladi. Ushbu fazali siljishlar impulslarning kengayishi yoki boshqa buzilishlarga olib keluvchi

chastotali siljishlarga tengdir. Lazer nurlanishning o'ta yuqori intensivligida signal o'z fazasini modulyasiya qilish mumkin, ya'ni fazali avtomodulyasiya (Self Phase Modulation — SPM) kuzatiladi. Bunday modulyasiya signalning spektrini kengaytiradi va signalni vaqt bo'yicha xromatik dispersiya belgisiga (musbat yoki manfiy) ko'ra kengaytiradi yoki siqadi. DWDM tizimining to'liq diapazon orqa qismida xvoste to'liqlar qisqaroq uzunliklarga, old qismida esa uzun to'liqlar sohasiga siljish paydo bo'ladi, bu esa ko'shni signallarning interferensiyasiga olib kelishi mumkin.

WDM texnologiyasi paydo bo'lishigacha asosiy transport texnologiyalarning o'zaro ishlash modeli 7.2,a-rasmda keltirilgan. Undan ko'rinib turibdiki, yuqori pog'ona (misol uchun, ATM, IP) trafisini OT bo'yicha uzatish uchun uni SDH transport modullarga joylashtirish kerak edi. WDM texnologiyasining paydo bo'lishi bilan o'zaro ishlash modeli 7.2,b-rasmda keltirilgan shaklga ega bo'ldi. WDM sathi fizik daraja orqali signalni barcha transport texnologiyalar uchun ularni SDH tegishli axborot tuzilmalariga joylashtirishdan optik muhitga kiritish imkonini beruvchi o'zining fizik interfeysini ta'minlaydi.

ATM	IP
Fizik sath	
Uzatishning optik muhiti	

a)

ATM	IP	ATM	IP
		SDH	
WDM			
Fizik sath			
Uzatishning optik muhiti			

b)

7.2-rasm. Transport texnologiyalarning o'zaro ishlash modeli

Ta'kidlash joizki, WDM texnologiyasi turli texnologiyalar (PDH, SDH, ATM, IP, Ethernet va h.k.) raqamli signallarini shakllantirish va kodlash usullariga hech qanday bog'lanmagan (indifferent). SRI texnologiyasidan farqli ravishda TUBA TOUT signallarni konteynerlarga joylashtirilmaydi va tegishli fizik interfeyslar orqali optik kanallar bo'yicha uzatiladigan sinxron transport modullarni shakllantirish algoritmlariga ko'ra ishlov berilmaydi. Shuning uchun tizimga nafaqat sinxron raqamli ierarxiya

darajalariga mos oqimlar, balki boshqa har qanday oqimlar kiritilishi mumkin.

Multiplekslanadigan signallarga nisbatan shaffoflik TUBA TOUTning ajoyib xususiyatlaridan biri hisoblanadi. Bundan tashqari, WDM texnologiyasiga optik signallarni elektr signallarga va aksincha o'zgartirmaslikka imkon beruvchi faqatgina signallarga ishlov berish optik usullarini qo'llash barqaror tendensiya xosdir. Ushbu jarayon aloqa tarmoqlarning fotonizatsiyasi nomini oldi. Shunday qilib, ushbu texnologiya yaqin kelajakda butunlay optik transport tarmoqlarni (OTT) qurish uchun asos hisoblanadi.

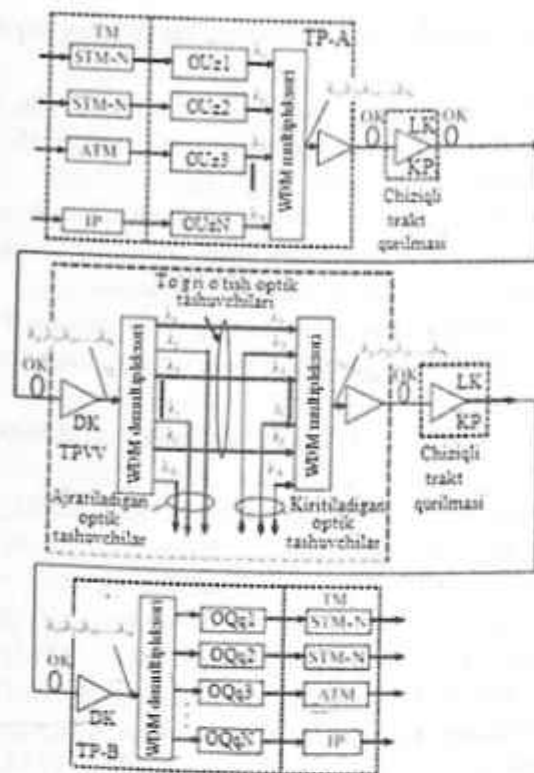
7.2. TUBA TOUTning funksional sxemasi

To'liq uzunligi bo'yicha ajratish bilan uzatish optik tolali tizimining umumiy funksional sxemasi 7.3-rasmda keltirilgan. Qulaylik uchun uzatishning bir yo'nalishi va turli texnologiyalari komponentli signallarning kirish va chiqish keltirilgan. Terminall asbob-uskunalar (terminal multipleksorlar - TM) ATM, IP va boshqalarning komponent signallari oxirgi punktda (OP-A) TUBA TOUT asbob-uskunalariga turli usullarda kiritilishi mumkin:

- 1) tegishli daraja sinxron transport moduli (STM-N) orqali;
- 2) kirish signallarni WDM texnologiyasi uchun ITU-T tomonidan standartlashtirilgan to'liq uzunliklarga o'zgartiruvchi optik uzatgichga (peredatchik) (OPer) bevosita uzatish (huddi rasmda tasvirlangandek).

Optik uzatgichlar quyidagi shaklda amalga oshirilishi mumkin:

- WDM-transponder (transmitter + responder) shaklida bo'lib, kiruvchi optik signalni, misol uchun SDH formatdagi signalni WDM texnologiyasi formatidagi optik signalga o'zgartiradi, ya'ni ushbu texnologiyasi tomonidan me'yorlanadigan parametrlar (to'liq uzunligi, uning og'ishiga ruhsat etilgan myeyor, spektr kengligi va h.k.) signalga o'zgartiradi;
- to'liq konvertor shaklida bo'lib, optik signalning to'liq uzunligini ITU-T standartiga mos λ_j uzunligiga o'zgartiradi.



7.3-rasm. TUBA TOUTning umumlashtirilgan funksional sxemasi

Transponderda optik signalni elektr shaklga o'zgartirish amalga oshirilib, keyinchalik uning regeneratsiyasi (2R yoki 3R) va elektr signal optik signalga qayta o'zgartiriladi. Shubhasiz, 3R rejimida transponder kirish signali bilan moslashishi kerak. Ba'zan transponderni transiver deb atashadi. Transponderda to'liqli konvertordan farqli ravishda optik signalning elektr shaklga va aksincha o'zgarish amalga oshirilmaydi. Agar WDM-tizimi ichida bir xil WDM-qurilmalarning chastotalari boshqalarning chastotasi bilan mos kelmasa, lekin barcha ushbu chastotalar ITU-T standartdagi to'liqlar uzunligi setkasiga kirishsa, u holda mazkur qurilmalarning ishlashini moslashtirish uchun to'liqli konvertorlar ishlatiladi.

Modulyasiya qilingan optik $\lambda_1, \lambda_2, \lambda_3, \dots, \lambda_N$ tashuvchilari WDM multipleksori yordamida uzatkichlar chiqishi bilan makon jihatdan yagona agregatli optik signalga birlashadi (multiplekslashadi), ushbu signal kuchli optik kuchaytirgich (KK) yordamida kuchaytirilgandan keyin optik tolali kabelga (OK) uzatiladi.

Ma'lum masofalar orasida (odatda 60 ... 120 km) faqatgina bitta funksiyasini – 1R bajaradigan optik chiziqli kuchaytirgichlar (CHK) o'rnatiladi. Ta'kidlash joizki, chiziqli optik kuchaytirgichni qo'llashsiz TUBA TOUTdan telekommunikasion tarmoqlarda foydalanish iqtisodiy jihatdan maqsadga javob bermasdi. Bu holat 3R funksiyasini retranslyasiya punktlarida bajarish ko'p to'liqli signalni alohida qismlarga dastlabki ajratish, keyin esa ularning agregat oqimiga multiplekslash regeneratsiyasini talab qiladi, bu esa liniya trakti asbob-uskunalarini juda murakkab va qimmat bo'lishiga olib keladi. Agregatli optik signalni qabul qilish uskunasi oldin dastlabki kuchaytirgich (DK) albatta o'rnatiladi, ushbu kuchaytirgich fotoqabul qilgich kirishida optik signalning kerakli sathini ta'minlaydi. Chiziqli va dastlabki kuchaytirgichlar optik tolaning dispersiyasini qoplashga imkon beruvchi tez sozlanadigan dispersiya kompensatorlari bilan odatda ta'minlanadi.

Qabul qilish oxirgi punktida (OP-B) ko'p to'liqli optik signal $\lambda_1, \lambda_2, \lambda_3, \dots, \lambda_N$ DK tomonidan kuchaytiriladi va WDM demultipleksori bilan signalning tarkibiy qismlariga ajratiladi (demultiplekslanadi). So'ngra ajratilgan signallar optik qabul qilgichlarga (OQq) yetib boradi, ularda esa uzatishdagi o'zgarishlarga tekis o'zgarishlar sodir bo'ladi. Chiziqli optik traktida joylashish bo'yicha quyidagilar ajratiladi:

- oxirgi punktlar (OP), ularda eng murakkab asbob-uskunalar joylashtiriladi;
- kuchaytiruvchi punktlar (KP), ularda optik chiziqli kuchaytirgichlar joylashadi;
- kirish/chiqish optik multipleksorlar (KChOM) joylashgan optik agregat oqimidan komponentli axborot oqimlar kirish/chiqish tranzit punktlari (KChTP).

KP apparaturasi optik kuchaytirgichlardan tashqari dispersiya kompensatorlarni ham o'z ichiga olishi mumkin. KChTP apparaturasi 7.3-rasmda ko'rsatilgandek oxirgi punktlar "yelmama-

yelka" o'rnatilgan asbob-uskunalar shaklida, yoki bir yoki bir necha optik kanallar signallarini ajratish uchun kirish/chiqish optik multipleksorlari shaklida bajarilishi mumkin.

TUBA TOUT ning o'ziga xos jihati ishchi diapazon chegarasidan chiqarilgan optik xizmat kanalining (OXK, Optical Supervisory Channel — OSC) chastotalar mavjudilidir. Bunday kanal (7.3-rasmda ko'rsatilmagan) TUBA TOUT spektrning ishchi polosasi chegarasidan tashqarisida joylashishi kerak bo'lgan qo'shimcha tashuvchida tashkil qilinadi. Ko'pchilik zamonaviy TUBA TOUTda mustaqil optik xizmat kanali 1510 nm to'lqin uzunligida ko'zda tutilgan va 1444 kbit/s uzatish tezligiga ega. Ushbu kanal bo'yicha xizmat aloqaning (har biri 64 kbit/s tezligida) oltita dupleks kanallargacha tizim konfiguratsiyasi bo'yicha ma'lumotlarni uzatish va ogohlantiruvchi signallarni uzatish tashkil qilinadi. Nazorat kanalini uzoq muddatli o'lchovlaridagi xatolar koeffitsienti 10^{-p} qiymatidan oshmaydi. Shu bilan birga tizim parametrlariga texnik talablarida tegishli interfeyslar parametrlari belgilanadi, ammo odatda ular standartlardan farq qilmaydi.

7.3. TUBA TOUT tasnifi va asosiy parametrlari

Hozirgi vaqtga kelib ITU-T tomonidan WDM texnologiyasiga va uni transport tarmoqlarda qo'llashga tegishli bir qator tavsiyalar ishlab chiqilgan (G.692, G.694, G.695 va h.k.). Ushbu tavsiyalar turli ishlab chiqaruvchilar tomonidan ishlab chiqarilgan TUBA TOUT apparaturasini standartlashga va ularning o'zaro moslashishini ta'minlaydi. Mazkur standartlar orasida optik kanallari spektral (chastotali) yoyishning standartizatsiyasi asosiy ahamiyatga ega. U nafaqat tizim komponentlarining o'zaro almashishni ta'minlashga, balki optik kanallar orasida o'zaro ta'sirni minimallashtirishga imkoniyat beradi. Optik kanallarni yoyish bo'yicha hozirgi vaqtda mavjud ITU-T tavsiyalariga muvofiq WDM-tizimlarning ikkita sinfini ajratish mumkin:

- 1) CWDM texnologiyasi (Coarse Wavelength-Division Multiplexing, G.694.2) asosida oddiy spektral multiplekslash;
- 2) DWDM texnologiyasi (Dense Wavelength Division Multiplexing, G.694.1) asosida zich spektral multiplekslash.

CWDM tizimlarida U dan tashqari barcha diapazonlar ishlatiladi (7.1-jadval). Jami ular 1260 nm dan 1625 nm gacha sohani egallab, unda 20 nm qadamga ega 18 kanal joylashgan. Kanallar (tashuvchilar) to'lqinlar markaziy uzunliklarining nominal qiymatlari 7.2-jadvalda keltirilgan.

7.2-jadval

Kanallar to'lqinlari markaziy uzunliklarning nominal qiymatlari

To'lqin uzunligi, nm								
1270	1290	1310	1330	1350	1370	1390	1410	1430
1450	1470	1490	1510	1530	1550	1570	1590	1610

Bunday tizimlarning rasfiltrovkasining katta polosasi optik multipleksorlar/demultipleksorlar yasashini soddalashtiradi va optik tashuvchining yetarli darajada $\pm 6...7$ nm tashkil etuvchi nobarqarorligiga ega sovutilmaydigan lazer diodlardan foydalanishga imkon beradi. Shuning uchun yuqori bo'lmagan kapital harajatlar tufaylimahalliy tarmoqlarda (foydalanish tarmoqlarida) hamda optik kuchaytirgichni qo'llash talab etilmaydigan holatlarda keng qo'llaniladi. Odatda, CWDM tizimlari 16 dan ko'p bo'lmagan optik kanallarga ega.

Zich to'lqin uzunligi bo'yicha multiplekslashning chastotali rejasi 193,1 TGs tayanch chastotasi asosida standart chastotalar to'plamidan iborat. Standart chastotalar chastotali intervali 100, 50, 25 va 12,5 GGz bo'lgan ushbu chastotadan yuqori yoki pastda joylashadi. Eslatib o'tamiz, f chastotasi va λ to'lqin uzunligi $f = c/\lambda$ mutanosiblik bilan bog'langan bo'lib, unda c — yuqori aniqlik bilan va hisob-kitoblarda $c = 2,99792458 \cdot 10^8$ m/s deb olish zarur bo'lgan yorug'lik tezligi.

DWDM chastotali rejaning stekasi quyidagi tenglama asosida shakllanadi

$$F = 193,1 \pm m\Delta f, \text{ TGs}, \quad (7.1)$$

unda m — yahlit son (0 ham kiradi); Δf — chastota intervali. O'z navbatida zich DWDM-tizimlarini quyidagilarga ajratsa bo'ladi:

- oddiy DWDM-tizimlari, ular ko'pi bilan 64 optik kanallar olishni ta'minlovchi va kamida 100 GGz (har bir shaffoflik oynasida taxminan 0,8 nm) bo'lgan chastotali yoyilishga ega;

- yuqori zichli HDWDM-tizimlari, ularning chastotali yoyilishi GGz, (0,4 nm), 25 GGz (0,2 nm) hamda 12,5 GGz (0,1 nm) teng, 500 gacha optik kanallarni multipleklashga imkon berishadi.

Shuningdek, WDM-tizimlari (50 nm dan ortiq to'lqin uzunligi bo'yicha ajratilgan keng polosali multipleklash) mavjud. Ularga bor-yo'g'i ikkita optik kanal olish imkonini beruvchi birinchi avlod TUBA TOUTni ko'rsatish mumkin. Hozirgi vaqtda ular kamadan-kam hollarda qo'llaniladi.

Chastotali rejaning u yoki bu setkasini amalga oshirish ko'p jihatdan OTdagi optik kuchaytirgichlar turiga, STM sathi va nochiziqli effektlarning ta'siriga bog'liq. Kanallarning to'lqinlar uzunligining tegishli diapazonida bir tekis va bir maromda joylashishi mumkin. Shu bilan birga optik kanallarning bir maromda taqsimlanishi optik transponderlar, sozlanadigan lazerlar va boshqa qurilmalar ishini optimallashtirishga hamda optik kanallar sonini keyinchalik oshirish imkoniyatlarini yengillashtirishga yo'lga qo'yadi.

Ikki tomonga va bir tomonga yo'naltirilgan TUBA TOUT larni ajratishadi. Ikki tomonga yo'naltirilgan tizimlarda umumiy holda kanalga ikki optik tashuvchi va tizimga bitta OT qo'llaniladi, ya'ni liniya trakti bir tolali sxema (to'rt o'tkazgichli bir polosali KCHA UT analogi) bo'yicha tuziladi.

TUBA TOUT tasnifi masalasini ko'rib chiqishning yakunida ta'kidlash joziki, ITU-T ning G.692 tavsiyasiga ko'ra WDM texnologiyasi uzatish tizimlarining interfeyslari qo'llash kodining quyidagi markirovkasini qo'llashadi: B-nWx-yz, unda B simvoli tizimning ikki tomonga yo'naltirilganligini (Bidirectional) bildiradi (bir tomonga yo'naltirilgan tizimda yo'q bo'ladi); n to'lqinlar ishchi uzunliklar yoki optik kanallar maksimal sonini ko'rsatadi; W kuchaytiruvchi qism va chegaraviy so'nish turiga ishora qiladi:

- L turdagi kuchaytiruvchi soha va maksimal so'nishi 22 dB dan yuqori emas;

- B turdagi kuchaytiruvchi soha va maksimal so'nishi 33 dB dan yuqori emas;

- U turdagi kuchaytiruvchi soha va maksimal so'nishi 44 dB dan yuqori emas.

x kuchaytiruvchi uchastkalar maksimal sonini bildiradi; agar chiziqli kuchaytirgichlar ishlatilmasa, ushbu simvol yo'q bo'ladi;

y sinxron transport moduli STM-N ($N = 4, 16, 64$) sathini bildiradi;

z esa TUBA TOUT (2 — G.652, 3 — G.653, 5 — G.655) ishlaydigan OT turiga ishora qiladi.

CWDM multipleklash bilan interfeyslar G.695 tavsiyasida belgilangan. CWDM interfeysini qo'llash kodi quyidagi shaklga ega

CnWx-ytz,

unda C — CWDM tegishlilik;

n — optik kanallar soni (4, 8, 12, 16);

W — kuchaytiruvchi sohaning uzunligi (S — qisqa, L — uzun); x — kuchaytiruvchi sohalarning maksimal soni; u — qo'llab-quvvatlangan komponentli optik signallar eng yuqori sinf ko'rsatkichi:

- 0 ko'rsatkichi NRZ 1,25 Mbit/s sinfga ishora qiladi;

- 1 ko'rsatkichi NRZ 2,5 Mbit/s sinfga ishora qiladi;

t — qo'llab-quvvatlanuvchi interfeys tarkibi (A — uzatishda optik quvvat kuchaytirgich va qabul qilishda optik dastlabki kuchaytirgich mavjudligi; V — uzatishda faqatgina optik quvvat kuchaytirgichidan foydalanish; S — optik dastlabki kuchaytirgichdan foydalanish; D — optik kuchaytirgichlarning yo'qligi);

z — optik tola turi (2 — G.652, 3 — G.653, 5 — G.655).

NRZ 1,25 Gbit/s sinf optik komponentli signal chiziqli NRZ kodlash va nominal tezligi 622 Mbit/s dan 1,25 Gbit/s gacha bo'lgan signallarga (nolga qaytishsiz) nisbatan qo'llanishi mumkin. NRZ 2,5 Gbit/s sinf komponentli signali nolga qaytishsiz va nominal tezligi 622 Mbit/s dan 2,67 Gbit/s gacha bo'lgan chiziqli kodlashga ega signallarga nisbatan qo'llanishi mumkin..

Qo'llash kodini kengaytirish uchun qo'shimcha B va S indeksleri qo'llaniladi. U holda quyidagi qo'llash kodi ishlatiladi:

B-CnWx-ytz yoki S-CnWx-ytz,

unda B simvoli bir OTda ikki tomonlama uzatishni, ya'ni ikki tomonga yo'naltirilganligini bildiradi;

S esa TUBA TOUTni namoyish qiladigan "qora yashik" arxitekturasiidan foydalanishgni bildiradi.

TUBA TOUT va uning qurilmalari tomonidan shakllangan optik kanallarning asosiy parametrlari:

- optik tashuvchilar soniga mos optik kanallar soni;
- har bir kanal optik quvvati sathi – soxta ixtiyoriy raqamli signalning o'rtacha quvvatining sathi (ushbu parametrning qiymatlari pastdan va yuqoridan mos ravishda minimal va maksimal darajalar bilan cheklanadi);

- kanalli oraliq (channel spacing) — optik kanallarning markaziy chastotalari o'rtasida farq (KCHA bilan UTga o'xshab rasfiltrovka) yoki markaziy chastotalar (optik tashuvchilar) o'rtasida yoyilish;

- o'tkazish polosasi — chastotalar yoki to'lqinlar uzunliklar diapazon bo'lib, optik kanali signalining optik nurlanish o'rta quvvatining asosiy qismi yoki ma'lum chegaraviy darajadan oshib o'tadigan (odatda -20 dB sathi, ba'zan 3 dB bo'yicha belgilanadi) barcha spektral tarkibiy qismlari doirasida signal kanali bo'yicha uzatiladigan spektr qismi;

- signal-shovqin optik munosabati – dB da ifodalangan optik kanal chastotalar polosasida shovqinning optik nurlanish o'rtacha quvvatiga signal optik nurlanishi o'rtacha quvvatining nisbati;

- o'tkazish polosasida yo'qotishlar taqsimlanish notekisligi – o'tkazish nominal yoki o'lchangan polosada yo'qotiglar minimal va maksimal darajalari o'rtasida farq;

- kanallar bir xilligi — uzatiluvchi quvvat sathining yoyilish yoki multipleksorlar/demultipleksorlarda kanaldan kanalga kiritiladigan xatolar yoyilish sathi.

Asbob-uskunalar eng mashhur ishlab chiqaruvchilarning TUBA TOUT asosiy parametrlari 7.3-jadvalda keltirilgan.

7.3-jadval

TUBA TOUT asosiy parametrlari

TUBA TOUT turi (DWDM yoki CWDM texnologiyalari)	Kanal lar soni	To'lqinlar uzunligi diapazoni, nm	Kanallar orasida masofa, nm yoki GHz	Kanalda uzatish tezligi, Gbit/s, ...dan ko'p emas
Alcatel, Fransiya				
1626 Light Manager	96/ 192	1530... 1570	0,4nm	0,1; 2,5; 10
1696 Metro Span	32	1530... 1560	0,8nm	
1696 Metro Span Compact	8	1530... 1560	0,8nm	
1696 Metro Span Edge	8	1470... 1610	20,0nm	
ECI, Izrail				
XDM (DWDM)	80	1529... 1561	100 GHz	2,5
		1570... 1603	0,8nm	10
XDM (OWDM)	16	1291... 1611	2500 Gz(20 nm)	2,5
Nortel, Kanada				
Common Photonic	36	C	100 GHz	2,5
Layer (CPL) — DWDM	72		50 GHz	10
OPTera Metro 5200	32	DWDM C/L	200 GHz	10
OPTera Metro 5100	8	CWDM	20 nm	2,5
Siemens, Germaniya				
SURPASS 7500	160 gacha	1520... 1610	100; 50 GHz	10
SURPASS 7540	160 gacha	1528,77...1601,47	50 GHz	12,5
SURPASS 7540S	80 gacha	1537,39... 563,86	50 GHz	2,5
FSP 3000 Metro DWDM	64/32	1530,33...1602,31	200 GHz	10

7.3-jadval davomi

SURPASS 7550 (DWDM)	160 80	1528,77...1607,47	50 GHz 100 GHz	10 40
Lusent Technologies, SSHA				
Lambda Xtreme Transport DWDJM-tizimi	160	L	Ma'lumo t yo'q	10
Wave Star OLC 1.6T	160	Ma'lumot yo'q	Ma'lumo t yo'q	10
NTO «IRE-Polyus», Rossiya				
«PUSK» tizimi (DWDM)	8... 160	1530... 1605	200, 50 GHz	10
«PUSK-M» tizimi (DWDM)	12	1548... 1562	100 GHz	10
«Xuavey», Xitoy				
Optix BWS 1600-I	80	C va L	50 GHz	10
Optix BWS 1600-II	80/80	40C/40L	100 GHz	10
Optix BWS 1600-III (IV, V)	40	C va L	100 GHz	2,5

7.4. TUBA TOUT multipleksorlar va demultipleksorlar parametrlari va xususiyatlari

WDM multipleksori uzatishda komponentli signallarni yagona agregartli signalga makon jihatdan birlashtiradi, shuning uchun ko'pincha uni optik multipleksor (OM) deb atashadi, ko'p kanalli (ko'p to'lqinli) signalni tarkibiy qimslarga ajratuvchi WDM demultipleksorni esa optik demultipleksor (OD) deb atashadi.

OM/OD juftligi TUBA TOUT eng asosiy va murakkab elementi hisoblanadi va ko'p sonli optik kanallar bilan (120 ta va undan ko'progacha) ishlashga mo'ljallangan. Ammo optik transport tarmoqlarni yaratishda ko'p kanalli signalda to'lqinlarning ma'lum uzunligida signallarni ajratishga va ularning o'rniga huddi shu to'lqin uzunlikdagi signallarni kiritishga imkon beruvchi qurilmalar zarur

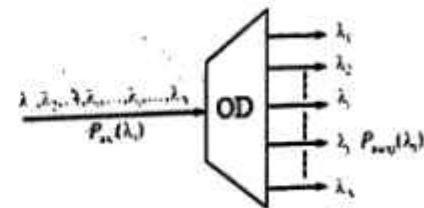
bo'ladi. Barcha qolgan signallar hech qanday o'zgarishlarsiz o'tadi. Bunday qurilmalar kirish/chiqish optik multipleksorlar (Optical Add/Drop Multiplexer — OADM) modullari shaklida bajariladi va kam sonli optik kanallarni kiritish/chiqarishni amalga oshirish uchun mo'ljallangan.

OM/OD bir OT bo'yicha optik signallarni ikki tomonga yo'naltirilgan uzatishni ta'minlovchi chiziqli qurilmadan iborat. OM/OD kirish/chiqish qutblari to'lqinlarning ma'lum uzunliklariga birlashtirilganligi uchun bunday qurilma to'lqinlar uzunliklari bo'yicha passiv marshrutizatsiyasini amalga oshiradi deb hisoblasak bo'ladi.

OM/OD juftligining ishlashi TUBA TOUT ning yuqorida ko'rib chiqilgan xususiyatlari bilan qisman yoki butunlay mos keladigan parametrlari va xususiyatlari bilan belgilanadi.

Optik kanallarning ajratish sifati va ularning o'zaro ta'siri mavjud optik kanallarning maksimal sonida turdosh kanal (yoki izolyasiya) olis uchida o'tishdagi so'nish olis uchida kumulyativ (yoki kesishuvchi) xalaqit bilan belgilanadi.

To'lqinning λ_i uzunligi bilan optik nurlanish quvvatining katta qismi i -optik kanal bo'yicha tarqaladi. Ammo to'lqinning ushbu uzunligida optik nurlanish qismi boshqa optik kanallar chiqishlarida kesishuvchi xalaqit sifatida paydo bo'lishi mumkin, uning zararli ta'sirini oli uchida kesishuvchi so'nish bilan baholasa bo'ladi (7.4-rasm).



7.4.-rasm. Olis uchida kesishuvchi so'nishga ta'rif

Olis uchda kesishuvchi so'nish quyidagi formula bo'yicha aniqlanadi:

$$A_{\text{kes}} = \min_{j \neq i} 10 \lg \frac{P_{\text{kir}i}(\lambda_i)}{P_{\text{chig}j}(\lambda_j)} \quad (7.2)$$

Bu erda $P_{kir i}(\lambda_i)$ – OD kirishida to‘lqin uzunligi λ_i bo‘lgan optik signal quvvati; $P_{chiq j}(\lambda_j)$ – j - optik signal chiqishida ($i \neq j$) to‘lqin uzunligi λ_j bo‘lgan optik signal quvvati. Misol uchun, $A_{uz} = 30$ dB degani har bir ta’sirga duch kelgan kanallarda ta’sir etuvchi kanal to‘lqin uzunligida signal sathi ushbu kanaldagi asosiy signaldan 30 dB pastroq ekan.

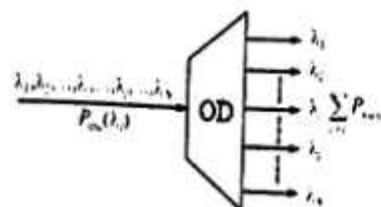
Kumulyativ xalaqitlardan himoyalaniish (7.5-rasm) ushbu signalning asosiy bo‘lmagan kanallariga butun o‘tib ketuvchi quvvat $\sum_{j \neq i} P_{chiq j}(\lambda_j)$ ustida λ_i to‘lqin uzunligidan kirish signal $P_{kir i}(\lambda_i)$ quvvat sathining oshishi sifatida aniqlanadi:

$$A_i = 10 \lg \frac{P_{kir i}(\lambda_i)}{\sum_{j \neq i} P_{chiq j}(\lambda_j)} \quad (7.3)$$

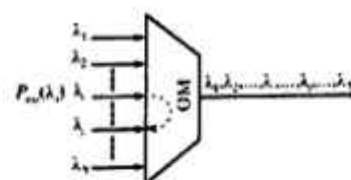
Yaqin uchda kesishuvchi so‘nish A_0 (yoki yo‘naltirish) multipleksorlarda paydo bo‘luvchi ta’sirlani baholaydi va quyidagi nisbat bilan aniqlanadi:

$$A_0 = \min_{j \neq i} 10 \lg \frac{P_{kir i}(\lambda_i)}{P_{kir j}(\lambda_j)} \quad (7.4)$$

unda $P_{kir j}(\lambda_j)$ — OM j -porti kirishida to‘lqin uzunligi λ_j bo‘lgan signal quvvati; $P_{kir i}(\lambda_i)$ — OM i -porti kirishida ($i \neq j$) to‘lqin uzunligi λ_i bo‘lgan signal quvvati (7.6-rasm).



7.5-rasm. Kumulyativ yoki kesishuvchi xalaqitga ta’rif



7.6-rasm. Yaqin uchda kesishuvchi so‘nishga ta’rif

Optik uzatgichdan optik nurlanishni OM ga kiritilganda va OD dan optik priemnikka kiritilishida (7.3-rasmga qarang) quvvatning bir qismi fizik kanal bo‘yicha uzatiladi, qaysidir qismi so‘riladi, qasidir qismi esa aks ettiriladi. Ulanish joylarda optik nurlanish kirish va chiqish nuqtalarida (raz‘emlar, ulagichlar va h.k.) sinish, turli ko‘effisientlariga ega muhitlar chegaralarida paydo bo‘luvchi frenelli aks ettirish mavjud. U bo‘lim ikki chegarasi tomonlarida havo bo‘shlig‘i, sinish ko‘rsatkichlarning mos kelmasligi natijasida hosil bo‘ladi. Shu jarayonda paydo bo‘lgan yo‘qotishlar aks ettirish yo‘qotishlari deb ataladi va aks ettirish ko‘effisienti yoki aks ettirish so‘nishi sifatida baholanadi. Aks ettirilgan optik signal bir qator sabablarga ko‘ra kerak emas:

- u optik signalning optik nurlanish quvvatining umumiy yo‘qotishlariga hissa qo‘shadi;

- TUBA TOUT kuchli lazer uzatgichlari aks ettirilgan yorug‘likka juda ta’sirchandir, bu esa lazer barqarorligi va signal/tizim shovqini nisbatining jiddiy yomonlashuviga olib kelishi mumkin;

- teskari tomonga aks ettirilgan signal takroran aks ettirilishi mumkin, va shu bilan kechikuvchi signal yaratadi, bu esa qabulda ko‘p nurli interferensiyaga olib keladi;

- EDFA asosida optik kuchaytirgich ichida paydo bo‘luvchi aks ettirishlar qo‘shimcha ko‘p nuli interferensiya va kuchaytirgich o‘zining shovqini oshishiga olib kelishi mumkin.

O‘tkazish polosasida maksimumga nisbatan optik signal og‘ishlarini ko‘rsatuvchi amplituda-to‘lqinli xarakteristika (ATX) nobarqarorligi KChBA bilan UT da chastotali buzilishlarga o‘xshash buzilishlarni baholashi hisoblanadi.

OM/OD juftlikning spektral xususiyati hech qachon mukammal to'g'ri taqsimlangan bo'lmaydi. Kirishda yo'qotishlar – kirishda so'nishlarning cho'qqi qiymati o'tkazish polosasida yoki alohida kanalda so'nishni belgilaydi. Kirishdagi so'nish yoyilishi – o'lchangan va nominal o'tkazish polosasida maksimal va minimal so'nish orasidagi farq – ATX ning noteksligi deb ataladi. ATXning hatto kichik bir lokal noteksligi qurilmani ishga yaroqsiz qilib qo'yishi mumkin.

ATXning noteksligi bilan kanallarning har xilligi bog'liq, ya'ni OM/OD juftlikda kanaldan kanalga uzatilayotgan quvvat yoki kirishdagi so'nish sathi.

Optik OM/OD parametrlarining me'yorlashtiriladigan qiymatlari 7.4-jadvalda, kirish/chiqish multipleksorlarning (OADM) parametrlari esa 7.5-jadvalda keltirilgan.

7.4-jadval

Optik OM/OD parametrlarining me'yorlashtiriladigan qiymatlar

Parametr	Optik kanalar soni									
	8		16		40		80		160	
	Spektral kanallar o'rtasida masofa, GGz									
	200	200	100	100	50	50	100	100	50	50
Kanalning markaziy chastotasi og'ishi, GGz, ... dan ko'p emas	±5				±3		±5		±5	
Kiritiladigan so'nish, ... dan ko'p emas, dB	6,0		7,5		12,0		14,0		16,0	
Kanal polosa kengligi, GGz, ... dan ko'p emas, dB darajada:										
-6	50,0				25,0		50,0		5,0	
-20	80,0				40,0		80,0		40,0	
Qutb-bog'liq yo'qotishlar, dB, ... dan ko'p emas	0,5									

7.4-jadval davomi

Olis uchda o'tishdagi so'nish, dB, ... dan ko'p emas	30,0
Mavjud optimal kanallarning maksimal sonida kumulyativ xalaqitlardan himoyalanganlik, dB, ... dan ko'p emas	25,0
Kirish va chiqishda aks ettirishning so'nishi, dB, ... dan ko'p emas	30,0

7.5-jadval

Kirish/chiqish optik multipleksorlar parametrlarining me'yorlashtiriladigan qiymatlari

Parametr	Optik kanallar soni				
	8	16		40	
	Kiritiladigan/chiqariladigan optik kanallar soni, ... dan ko'p emas				
	4	8		16	
	Spektral kanallar orasida masofa, GGz				
	200	200	100	100	50
Spektral kanalining markaziy chastotasi ning og'ishi, ...dan ko'p emas, GGz	±5, 0				±3, 0
Kiritiladigan so'nish, dB, ... dan ko'p emas:	6,0	7,5		8	
Kiritiladigan/chiqariladigan kanallar uchun	12,0	15,0		16	
To'g'ri kirish kanallar uchun					

7.5-jadval davomi

Kanal polosasi kengligi, GGz, ... dan kam emas, dB:		
-3	50,0	25,0
-20	80,0	40,0
Qutbli-bog'liq yo'qotishlar, dB, ... dan ko'p emas	0,5	
Kesishuvchi xalaqitlardan turdosh spektrli kanaldan himoyalanganlik, dB, ... dan kam emas	30	
Mavjud optik kanallar makismal soni uchun kumulyativ xalaqitlardan himoyalanganlik, ... dan kam emas	27,0	
Kirish va chiqishja aks ettirishning so'nishi, dB, dan kam emas	30,0	

TUBA TOUT optik komponentlarning xususiyatlari yorug'lik qutblanishiga bog'liq, bu esa optik nurlanish qutblanishi holatiga ma'lum darajada ta'sirchan bo'lgan kirishdagi so'nish, to'lqin markaziy uzunligi va o'tkazish polosasi o'zgarishlariga sabab bo'ladi.

TUBA TOUT komponentlaridagi qutblanish hodisalari qutblanishga (PDL — Polarization Dependent Loss) bog'liq yo'qotishlarga olib keladi, ushbu yo'qotishlar uzatish polosasida eng past qiymat va kesishuvchi sohada (o'tkazish polosasi chetlarida) yuqori va o'tkazish polosasidan tashqarisida eng yuqori qiymatlarga ega.

7.5. TUBA TOUT da kesishuvchi ta'sirlar

TUBA TOUT kanallarida kesishuvchi ta'sirlarning kelib chiqishi kanallarni chastotalar bo'yicha ajratib uzatish tizimlardagi kesishuvchi ta'sirlarga o'xshashdir. TUBA TOUT da kesishuvchi ta'sirlar va kesishuvchi xalaqitlarning asosiy turlari:

- chiziqli o'tishlar ko'p kanalli optik signalning o'rtacha quvvatida 2,5 g/bit/s dan oshmaydigan tezliklarga va optik kanallari ko'p bo'lmagan soniga nisbatan o'rin egallaydi;

- optik tolada va kuchaytirgichlarda shartlangan nochiziqli o'tishlar yoki nochiziqli xalaqitlar mavjud.

TUBA TOUTda o'tish xalaqitlarining ikki turi farqlanadi: kanallararo va kanal ichidagi.

Kanallararo o'tish xalaqitlari foydali signalning to'ltin uzunligidan sezilarli farqlanadigan xalaqit signali to'ltin uzunligida joylashganda paydo bo'ladi. (misol uchun izolyasiya xalaqitlari) Kanallararo o'tish xalaqitlari nochiziqli xodisalarning natijasi bo'lishi mumkin. (UVS, MKS, FKM, 6.1 da belgilangan). Bundan tashqari, kanallararo o'tish xalaqitlarining manbasi bo'lib optik multipleksorlar va demultipleksorlar bo'lishi mumkin.

Kanal ichidagi o'tish xalaqitlari foydali signal kabi to'liq uzunligida joylashgan bo'lsa yoki unga yaqin bo'lsa o'z o'rniga ega bo'ladi. Yomon holat shunda sodir bo'ladimi, qachon o'tish xalaqiti polarizatsiyasi xolati asosiy signal kabi bo'lsa, shuningdek xalaqit signali asosiy signal bilan sinxroilangan bo'lsa.

Chiziqli o'tishlar xalaqitlarining asosiysi bo'lib xalakitlar izolyatsiyasi yoki olisdagi so'ngida (Far-End Crosstalk — FEXT), kumulyativ xalaqitlar va yo'naltirilganlik xalaqitlari yoki yaqin so'ngidagi o'tish xalaqitlari (Near-End Crosstalk — NEXT). Bu xalaqitlarning bahosi 7.4 b. batafsil berilgan. Chiziqli o'tishning xalaqitlarining o'ziga xos mexanizmi ikki yo'naltirilgan TUBA TOUTda alohida o'rin tutadi. Teskari aks ettirish peredatichikga kuchli signalni yo'naltiradi, u boshqa oxiridan olingan qabul qiluvchining kirishdagi signal quvvatiga nisbatan katta bo'ladi.

Uzatish va qabul qilish traktlarning turli larda joylashgan aks ettirishi doimo nazorat qilinadi, ammo ularni to'liq o'chirishning imkoni yo'q. Shu sababli ikki yo'naltirilgan TUBA TOUT doimo uzatishning turli yo'nalishlari uchun to'ltin uzunligi foyda. Uzatishning yo'nalishi sirkulyatorni optik filtrlarga va tolalga reshetkasiga bo'linadi. Agar TUBA TOUT da uzatishning ikkala yo'nalishi uchun multipleksorlar demultipleksordan foydalanilsa, bunda o'tinli xalaqitlar boshqa yo'nalishi signalni qabul qilishi ular foydalaniladigan to'ltin bitta uzunligida uzatiladigan signal natijasida hosil bo'ladi.

Nochiziqli kelib chiqishli o'tishli xalaqitlardan xalaqitning 2 turini ko'rib chiqamiz, ular TUBA TOUT da signallar uzatish sifatini baholashda asosiy ahamiyatga ega MKS da shartlangan xalaqitlar va UVS halakitlari.

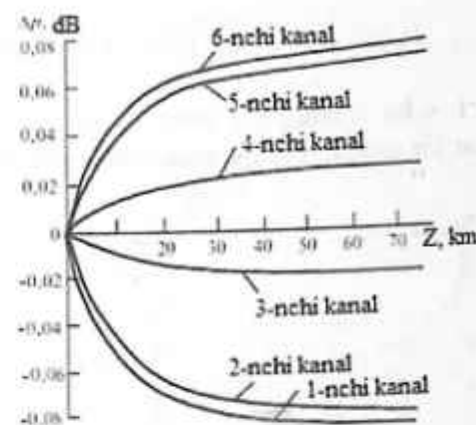
O'tishli MKS sababli xalaqitlari TUBA TOUT da nochiziqli effektlarning biri bo'lib MKS effekti hisoblanadi, u optik tashuvchilarning optik modda fo bilan rezonansli o'zaro ta'siriga shartlangan. OT lar. Bir modali OT da MKS effekti natijasida turli optik kanal optik signallar bilan o'zaro ta'siri kuzatiladi. U optik kam to'lqin uzunligi optik tashuvchilarning quvvatining kamaytirishda aks ettiriladi va bu xisobiga katta to'lqin uzunligi optik tashuvchilarning quvvati hisobiga kattalashadi.

MKS bilan bog'liq o'tishli xalaqitlar tahlili o'tkazilgan. Olingan natijalardan ba'zilarini keltiramiz.

Optik signallarni parallel uzatish (bir yo'nalishli tizim)

MKS effekti bilan shartlangan optik tashuvchilar quvvatining o'zgarishini baholashda nisbiy o'zgarish parametrlari bilan tavsiflash qulay.

7.7-rasmda $\Delta p(z)$ kattaligining OT uzunligi bog'liqligi keltirilgan 7.7-rasmda ko'rinishiga 4, 5, 6 kanallarda optik tashuvchi quvvatining ortishi kuzatiladi. $\Delta p(z)$ ning o'zgarish xarakteri yetarli darajada bo'lib u to'yinishga o'tadi. 1, 2, 3 kanallarda o'sish salbiy xarakterga ega. 7.8-rasmda ikki kanalli 50 km uzunlikga ega TUBA TOUT, uchun $\lambda=1,55$ mkm da signal shovqin (S/SH) nisbatining nurlanish quvvati $P_1(0) = P_2(0) = P(0)$ ga bog'liqligi ko'rsatilgan. 7.8-rasmda keltirilgan bog'liqlikni tahlil qilib shuni ta'kidlash joizki, MKS ning sezilarli bosimni katta quvvatlar OT nurlanishida ham ta'minlanadi. 7.7-rasmda optik kanalda optik tola uzunligi bo'yicha quvvatning nisbiy o'sishiga bog'liqligi keltirilgan.



7.7-rasm. Optik kanalda optik tola uzunligi bo'yicha quvvat nisbatan oshishining bog'liqligi

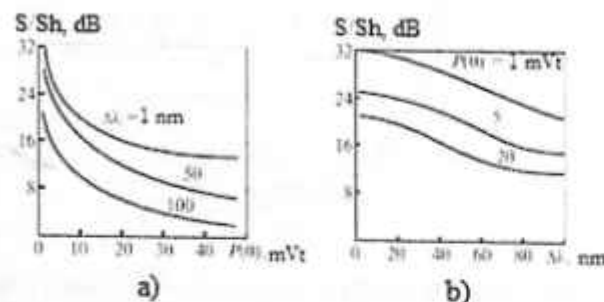
Bu TUBA TOUT qurilmasida spektral taqsimlashdan foydalanishning muvofiqligini ko'rsatadi, shuningdek to'lqin uzunligi bo'yicha yuqori ruxsatli qobiliyatga ega nur tarqatgichlar. Ushbu shartlar TUBA TOUT ni qurish tavsiyalari bilan muvofiqlashadi, energetik potensialni baholashga asoslanadi.

Olingan natijalar asosida quyidagi xulosalarni qilish mumkin:

- OT uzunlikning ortishi, nurlanishning quvvati, tashuvchilar soni va ularni spektral tarqatish bo'yicha MKS ning ta'siri kuchayadi;
 - qisqa to'lqinli tashuvchilar sohasida uzatilayotgan signalning quvvati kamayadi, uzun to'lqinli tashuvchi sohasida esa ortadi;
 - MKS da S/SH munosabatining o'zgarishi OT ning boshlang'ich uchastkasidasezilarli bo'ladi va uzatilayotgan signallarning quvvat sathiga bog'liq bo'lmaydi;
 - OT ning uzunligi 15 km bo'lganda MKS effektining ta'siri stabillashadi;
 - MKS effektini so'ndirishning samarali usuli bo'lib, tashuvchilar spektral tarqatishning kamayishi hisoblanadi.
- Optik signallarni to'qnash yo'nalishda uzatish (ikki yo'nalishli tizim). Optik tashuvchilarni to'qnash tarqalishidagi boshlang'ich shartlari quyidagi ko'rinishga ega.

$$P_1(z=0) = P_i(0); P_2(z=L) = P_2(L),$$

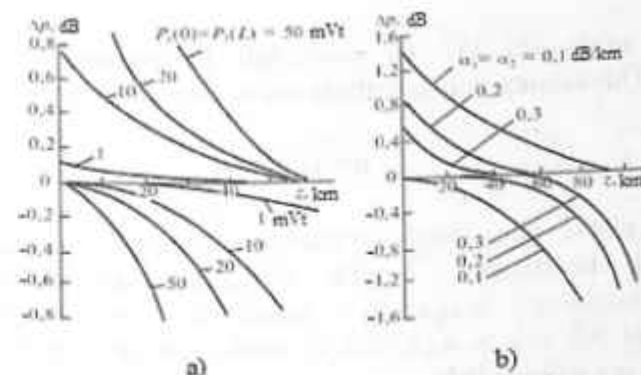
bu yerda L - bir modali OT ning uzunligi; $P_1(0)$ va $P_2(L)$ - optik tashuvchilar bir modali OT qarama-qarshi kirishidagi quvvati.



7.8-rasm. Signal/shovqin nisbatining kelib tushgan nurlanish (a) va optik tashuvchilar yoyilishiga bog'liqligi (b)

7.9 a, b-rasmlarda $\Delta p(z)$ hisobli egri bog'liqlikning turli qiymatlari uchun keltirilgan: $P_1(0) = P_2(L)$ va turli qiymatlar uchun: $\alpha_1 = \alpha_2 = 0,22$ dB/km (7.9.a,b-rasm) hisoblashlar optik tashuvchilarning bir tolasi TUBA TOUT uchun quyidagi parametr bilan o'tkazilgan $A = 3,08 \cdot 10^{-4}$ m² OT o'zagining effektiv maydoni; $k = 2$ — OT ning polyarizasiya koeffisienti ($1 \leq k \leq 2$); $q_0 = 6,32 \cdot 10^{-14}$ mVt — MKS ning maksimal qiymati; $\lambda_1 = 1,55$ mkm, $\lambda_2 = 1,6$ mkm.

Olingan natijalar tahlili shuni ko'rsatadiki, optik tashuvchilarning o'zaro ta'siri OT kirishlarida quvvatlarning ortishida va koeffisientning so'nishi kamayishida kattalashadi. Optik tashuvchilarning o'zaro ta'sirining ortishiga OT o'zagi diametrining kattalashishi, OT ni hisoblarda qo'llash, shuningdek qutblashning holatini saqlovchi OT. MKS effekti bilan shartlangan o'zaro ta'sir, OT ning keng uzunligiga bog'liq bo'ladi keltirilgan natijalar OT bo'yicha bir yo'nalishda tarqalayotgan optik tashuvchining o'zaro ta'sir natijalariga mos bo'ladi. Biroq, Δp quvvat kattaligining spektral o'zgarish xarakteri turlicha.



7.9-rasm. Turli qiymatlarda optik tola uzunligi bo'yicha quvvatning nisbatan qo'shilishi bog'liqligi: a - optik nurlanish quvvatlari; b) so'nish koeffisienti.

Bir yo'nalishda tarqaluvchi optik tashuvchida Ar ning kattaligining aniq uzunligigacha sodir bo'ladi, keyin esa optik energiyaning zichligi kichiklashadi va o'zaro ta'sir kuzatilmaydi. To'qnash optik tashuvchilar tarqalishida Δp ning kattaligi tola bo'yicha tashuvchining tarqalishi o'lchovi bo'yicha ortadi. Binobarin quvvatining nisbiy o'sishi qattaligining o'zgarishi har bir optik tashuvchi uchun qabul qiluvchi qurilma bo'ladi.

7.6. To'rt to'lqinli siljish tufayli o'tish xalaqitlari

N optik kanallardan tashkil topgan TUBA TOUT ko'p kanalli signali monoxromatik to'lqinlar, (elektrik maydon) yig'indisini namoyon qiladi. Shartli ravishda maydonni o'zgarimas deb hisoblaymiz va ko'p kanalli TUBA TOUT signalini quyidagi formula bilan ta'riflash mumkin:

$$E(z, t) = \sum_{i=1}^N E_i \cos(\omega_i t - \beta_i z) \quad (7.5)$$

OT optik signalning quvvati katta bo'lmaganda, OT ni chiziqli muxit deb hisoblash mumkin, ya'ni so'nish va OT ning sinish ko'rsatkigi doimiyligicha qoladi. TUBA TOUTda lazerning yuqori

kogerent nurlanishi OT da nochiziqli hodisalarga olib kelishi mumkin. Quvvatning yuqori sathida sinish ko'rsatkichi

$$n = n_0 + n_2 I,$$

bu yerda n_0 -OT ning sinish ko'rsatkigi; n_2 -sinish ko'rsatkichining nochiziqlik koeffisienti. I -optik signalning intensivligi sinish ko'rsatkichlarining o'zgarishi qutblanish (SOP) holatining o'zgarishga olib keladi, u chiziqli va nochiziqli tarkibni $P_{lin}(z, t)$ va $P_{noch}(z, t)$ o'z ichiga oladi

$$P(z, t) = P_{lin}(z, t) + P_{noch}(z, t).$$

Optik signal quvvatining va nurlanishining ortishi bilan sinish ko'rsatkigi o'zgaradi va qutblanishning nochiziqli tashkil etuvchisining roli ortadi va u quyidagiga teng bo'ladi:

$$P_{noch}(z, t) = \epsilon_0 \chi^{(3)} E^3(z, t),$$

bu yerda ϵ_0 - vakuumning nisbiy dielektrik doimiysi;

$\chi^{(3)}$ - uchinchi tartibning nochiziqli sezgirligi.

Agar $\epsilon_0 \chi^{(3)} = C_3$ - ni doimiy kattalik deb hisoblansa, u holda

$$P_{noch}(z, t) = C_3 E^3(z, t). \quad (7.6)$$

(7.6) ga (7.5) dan kuchlanish qiymatini qo'yib, nochiziqli qutblanishni hisoblash uchun formulaga ega bo'lamiz:

$$P_{noch}(z, t) = C_3 \left[\sum_{i=1}^N E_i \cos(\omega_i t - \beta_i z) \right]^3.$$

Uchinchi tartibdagi nochiziqli qutblanish uchinchi tartibdagi nochiziqli mahsulotlarni keltirib chiqaradi, ularning spektral tarkibi o'z ichiga quyidagilarni oladi:

- ω_j ko'p kanalli signal chastotalari, $(3/4)C_3 E_i^3$ amplitudali N optik kanallar soniga tenglashadi;

- boshlang'ich chastotalarning $3\omega_j$ uchinchi garmonikasi, N optik kanallar soniga tenglashadi, amplitudasi esa $(1/4)C_3 E_i^3$;

- uchinchi tartibdagi nochiziqli kombinasion mahsulotlar ikkinchi rodga $2\omega_i + \omega_j$ ko'rinishda bo'lib, soni C^2_N sonlar birikmasiga teng, amplitudasi esa $(3/4)C_3 E_i^2 E_j$;

- uchinchi tartibdagi nochiziqli kombinasion mahsulotlar ikkinchi rodga $\omega_i + \omega_j + \omega_k$ ko'rinishda, soni C^3_N sonlar birikmasiga teng, amplitudasi esa $(3/2)C_3 E_i E_j E_k$;

- uchinchi tartibdagi nochiziqli kombinasion mahsulotlar birinchi rodga

$2\omega_i - \omega_j$ ko'rinishda, soni C^2_N sonlar birikmasiga teng, amplitudasi esa $(3/4)C_3 E_i^2 E_j$;

- uchinchi tartibdagi nochiziqli kombinasion mahsulotlar birinchi rodga $\omega_i + \omega_j - \omega_k$ ko'rinishda, soni C^3_N sonlar birikmasiga teng, amplitudasi esa $(3/2)C_3 E_i E_j E_k$.

WDM tizimining kanal planining minimal chastotasi $F_{min} = 186,7$ TGs, maksimal $F_{max} = 197,1$ TGs, ularning nisbati 1,056 teng. Demak, spektral kanal polosasiga faqat birinchi rodagi nochiziqli tartibdagi mahsulotlar kelib tushadi, ya'ni $2\omega_i - \omega_j$ ko'rinishdagi mahsulotlar va $\omega_i + \omega_j - \omega_k$. Bu mahsulotlar TUBA TOUT spektral kanallari o'rtasida o'tish xalaqitlariga olib keladi, ular to'rt to'qinli siljitish xalaqitlari (TTS) det ataladi, natijada uchta chastotalarning ω_i , ω_j va ω_k o'zaro ta'siri natijasida va $\omega_x = \omega_i + \omega_j - \omega_k$ ga teng to'rtinchi chastota hosil bo'ladi ($\omega_x = 2\omega_i + \omega_j$ mahsulot $\omega_i + \omega_j - \omega_k$ ko'rinishning mahsuloti hisoblanadi). $\omega_k = \omega_i + \omega_j - \omega_k$ ko'rinishdagi mahsulot uch chastotali deb ataladi, $\omega_x = 2\omega_i + \omega_j$ mahsulot esa ikki chastotali deb ataladi. Bu yerda i, j va k TUBA TOUT optik kanallarining umumiy sonida turli qiymatlarni qabul qilishi mumkin. Xalaqitlarning turli ko'rinishida TTS signalining spektral tarkibining o'zgarishi, $f_i + f_j - f_k$ ko'rinishdagi o'tish xalaqitlari uchun 7.10,a-rasmda, $2f_i - f_j$ ko'rinish uchun o'tishli xalaqitlari 7.10,b-rasmda ko'rsatilgan.

Birinchi rod uchinchi tartibda o'tish xalaqitlariga uchragan kanal raqami quyidagi shartlarda

$1 \leq i, j, k \leq N$; $i \neq j \neq k$; $i, j, k, x > 0$; $j > i, k > j$,
uchbu formula orqali hisoblanadi

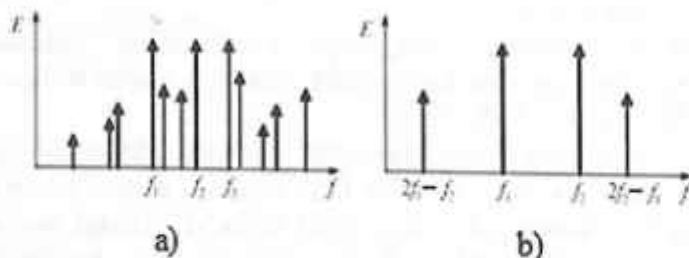
$$x = i + j - k.$$

Birinchi rod uchinchi tartibda o'tish xalaqitlariga uchragan kanal raqami,

$$i = j \neq k; k > j; i, j, k, y > 0,$$

shartlar bajarilganda, quyidagi formula orqali hisoblanadi:

$$y = 2j - k.$$



7.10-rasm. O'tish xalaqitlarini TTS sababli spektral taqsimlashni

Agar optik signallar i , j va k -nchi kanallarga bir vaqtda uzatilsa, o'tish xalaqitiga uchragan x kanalning chastotasi, quyidagiga teng

$$f_x = f_i + \Delta F (j - k),$$

bu yerda ΔF — kanallar o'rtasidagi chastota intervali.

TTS natijasida ko'p kanalli signal spektri sezilarli kengayadi.

Birinchi rod uchinchi tartibdagi noxizizli mahsulotlarning umumiy soni

$$N = N^2(N - 1)/2.$$

Yuqorida aytilganlardan ko'rinib turibdiki, TTS o'tish xalaqitlari optik kanallar soniga va signallar quvvatiga bog'liq va spektral kanallar o'rtasida chastotali intervalning pasayishiga ta'sirchan bo'ladi.

TTS hodisasi o'zaro ta'sirdagi signallar o'rtasidagi fazaviy munosabatlarga bog'liq.

Agar o'zaro ta'sirlanuvchi signallar bir xil guruhli tezlikda dispersiya mavjud bo'lmaganda tarqalsa, bunda hodisa kuchayadi. Shuning uchun nolli yoki siljigan dispersiyali OT da ishlaydigan TUBA TOUTda TTS ta'sirini hisobga olish kerak. Nolga teng bo'lmagan siljigan dispersiyali OT da TTS hisobiga o'tish xalaqitlari sezilarli kamayadi. Kanalda uzatish tezligining ortishi TTS ning natijalariga kam darajada ta'sir ko'rsatadi. TUBA TOUTning polosa kengligining o'zgarishi ham amalda TTS xalaqitlariga ta'sir ko'rsatmaydi.

Nazorat savollari

1. SDH ning qanday kamchiliklari sababli WDM tizimlariga o'tildi, WDM tizimlarining qaysi biri keng tarqalgan, nima uchun?
2. To'lqin uzunligi bo'yicha ajratilgan tolali optik uzatish tizimlariga ta'rif bering.
3. WDM texnologiyasini qo'llashdan maqsad nima, sinxron raqamli uzatish tizimlariga nisbatan uning qanday afzalliklari mavjud?
4. WDMli tizimning tuzilishi, va uning ishlash prinsipini tavsiflang.
5. WDMning qanday afzallik va kamchiliklarini bilasiz?
6. WDMli tizimlarda qanday multipleksorlar qo'llaniladi, qaysi biri keng tarqalgan, nima uchun?
7. WDMda multipleksorlash qanday amalga oshadi?
8. WDMning qanday sinflarini bilasiz? Ularning bir-biridan farqi nimada?
9. DWDMda signallarni uzatish qanday amalga oshiriladi?
10. CWDM tizimlarining afzalligi nimada? Ularni qaerda qo'llash mumkin?
11. To'lqin uzunligi bo'yicha ajratilgan tolali optik uzatish tizim liniyalarini loyihalash xususiyatlari nimalardan iborat?
12. WDM texnologiyasini qo'llash bilan qanday muammolar yuzaga keladi?

VIII-BOB OPTIK ALOQA TARMOQLARI

8.1. Infokommunikatsiya xizmatlari

Axborotlashtirilgan jamiyatning texnologik asosi Global Axborot Infratuzilmasi (GAI) hisoblanib, sayyoramizning har bir kishisi uchun axborot resurslariga erkin kirish imkoniyatini ta'minlashi kerak. Axborot infratuzilmasini ma'lumotlar bazasi, axborotga ishlov berish vositalari yig'indisi, telekommunikatsiya tarmoqlari va xizmatlardan foydalanuvchilarning terminallari tashkil etadi.

GAI da axborot resurslariga kirish Axborotlashtirilgan jamiyatni xizmatlari yoki yangi turdagi infokommunikatsion xizmatlar nomini olgan xizmatlar orqali amalga oshiriladi.

Infokommunikatsiya xizmatlarini xajmlari yuqori sur'atlarda o'sishi, ularning yaqin kelajakda telekommunikatsiyalar tarmoqlarida ustunlik qilishini oldindan bashorat qilish juda muhim masalalar turkumiga kiradi.

Bugungi kunga kelib - infokommunikatsion xizmatlarning rivojlanishi asosan, telekommunikatsiya va Internet kompyuter tarmoqlari doirasida amalga oshiriladi, ularning xizmatlariga kirish imkoni an'anaviy telekommunikatsiya tarmog'i orqali yuz beradi.

Shu munosabat bilan infokommunikatsion xizmatlarning rivojlanishi telekommunikatsiya tarmoqlarining vazifalarini bir vaqtda kengaytirish bilan infokommunikatsion resurslarni samarali boshqarish masalasini hal etishni talab etadi.

Infokommunikatsion xizmatlarga quyidagi talablar qo'yiladi:

- xizmatlarning mobilligi (harakatchanligi);
- yangi xizmatlarni maqbul holda va tez yaratish imkoniyati;
- kafolatlangan xizmatlar sifati.

Halqaro elektraloqa ittifoqining tavsiyalariga ko'ra infokommunikatsiya xizmatlari turi 200 tadan ortib ketdi.

Infokommunikatsion xizmatlarga va talablarga konvergensiya jarayoni katta ta'sir ko'rsatadi, u infokommunikatsion xizmatlarning foydalanuvchilariga, unga kirish usuliga bog'liq bo'lmagan holda kirish mumkinligiga olib keladi.

8.2. Optik telekommunikatsiya tarmoqlariga qo'yiladigan talablar

Keskin o'sib borayotgan infokommunikatsion xizmatlar va shu sababli kerak bo'layotgan yuqori tezlikdagi telekommunikatsiya tarmoqlarini foton texnologiyasidan to'liq foydalanib, umuman yangi tarmoqlar yaratilishi zarurligini taqozo etadi.

Shu sababli, optik telekommunikatsiyalar tarmoqlariga quyidagi talablar qo'yiladi:

1. Multiservislik, bu xizmatlarni ko'rsatish texnologiyalarining transport texnologiyalaridan bog'liq emasligi (mustaqilligi) tushuniladi.

2. Keng polosalilik, bunda xizmatlardan foydalanuvchining joriy ehtiyojlaridan bog'liq holda keng diapazonda axborotni uzatish tezligining qulay va dinamik o'zgartirish imkoniyati tushuniladi.

3. Multimedialik, bunda telekommunikatsiya tarmog'ining ko'p komponentli axborotni (nutq, ma'lumotlar, video, audio) real vaqtda bu komponentlarni zarur sinxronlashtirish bilan va birikmalarning turli xil konfiguratsiyalardan foydalanib uzatish qobiliyati tushuniladi.

4. Intellektuallik, bunda xizmatlarni taqdim etish jarayonida bir nechta operatorning ishtirok etishi va ular ma'suliyatlarining faoliyat sohasiga muvofiq bo'linishi tushuniladi.

8.3. Foton texnologiyasi asosida mahalliy, mintaqaviy va magistral optik aloqa tarmoqlariga o'tishning asosiy prinsiplari

Zamonaviy telekommunikatsiya tarmoqlarida operatorlar xizmatlarning asosan ikki sinfini taqdim etadilar:

1) turli SDH/SONET yoki ATM interfeyslari orqali kanallarni kommutatsiyalab, odatdagi xizmatlarni ko'rsatish;

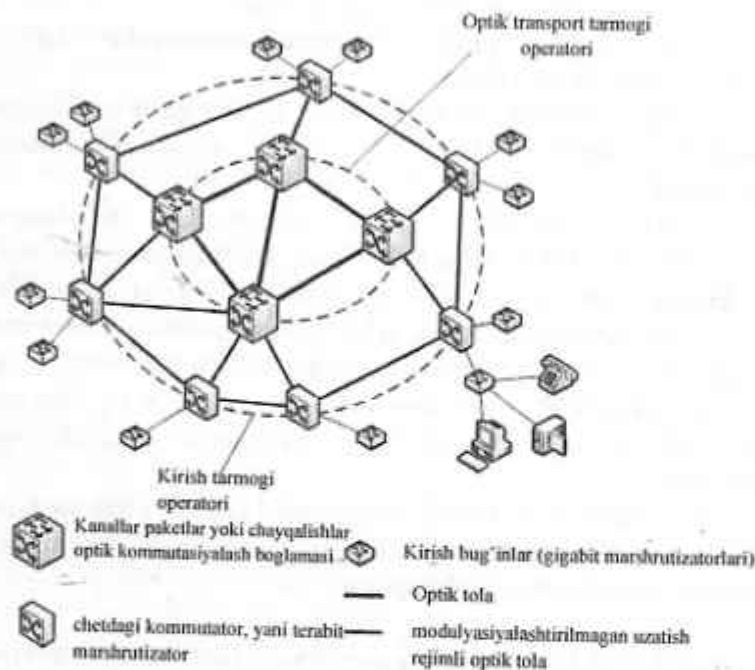
2) paketli kommutatsiya xizmatlari (Frame Relay, X.25 va IP).

Bunday tarmoq arxitekturasini ikki sathdan iborat: intellektual foton sathi va servis sathi.

Misol tariqasida Multiservisli foton texnologiyasi asosidagi telekommunikatsiya tarmog'ini ko'rib chiqamiz (8.1-rasm).

Trafik turli manbalardan (ovoz, video, ma'lumotlar va x.k.) foton tarmog'ining qismi bo'lmagan chet kommutatorlar tomonidan

to'planadi. Kirish tarmog'i trafik grummingini (trafikni taqsimlash), ancha, past tartibdagi trafik oqimlarini multipleksorlash va demultipleksorlashni hamda oraliq bo'g'inlarda mahalliy (lokal) kommutatsiyani amalga oshiradi.



8.1-rasm. Multiservisli foton tarmog'i

Chetda joylashgan kommutatorning kirishi ham elektrik, ham optik bo'lishi mumkin, lekin baza tarmog'i bilan ulanish elektrik jihatdan ishlov berib bo'lmaydigan tezliklarda tolali optik muhit orqali amalga oshiriladi.

Kommutatorlar optik kommutatorlardan iborat bo'lib, ularning uchta turi mavjud: kanallarning optik kommutatsiyasi (KOK), paketlarning optik kommutatsiyasi (POK) va chayqalishlarning optik kommutatsiyasi (CHOK).

Bunday foton tarmog'i kamida ikkita va undan ortiq kommutatsiya turlarini bir vaqtda qo'llab quvvatlashi mumkin.

Masalan, agar foydalanuvchi ma'lumotlarni uzatish xizmatidan foydalanishni istasa, foton telekommunikatsiya tarmog'ida bunday so'rovni (talabni) paketli kommutatsiyali yoki chayqalishlar kommutatsiyasi orqali xizmat ko'rsatish haqida qaror qabul qilinadi.

Ikkinchi tomondan, tarmoq "provayderi" yoki "yirik foydalanuvchilar" kafolatlangan sig'imli, tutilishli va eng asosiysi tutilish variyasiyali (video va tovushli trafik uchun) doimiy ulanishni so'rab qolishlari mumkin. Bu holda tarmoq talabga kanallar kommutatsiyasi orqali to'la xizmat ko'rsatadi.

Multiservisli foton telekommunikatsiya tarmoq operatorlarining 3 ta sathi belgilangan:

- kirish tarmog'i operatori (KTO) oxirgi foydalanuvchilar bilan to'g'ridan-to'g'ri ishlaydi. Bu sathida, trafik hajmlarini pastligini hisobga olib, KTO o'z foydalanuvchilariga paketlar kommutatsiyasi bilan interfeysni taqdim etishi mumkin. Trafikning parametrlari va xizmat ko'rsatish darajasi (QoS) bu darajada trafikning uncha katta bo'lmagan hajmlari tufayli nazorat qilinishi mumkin. Trafikni tasniflash KTO marshrutizatorlarida amalga oshiriladi;

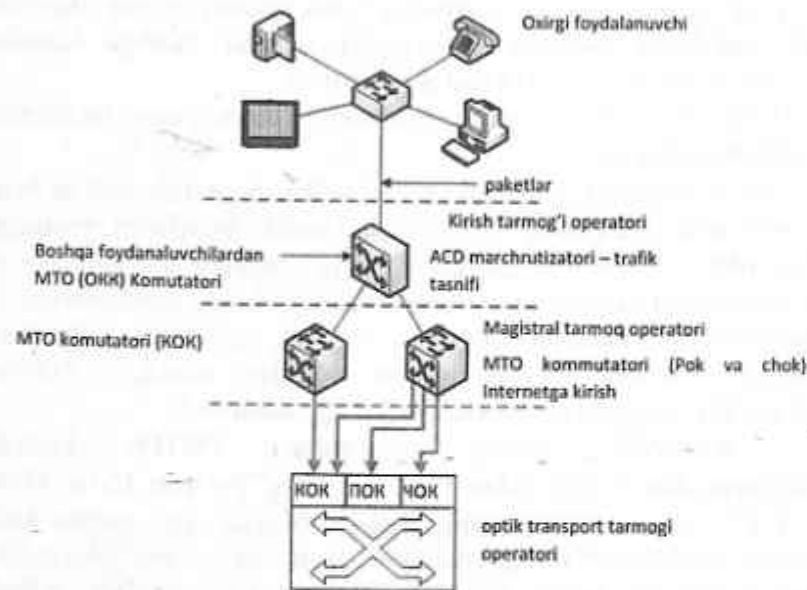
- magistral tarmoq operatorlari (MTO) kanallar kommutatsiyalari trafigi bilan (vaqtga sezgir bo'lgan trafik bilan) yoki KTO ning paketli trafigi bilan ishlaydi. Bu sathda katta hajmdagi trafiklarni uning parametrlarini va xizmat ko'rsatish darajasini nazorat qilish sohasida boshqarish murakkab. Paketli kommutatsiyali va kanallar kommutatsiyalari xizmatlar uchun alohida KTO lardan foydalanishi mumkin;

- optik transport tarmog'i operatori (OTTO) o'z mijozlariga, ular MTO lar bo'ladi, kanallarni kommutatsiyalash xizmatlarini ham, paketlar kommutatsiyasini ham taklif etishi mumkin. MTO xuddi KTO kabi trafikning turli xillari, marshrutlashtirish usullarini tanlab olishi mumkin. Masalan, KTO o'zining ayrim mijozlari trafiginu paketlar kommutatsiyasi o'rniga chayqalishlar kommutatsiyasi xizmati orqali yoki hatto kanallar kammutatsiyasi xizmati orqali yo'naltirishi mumkin.

8.1-rasmda faqat kirish tarmog'i va optik uzatish muhiti operatorlari ko'rsatilgan. Multiservisli foton tarmog'i foydalanuvchilari (oxirgi foydalanuvchilardan boshlab, kirish tarmog'i operatorlari, magistral tarmoq operatorlari va boshqa foydalanuvchilar va nixoyat optik transport tarmog'i operatori) 8.2-

rasmda ko'rsatilgan va har bir sath uchun OTTO –KOK, POK va CHOK kommutatorlari ishlatishi, MTO – POK va CHOK kommutatorlari va kirish tarmoq operatorlari uchun KOK kommutatorlari ishlatishi keltirilgan.

Multiservisli foton tarmog'ining ko'p sathli arxitekturasini 8.2-rasmda ko'rsatilgan.



8.2-rasm. Multiservisli foton tarmog'i foydalanuvchilari

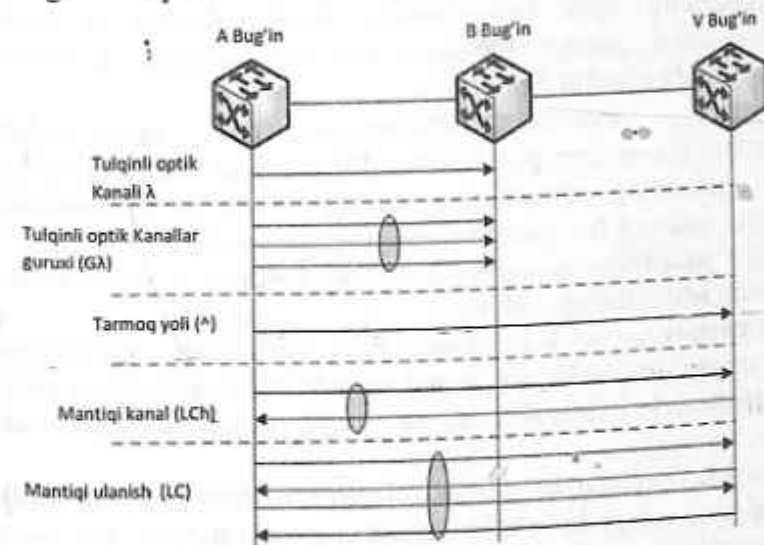
Multiservisli foton tarmog'ining sathlari quyidagilardan iborat:

Optik uzatish seksiyasi ikkita faol komponentni (multipleksorlar, demultipleksorlar va kuchaytirgichlar) bog'lovchi optik tola sifatida aniqlanadi. Bu sathni tolali optik sath yoki tolali optik zanjir deb atash mumkin. Optik uzatish seksiyasi kabi optik multipleks seksiya manba bo'g'indagi multipleksor va belgilangan joy bo'g'indagi demultipleksor o'rtasidagi barcha to'liq kanallarini o'z ichiga oladi. Fizik jihatdan optik multipleks seksiya optik kuchaytirgichlar va optik tolalarni o'z ichiga oladi.

Optik kanallik seksiya – bu bitta to'liq optik kanalidan foydalangan holdagi nuqta-nuqta ulanishdir. Fizik jihatdan, optik

kanal seksiyasi bir nechta optik multipleksli seksiyalarni, multipleksorlarni va demultipleksorlarni o'z ichiga oladi.

Kanallarning optik kommutatsiyasi sathi – yorug'lik yo'llari va boshqa transport ob'ektlarini kanallar kommutatsiyasi bilan ta'minlaydi. Yuqori sathlar optik kanal sathi interfeysidan tarmoqda kanallar kommutatsiyasi bilan trafikni marshrutlashtirish uchun foydalanadi. Kanallar optik kommutatsiyasi sathi bilan taqdim etiladigan transport ob'ektlarini ko'rib chiqamiz (8.3-rasm).



8.3-rasm. Kanallarning optik kommutatsiyasining transport ob'ektlari

1) To'liq optik kanali (λ) – ikkita to'g'ridan to'g'ri ulangan bo'g'inlar orasiga o'rnatilgan, "nuqta-nuqta" bir tomonga yo'naltirilgan transport tarmog'i (magistral, mintaqaviy va mahalliy optik aloqa tarmoqlari bo'lishi mumkin).

2) To'liq optik kanallar guruhi ($G\lambda$) – Multiservisli foton tarmog'ida chastotalar diapazoni komutatsiyasi konsepsiyasini qo'llab quvvatlaydi;

3) Yorug'lik yo'li (^) – ikki bo'g'in orasiga o'rnatilgan, bir tomonga yo'nalgan "nuqta-nuqta" topologiyasini qo'llovchi transport ob'ekti (magistral, mintaqaviy va mahalliy optik aloqa tarmoqlarida ishlatilishi mumkin). To'liq optik kanallar guruhini o'z ichiga oladi.

4) Mantiqiy kanal (LCh) – ikki tomonlama ochiq transport ob'ekti (magistral, mintaqaviy va mahalliy optik aloqa tarmoqlarida ishlatilishi mumkin) bo'lib, u tutilish va tutilish variatsiyasi kabi uzatishning turli ko'rsatkichlari bo'yicha o'xshash bo'lgan ikkita yorug'lik yo'llaridan iboratdir.

5) Mantiqiy ulanish (LC) – bitta yoki undan ortiq mantiqiy kanallardan iborat butun ochiq ulanish (asosan magistral transport optik aloqa tarmoqlarida qo'llanilishi mumkin).

Paketlarning optik kommutatsiya sathi paketlarning optik kommutatsiyasini amalga oshiradi. Bu sath ichidagi transport ob'ektlari quyidagilardan iborat:

- paket – paketlar kommutatsiyasi bilan optik aloqa tarmoqlardagi asosiy transport ob'ekti. Bu mustaqil transport birligi bo'lib, u paketning sarlovhasida marshrutlashtirish to'g'risidagi barcha zarur axborot bo'lgan mustaqil transport birligidir (magistral, mintaqaviy, mahalliy va ayrim holllarda korporativ optik aloqa tarmoqlarida ishlatilishi mumkin);

- almashuv – optik tarmoqda bitta yo'l bilan uzatiladigan paketlar seriyasidir. Trafik va xizmat ko'rsatish darajasi (QoS) ning ma'lum parametrlari almashuv ichida doimiy (o'zgarmas) deb faraz qilinadi;

- ulanish – xizmat ko'rsatish sathi to'g'risidagi kelishuv bilan belgilanadigan, oxirgi bo'g'inlar orasidan uzoq muddatli transport ob'ekti (magistral, mintaqaviy va mahalliy optik aloqa tarmoqlarida foydalanuvchilarning (operatorlar, provayderlar, abonentlar va x.k.) aloqa xizmatlarini olish uchun ulanishi). Ulanish faol bo'lib turgan interval (oraliq) davomida oxirgi bo'g'inlar orasida uzilish, ortiqcha yuklanish yoki boshqa sabablar bo'lganda paketni marshrutlashtirish uchun turli yo'llardan foydalanish mumkin, ya'ni ulanish bir nechta almashtirishlardan iborat bo'lishi mumkin.

Chayqalishlarning optik kommutatsiyasi sathi chayqalishlarning optik kommutatsiyasi prinsipini amalga oshiradi, u quyidagi transport ob'ektlaridan foydalanadi: chayqalish, almashuv va ulanish (bu sath magistral, mintaqaviy, mahalliy va korporativ optik aloqa tarmoqlarida qo'llanilishi mumkin).

Nazorat tekisligi sathi. Multiservisli foton tarmog'i quyidagi xizmatlarni taqdim etuvchi GMPLS nazorat tekisligi xizmatlaridan foydalanadi:

6) ochiq ulanishni avtomatik ravishda taqdim etish – so'rovga boshqarishning tarmoq stansiyasida ishlov beriladi. Dasturiy ta'minot eng yaxshi marshrutni aniqlaydi va signal protokollari orqali tarmoqqa qo'llaniladi. Talab (so'rov) kommutatsiya turini (kanallar tarmoqqa qo'llaniladi, paketlar optik kommutatsiyasi va chayqalishlar optik kommutatsiyasi) va tanlab olingan kommutatsiya turi bilan bog'liq qo'shimcha parametrlarni aniqlaydi. Agar tarmoqda bo'sh resurslar bo'lmasa, so'rov rad qilinishi (qabul qilinmasligi) mumkin.

Talab bo'yicha o'tkazish polosasi (BoD) yorug'lik yo'li kabi, qo'shimcha transport ob'ektlariga dinamik so'rovlar qilishga, shuningdek mantiqiy xonalarni mantiqiy bo'shatishni amalga oshirishga imkon beradi.

Trafikni avtomatik tartibga solish.

Optik virtual xususiy tarmoq (O-VPN) – foydalanuvchiga foton tarmog'ining ma'lum qismining tarmoq resurslarini to'liq nazoratini amalga oshirishga imkon beradi. Foydalanuvchilar tarmoqning bu qismini tarmoq resurslari ustidan to'liq nazorat qilsalar ham, O-VPN bor yo'g'i tarmoqning mantiqiy qismidir va oxirgi foydalanuvchilar butun operator tarmog'ini ko'rmaydilar va unga kira olmaydilar. Xizmat oxirgi foydalanuvchilarga turli xil transport ob'ektlarini taqdim etishga imkon beradi. Oxirgi foydalanuvchilar foton tarmog'ining berilgan qismi ichida ulanishlarni yarata oladilar va yo'q qila oladilar.

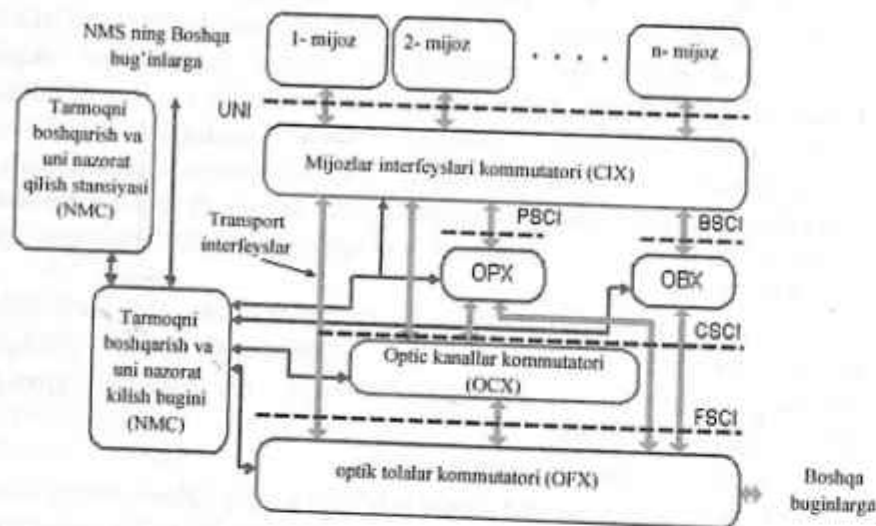
Multiservisli foton tarmog'i barcha komponentlari quyidagi sinflarga bo'linadi:

- kommutatsion elementlar;
- transport interfeyslari;
- tarmoqni boshqarish elementlari va interfeyslari.

Misol tariqasida, Multiservisli foton tarmog'i bo'g'inining umumiy tuzilishini ko'rib chiqamiz (8.4-rasm).

Bo'g'inda quyidagi kommutatsion elementlar mavjud:

- tolalarning optik kommutatori (OFX);
- kanallarning optik kommutatori (OPX);
- paketlarning optik kommutatorlari (OPX);
- chayqalishlarning optik kommutatori (OBX);
- mijozlar interfeyslari kommutatori (CIX).



OPX – paketlarning optik kommutatori

OBX – chayqalishlarning optik kommutatori

8.4-rasm. Multiservisli foton tarmog'i bo'g'inining umumiy tuzilishi

Foton tarmog'i bo'g'ini optik kommutatorlar orasidagi interfeyslarni qo'llab – quvvatlaydi:

- kanallar kommutatsiyasini qo'llab – quvvatlovchi interfeys (CSCI);
- paketlar kommutatsiyasini qo'llab – quvvatlovchi interfeys (PSCI);
- chayqalishlar kommutatsiyasini qo'llab – quvvatlovchi interfeys (BSCI).

Yuqorida sanab o'tilgan ichki interfeyslardan tashqari multiservisli foton tarmog'i bo'g'in foydalanuvchilar so'rov (talab)lariga – tarmoq interfeysi (UNI) orqali xizmat ko'rsatadi.

Foton tarmog'ini boshqarish va nazorat qilish elementlari va interfeyslari:

- tarmoqni boshqarish va nazorat qilish bo'g'ini;
- tarmoqni boshqarish va nazorat qilish stansiyasi;
- boshqarish va nazorat qilish interfeysi.

8.4. Optik aloqa tarmoqlarini yangi avlodlarini yaratishdagi yangi va istiqbolli optik texnologiyalar

Yuqorida keltirilgan mavzular optik aloqa tarmoqlarini hozirgi kundagi foton texnologiyasida erishilgan natijalaridan va ularni aloqa tarmoqlarida ishlatilishi to'g'risidagi adabiyotlar va maqolalar asosida yoritildi.

Kelgusi foton aloqa texnologiyalari asosida quriladigan tarmoqlar quyidagi vositalarni o'z ichiga oladi:

1. Optik kommutatorlar.
2. To'liq bo'yicha ajratiladigan multipleksorlar va demultipleksorlar, xususan bregg va golografik panjaralar asosida.
3. Sozlanadigan optik filtrlar.
4. To'liq uzunligi bo'yicha barqaror ishlaydigan lazer qurilmalari (barqaror ishlaydigan lazerlar sxemasi).
5. Yangi modulyasiya usullari (RZ, NRZ, CSRZ (carrier suppressed RZ), DPSK va ASK – DPSK).
6. Xarakteristikalar yaxshilangan va narxlar kamaytirilgan tekis spektrli optik kuchaytirgichlar.
7. Yangi va katta xajmdagi optik kross-kommutatorlar.
8. Kirish/chiqish optik multipleksorlar.
9. Nochiziqli sirtmoqli ko'zgu va yarimo'tkazgichli optik kuchaytirgichlar asosida yaratilgan to'liqli konvertorlar.
10. Optik sohada ishlaydigan umum kanal signalizatsiya texnikasi.

Ko'rsatilgan foton texnologiyasiga mansub vositalar aloqa tarmoqlarini yangi va istiqbolli avlodlarini yaratishda asos bo'ladi. Foton texnologiyasi asosida yaratilishi ko'zda tutilgan aloqa tarmoqlari to'g'risida ko'rib chiqilgan mavzulardan ko'rinib turibdiki, bu juda katta va kelgusi porloq yo'nalish. Butun dunyodagi etakchi ilmiy institutlar va etakchi telekommunikatsiya kompaniyalari izlanib va yuqori texnologiyalardan foydalanib, ishlarni jadal ravishda olib borishyapti.

Foton texnologiyasi asosida yaratilayotgan aloqa texnologiyalari va ular asosida yaratilishi ko'zda tutilgan optik aloqa tarmoqlari ko'plab muammolarga ega. Shuning uchun ular magistrilar, aspirantlar va olimlarning asosiy ilmiy yo'nalishlari qatoridan munosib joy oladi.

Nazorat savollari

1. Zamonaviy axborot xizmatlariga qanday talablar qo'yiladi?
2. Axborot xizmatlarining qanday talablari telekommunikatsiyalarning optik tarmoqlari xususiyatlarini belgilaydi?
3. Fotonli tarmoq modeli nechta daraja (sath)dan iborat?
4. To'liqli multipleksorlashning mohiyati nimadan iborat?
5. Shu kunga kelib optik tarmoq deb ataluvchi tarmoqlarning qanday turlari mavjud?
6. To'liq optik tarmoqlar qanday mezonlarga bo'linadi?
7. Keng eshittirishli optik tarmoqda A stansiya B stansiyaga axborotni qay tarzda uzatadi?
8. Passiv to'liqli marshrutizatsiyali optik tarmoqning aktiv to'liqli marshrutizatsiyali optik tarmoqqa nisbatan afzalliklari va kamchiliklari nimada?
9. Paketlar kommutatsiyali to'liq optik tarmoqning xususiyatlari.
10. To'liq optik tarmoqda kommutatsiyaning qanday turlari mavjud?
11. Ketma-ket bitli kommutatsiyaning parallel bitli kommutatsiyaga nisbatan afzalliklari va kamchiliklari nimada?
12. Aloqa operatorlari zamonaviy tarmoqlarda qanday xizmatlar turlarini taqdim etishadi?
13. Multiservisli foton tarmoqlarida tarmoq operatorlarining qanday darajalari belgilangan?
14. Multiservisli foton tarmog'ining darajalarini tavsiflang.

IX-BOB

ABONENT ULANUVCHI OPTIK ALOQA TARMOQLARI

9.1. Umumiy holat

Yaratilgan xalqaro va magistral optik transport tarmoqlarining resurslaridan samarali foydalanish va ularning keyingi rivojlanishi ulanuvchi optik tarmoqlarining adekvat rivojlanishini talab qiladi. Ulanuvchi optik tarmoqlarga bo'lgan bunday talab shiddat bilan oshib bormoqda.

Oxirgi yillarda telekommunikatsiyaning barcha yirik operatorlari va provayderlari, bitta fizik kanal bo'yicha multimedia xizmatlarini namoyish etish zaruriyatini sezishmoqda. Multimedia xizmatlarini namoyish etishni, faqatgina tolali optik texnologiyalarni ya'ni ulanuvchi optik tarmoqlarni keng yaratish yordamida amalga oshirish mumkin.

Optik ulanuvchi tarmoqlar (OUT)larni rivojlanishining dolzarbligi, uning muhim segmenti-passiv optik tarmoq (POT) yoki PON (Passive Optical Network)larning xususiyatlari haqida, OUT va POT standartlarini reglament qiluvchi, XEI-T tomonidan qabul qilingan bir-qator xujjatlar, shuningdek IEEE ning bir qator standartlari guvohlik beradi.

Keng polosali multiservisli ulanishlarni ta'minlovchi transport texnologiyalariga bog'liq holda zamonaviy passiv optik tarmoqlar xalqaro standartlarga va XEI-T tavsiyalariga mos holda bir necha turga: 155 yoki 622 Mbit/s uzatish tezligiga ega bo'lgan ATM protokollarini qo'llovchi A-PON (POT) qo'shimcha to'liq uzunliklarida keng eshittirishli qo'shimcha xizmatlarga (V-broadsasting) ulanish uchun A-PONning kengaytirish imkoniyatlarini ko'rsatuvchi, V-PON (POT) uzatish tezligini 2,5 Gbit/s (G-Gigabite) gacha oshirish hisobiga A-PON imkoniyatini qaytaruvchi G-PON (POT), Ethernet protokollariga mo'ljallangan E-PON (POT) larga bo'linadi.

XEI-T xujjatlarida va xalqaro standartlarda, asosiy holatlarning tuzilish prinsiplarini ishlab chiqish va UOT larni qo'llash,

ko'chirishning asinxPON usuli ATM, IP, Ethernet, to'liqini mul'tipleksorlash (WDM) va boshqa transport texnologiyalari bazasi asosida raqamli tarmoqlarni tashkil etish prinsipi bilan uzviy bog'liq.

Ulanuvchi tarmoq telekommunikatsiyaning bir qismi bo'lib, foydalanuvchi va transport tarmog'i orasida signallari (aloqa xizmati)ni etkazishni ta'minlaydi.

Ulanuvchi tarmoqning rivojlanishi ikki asosiy yo'nalish bo'yicha amalga oshadi:

1. Mavjud aloqa kabellarini qo'llash;
2. Yangi optik aloqa liniyalarini qurish.

Ulanuvchi tarmoqlarda tolali optik vositalardan foydalanish:

- mis simli kabellarga qaraganda, kam kapital mablag' talab etuvchi namunaviy telefon raqamli kanallarni tashkil etish;
- xuddi shu optik tolalar bo'ylab, kabelli televideniya dasturlarini uzatish;
- multimediya xujjatlari bilan birga xizmatlar integratsiyasiga ega raqamli tarmoqlarni yaratish imkonini beradi.

Shuni ham aytish joizki, bunda ulanuvchi tarmoqning fizik sathi, har qanday variant uchun o'zgarishsiz, amalda kapital mablag' o'zgarmay qoladi.

Faqatgina terminal qurilmalarning narxi, soni va sifatiga bog'liq holda xizmat xaqi oshishi mumkin.

Bu ulanuvchi liniyalarni juda katta sig'imli axborotlarni uzatishga loyiqligi bilan aniqlanadi.

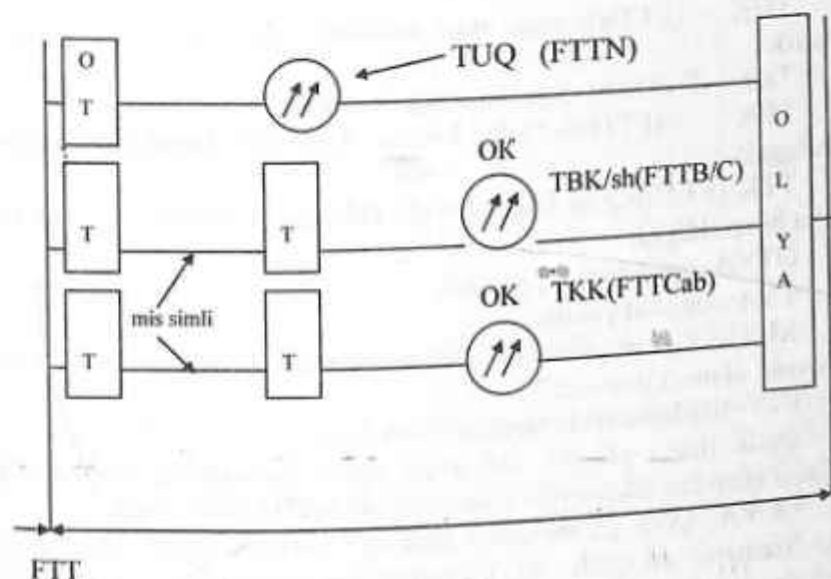
Shunday qilib, ulanuvchi optik tarmoqlar, foydalanuvchilarni telefon apparatlari uchun kerak bo'lgan, bir vaqtda qoniqtirishi kabi, kabelli televidenie bilan birga keng polosali kanallarni talab qiluvchi foydalanuvchilarni ham qoniqtirish imkoniga ega.

9.2. Abonent ulanuvchi optik aloqa tarmoqlarning tuzilish prinsipi

9.2.1. Abonent ulanuvchi optik aloqa tarmoqlar texnologiyalari va arxitekturas

9.1-rasmda, ulanuvchi optik tarmoqlarning turli variantlari keltirilgan:

- tola uygacha kiritiladi (shaxsiy foydalanuvchi binosigacha) – TUK (FTTH – Fibre To the Home)
- tola kabinetgacha kiritiladi (ofis, korxona) –TKK (FTT Cab – Fibre To the cabinet);
- tola binogacha kiritiladi (foydalanuvchilar guruxiga) – TBK (FTTB-Fiber To The Building).
- tola taqsimlovchi qutigacha (shkafgacha) kiritiladi (bir yoki bir necha bino oldigacha) TTK (FTTC-Fiber To The Curb).



9.1-rasm. Ulanuvchi optik tarmoqlarni tashkil qilishning turli variantlari

Telekommunikatsiya tarmoqlarida UOTlarni qurishda, ya'ni yangi rayonlardagi qurilishlarda, shuningdek mavjud tarmoqlarni takomillashtirib, to'liq ulanuvchi optik tarmoqlarni yaratishda rivojlanishning zamonaviy dunyoviy tajribasini hisobga olish lozim.

Ulanuvchi optik tarmoqlarni loyihalash va qurish:

- yangi qurilayotgan rayonlarni telefonlashtirishda;
- qo'shimcha telefonlashtirish yoki kabelli televidenie tarmoqlarini yaratishda;

- kelajagi rivojlanishi mumkin bo'lgan ustma ust qo'yilgan tarmoqlar, lokal ajratilgan tarmoqlarni yaratishda amalga oshadi.
9.2-rasmda quyidagilarni o'ziga biriktirgan ulanuvchi optik tarmoqning namunaviy konfiguratsiyasi keltirilgan:

- optik liniya yakuni-OLYA (OLT- Optical Line Terminal);
- optik tarmoq bloki- OTB (ONU- Optical Network Unit);
- optik taqsimlovchi tarmoq -OTT (ODN- Optical Distribution Network).

Bu erda:

TUK (FTTN)- tola uyga kiritiladi (shaxsiy foydalanuvchi binosi);

TKK (FTTSab)- tola kabinetga kiritiladi (ofis, korxona);

TBK (FTTB)- tola binoga kiritiladi (foydalanuvchilar guruhiga);

TTK (FTTS)- tola taqsimlovchi shkafga kiritiladi (bir yoki bir necha bino oldiga);

OTYA- optik tarmoq yakuni;

TYA - tarmoq yakuni;

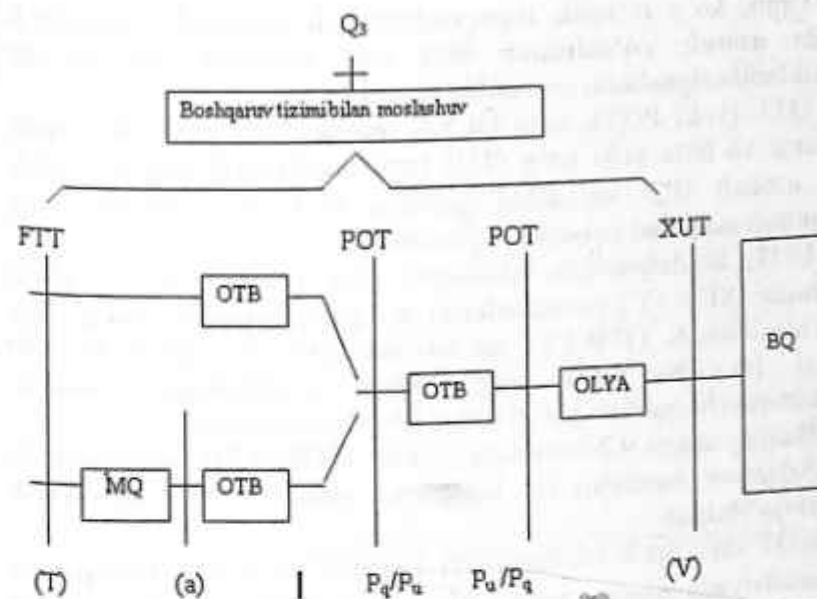
XUT - xizmat qiluvchi uzal tutashmasi (xizmatni etkazuvchi uzal yoki ulanish punkti);

FTT- foydalanuvchi tarmog'i tutashmasi.

Optik liniya yakuni, ulanuvchi optik tarmoqning stansiyaviy yakuni (xizmatni etkazuvchi stansiya yoki uzal) hisoblanadi.

OLYA, UOT ga transport tarmog'i (xizmat uzelli tutashmasi yoki xizmatni etkazish, XUT) tomondan tutashishni va P_u / P_q nuqtada optik taqsimlovchi tarmoq bilan optik tutashishni (tarmoqning passiv optik tutashish - TPOT) ta'minlaydi, masalan POT asosida OLYA bir yoki bir necha OTT larga ulanishi mumkin.

Optik tarmoq bloki abonent tomonidan ulanuvchi optik tarmoqning yakuni hisoblanadi. U foydalanuvchi tomonidan OTT blok (foydalanuvchi tarmoq tutashmasi, FTT) UOT tutashishini (bevosita yoki masofadan) ta'minlaydi, masalan POT asosida. OLYA bir yoki bir necha OTT bilan ulanishi mumkin.



9.2-rasm. Ulanuvchi optik tarmoqning namunaviy konfiguratsiyasi

OTB turlari tola uygacha kiritiluvchi topologiyada qo'llaniladigan va bevosita- foydalanuvchi porti funksiyasini bajaruvchi, foydalanuvchi tomondagi UOT yakuni bo'lishi mumkin. Bunday holda OTB, 9.1-rasmda ko'rsatilganidek optik tarmoq yakuni hisoblanadi.

OTB dan farqli OTYA (ONT- Optical Network Terminal) uchun shunisi xarakterliki, UOT boshqarish tizimining boshqaruv kanali tugaydi, chunki u ATM yacheykalarining sarlavhasida, SRI ning axborot tuzilishida (kadrida) Ethernet va boshqalarda uzatiladi. OTT, OLYA dan foydalanuvchiga (va teskarisi) optik uzatish vositasini ta'minlaydi, qonun bo'yicha passiv optik komponentlardan tashkil topgan va quyidagi funksiyalarni bajaradi:

- to'g'ri optik ulanishni ta'minlaydi (OLYA va OTB orasida bevosita optik signallarning almashish imkonini);
- chiqish (chiquvchi oqimlarni OLYA dan optik tarmoqlash).

Optik tarmoqlagichlar yordamida kirish oqimlarini (OLYA ga) birlashtirishni amalga oshiradi.

Optik ko'p to'liqli transportlashtirish imkonini ta'minlaydi (ikkala uzatish yo'nalishida bitta tola bo'yicha turli to'liqli uzunliklarida signallarni bir vaqtda uzatish).

OTT (yoki POT), bitta OLYA orasida bitta yoki ko'p optik traktlarni va bitta yoki ko'p OTB larni ta'minlaydi. Har bir optik trakt uzatish (P_u) va qabul qilishda (P_q) optik tutashishning me'yorlash nuqtalari orasida aniqlanadi.

UOT, foydalanuvchi tutashmasi FTT (T) va xizmat uzeli tutashmasi XUT (V) parametrlarini me'yorlash nuqtalari orasidagi tizim hisoblanadi. OTB FTT ga mis simlar orqali raqamli abonent liniyasi bo'yicha UOT ning oxirgi uchastkasiga uzatishda moslashtiruvchi qurilma (MQ) orqali ulanishi mumkin.

Buning uchun 9.2-rasmdagi xolatda, OTB va MQ orasida (yoki AF- Adaption function) (a) tutashma parametrlarini me'yorlash nuqtasi qo'shilgan.

UOT da optik o'lchashlarni bajarish va texnik xizmat va ekspluatatsiyada nazorat uchun ulanish nuqtasiga qarab chiqilgan bo'lishi lozim. Bu nuqtalar OLYA, OTB/OTYA da, OTT/POT da joylashishi mumkin. 9.2-rasmda ko'rsatilganidek Q_3 turidagi tutashma orqali telekommunikatsiya boshqaruv tizimlari bilan moslashish ta'minlangan bo'lishi kerak.

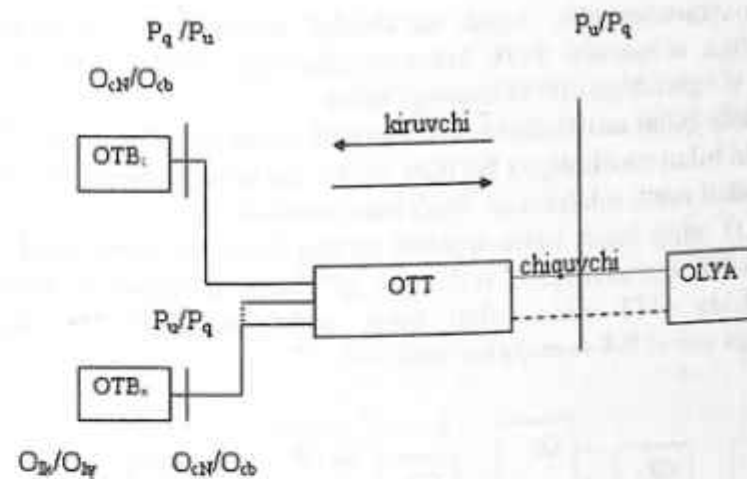
9.3-rasmda OTT (POT) ning tuzilish sxemasi ko'rsatilgan. To'g'ri liniyalar yoki undan ko'p optik tolalarni bildiradi. Punktir liniya qo'shimcha zahira tolani bildiradi.

OTT/POT da optik signallarni uzatuvchi ikki yo'nalish quyidagicha aniqlanadi.

- OLYA dan bir yoki bir necha OTB ga tushuvchi signallar uchun kirish yo'nalishi;
- bir yoki bir necha OTB dagi OLYA ga tushuvchi signallar uchun chiqish yo'nalishi.

Chiqish va kirish yo'nalishida uzatganda bir tolani va uning komponentlarini yoki turli optik tola va ularning komponentlarini qo'llash mumkin.

Agar OTT/POT rekonfiguratsiyasi uchun qo'shimcha ulagichlar yoki passiv qurilmalar talab etilsa, ular P_u va P_q nuqtalari orasida joylashish kerak, so'nishni esa optik yo'qotishning har qanday hisobida nazarda tutish lozim.



9.3-rasm. Optik taqsimlovchi tarmoqning tuzilish sxemasi

9.3-rasmda quyidagi optik tutashmalar belgilangan.

- O_{SN} , O_{SV} – kirish va chiqish yo'nalishlari uchun mos holda OTB va OTT/POT orasida P_q/P_u larni me'yorlash nuqtasida optik tutashma;
- O_{LN} , O_{LV} – kirish va chiqish yo'nalishlari uchun mos holda OLYA va OTT/POT orasida P_q/P_u larni me'yorlash nuqtasida optik tutashma;

OTT, OTT/POT ning o'zida kengaytirilgan o'zgarish o'tkazish zarur bo'lmagan, har qanday taxmin qilingan xizmatlarning har qandayini ta'minlashi lozim.

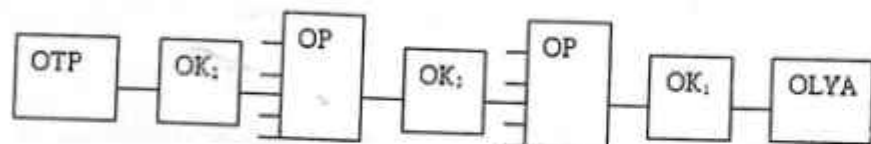
Bu talab POT tarkibiga kiruvchi passiv optik komponentlarning xususiyatiga ta'sir ko'rsatadi. POTning bevosita optik xususiyatlariga ta'sir qiluvchi bir qator muxim talablar quyidagicha aniqlanadi:

- optik to'liqli uzunligi bo'yicha shaffoflik, bunday qurilmalarga to'liqli uzunligi bo'yicha tanlash funksiyani bajarishga mo'ljallanmagan optik tarmoqlagichlar 1310 mkm va 1550 mkm diapazonida har qanday to'liqli uzunligi bo'yicha signallarni uzatishni ta'minlashi lozim.

– qaytaruvchanlik: kirish va chiqish parametrlarining teskari yoʻnalishga oʻzgarishi POT komponentlarining optik yoʻqotishini sezilarli oʻzgarishiga olib kelmasligi kerak.

– tola bilan moslashishi: barcha optik komponentlar bir modali optik tola bilan moslashgan boʻlishi lozim, umuman olganda POT da koʻp modali optik tolalarni qoʻllash ham mumkin.

UOT ning tolali optik traktini qoʻllaydigan soʻnishni oshirish uchun optik kuchaytirgich (OK) lar qoʻllanilishi mumkin. Kirish yoʻqotishida OTT ning tolali optik trakti tarkibida OK larni qoʻllashga misol 9.4-rasmda koʻrsatilgan.



9.4-rasm. OTT da OK larning qoʻllashga misol

9.4-rasmdan koʻrinib turibdiki umumiy holda 3 turdagi OK qoʻllanilishi mumkin:

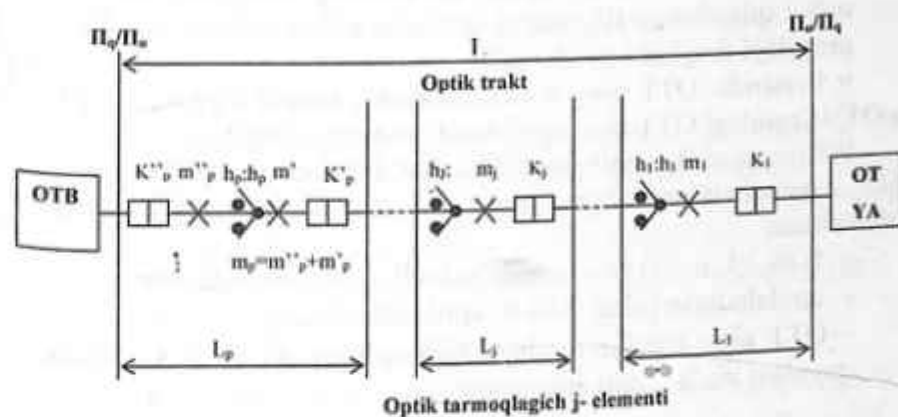
- OK₁ – uzatishda optik kuchaytirgich (booster);
- OK₂ – qabul qilishda optik kuchaytirgich (preamplifier);
- OK₃ – oraliq kuchaytirgich (line amplifier).

OK larni qoʻllash, UOT uchun xarakterli boʻlgan, optik tarmoqlarda optik qurilmaning quvvatini bir qismi juda katta miqdorda tarqatilishi bilan bogʻliq boʻlgan tolali optik traktida qoʻshimcha tarqatishlarni kompleksiyalash imkonini beradi. OK larni, UOT ning boshqa qurilmalari bilan birga bir binoda (oʻrnatilgan joyda) oʻrnatish tavsiya etiladi, masalan, OK₁ ni OLYA ning qurilmasi bilan birga, OK₂ ni esa OTB qurilmasi bilan birga joylashtirish mumkin. Bu esa elektr taʼminoti va texnik xizmat savollarini ancha ratsional echish imkonini beradi.

UOT larning tolali-optik traktidan mumkin boʻlgan yoʻqotish P_u va P_q va P_q/P_u nuqtalari orasidagi yoʻqotish kabi aniqlanadi (9.5-rasm). Ular asosan optik toladagi soʻnishning kilometrik yoʻqotishi va POT ning passiv optik komponentlari yoʻqotishini birlashtiradi

(ajraluvchi optik ulagichlar, ajralmas ulagich, optik tarmoqlagichlar va x.k.).

OTT dagi yoʻqotish hisobi, OTB va OLYA tomonida P_q/P_u optik tutashmalar nuqtalari orasida aniqlanadi. (9.3 va 9.5- rasmlarda koʻrsatilgan).



- ulagich
- ajralmas ulagich
- optik tarmoqlagich

9.5 – rasm. OLYA va OTB orasidagi OTT ning tolali optik trakti sxemasi

Bu yerda:

- α_{au} (dB/km) – ajraluvchi ulagichdagi yoʻqotish;
- α_{ot} (dB/km) – optik tolada kilometrga toʻgʻri keluvchi soʻnish;
- α_{amu} – ajralmas ulagichdagi yoʻqotish;
- α (dB) – tarmoqlagich olib kelgan soʻnish.
- O_{in}/O_{sv} va O_{in}/O_{lv} optik tutashmalarining fizik sathi (6.3-rasmga qaralsin) bir necha optik tola uchun aniqlanishi mumkin.
- UOT larning muxim xarakteristikalarini quyidagilarda iborat:
- OTT ning optik traktida yoʻqotishning maksimal farqi qoʻllaniladigan soʻnishning maksimal qiymati, juda yomon

ekspluatatsiya sharoitida, hizmat muddati tugaganda uzatishda optik nurlanish quvvatining maksimal sathi va qabul qilgich sezuvchanligining maksimal sathi orasidagi farq kabi aniqlanadi;

– qo'llaniladigan so'nishning maksimal qiymati, uzatishdagi (P_u nuqtada) optik ko'rinish quvvatining maksimal sathi va qabul qilgichning (P_q nuqta) oshiqcha yukni maksimal sathlari orasidagi farq kabi aniqlanadi.

9.5-rasmda, OTT ning R uchastkasidan tashkil topgan, OLYA va OTB orasidagi OTT ning optik trakti sxemasi keltirilgan.

9.5-rasmdan ko'rinish turibdiki, har bir i-chi uchastka passiv optik komponentlar bilan birga L_j uzunlikdagi optik tolani birlashtiradi:

- h_j ($h_j > 1$, $n_j > 1$) tarmoqlash nisbatli optik tarmoqlagich;
- ajralaladigan (ulagichli) K_j optik ulagichlari;
- OTT ning har bir j-nchi uchastkasidagi A_j (dB) yo'qotish quyidagi ifoda orqali aniqlanadi

$$A_j = \alpha_{ay} K_j + \alpha_{OT} L_j + m_j \alpha_{amy} + \alpha_{Hn} - 10 \lg n_j.$$

OTTning j ichi uchastkasidagi ajralmas ulagichlar soni quyidagicha aniqlanadi:

$$m_j = m_{dj} L_j + m_{nj} L_j + m_{aj}.$$

Bu erda:

m_{dj} – loyihalashtirish va OTT inshootlari jarayonida OT ning uzunlik birligiga rejalashtirilgan ajralmas ulagichlarining o'rtacha soni (kabelning qurilish uzunligi orasida);

m_{nj} – OTT ekspluatatsiya jarayonida kabeldagi ta'mirlashlar tufayli optik tolaning uzunligi birligidagi ajralmas ulagichlarining o'rtacha soni;

m_{aj} – loyihalashtirish va OTT inshootlari jarayonida (agar bu j-ichi uchastkada kerakli bo'lsa) OTB qurilmalari bilan optik trakti ulaganda rejalashtirilgan qo'shimcha ajralmas ulagichlar soni;

Umuman olganda OTTning tolali optik trakti quyidagilardan tashkil topgan:

– $L = \sum_{j=1}^m L_j$ uzunliklar yig'indisiga ega optik tola;

– P, optik tarmoqlagichlar;

– $M = \sum_{j=1}^P m_j$ ajralmas ulagichlar;

Butun optik trakt uchun tarmoqlashning yig'indi nisbati

$$n = \prod_{j=1}^P n_j$$

ni tashkil etadi.

Tolani shkafga kiritish tolani binoga kiritish yoki tolani uyga kiritish turidagi abonent tomonda tarmoqqa ulanish arxitekturasini va arxitekturalar aralashmasi, aniq loyihalashda OTT/POT arxitekturasini quyida keltirilgan omillarni hisoblagan holda amalga oshadi:

– mavjud bo'lgan ulanuvchi tarmoq infrotuzilishi, takomillashtirish;

– abonentlarning topologik taqsimlanishi;

– telekommunikatsiya xizmatlariga tez va moslashgan holda universal ulanishni ta'minlash uchun, mavjud va kelgusidagi telekommunikatsiya tarmoqlariga yangi abonentlarni ulash imkoniyati;

– OLYA va OTB orasida masofa qiymati;

– mavjud texnologiyalarda ancha o'zgargan xizmatlar majmuasini etkazishga imkon beruvchi turli o'tkazuvchanlik qobiliyatiga ega optik traktlardagi talablar;

– ishonchlilik va foydalana olishlik;

– optik tarmoq bloklarining elektr ta'minoti;

– tolali optik kabelning sig'imi;

– xavfsizlik;

– ekspluatatsiya va texnik xizmati;

– olib kelinadigan investitsiya va ekspluatatsiya xarajatlari va boshqalarning pasayishi;

OTT/POT arxitekturasini nuqta, ko'p nuqta va nuqta – nuqta turida bo'lishi mumkin.

Nuqta–nuqta arxitekturasida har bir abonentga optik kabelning alohida tolasi tortiladi.

Nuqta, ko'p nuqta arxitekturasini xizmat etkaziladigan uzeldan abonent yoki abonentlar sezilarli darajada uzoqda joylashgan bo'lganda qo'llaniladi.

Bunday holda optik kabelning bitta tolasi bo'ylab taqsimlovchi nuqtada, optik kabelning aloxida optik tolasi bo'ylab keyinchalik abonentlarga etkaziladigan shaxsiy abonentlarning oqimlarini ajratuvchi guruxli abonentlarning oqimlari uzatiladi.

OTT/POT ning nuqta, ko'p nuqta arxitekturasini qo'llaganda daraxtsimon shina, xalqa va ularning aralashmali tuzilishini qo'llash mumkin.

9.1- jadvalda passiv optik tarmoqlarga ulanuvchi texnologiyalar keltirilgan.

9.1 – jadval

PON texnologiyalari			
Texnologiya	ATM PON (A-PON), broad band PON (B-PON)	Ethernet PON (E-PON)	Gigabit – PON (G – PON)
Chiqish oqimi tezligi, Gb/c	0,155/0,622	1,25	1,25 yoki 2,5
Kirish oqimi tezligi, Gb/c	0,155/0,622	1,25	0,155/0,622/1,25/2,5
Xususiyatlari	Multipleksorli trafiklarni (ovoz ajratilgan liniya, Ethernet, video); transportlashtirish, asimmetrik yoki simmetrik ish rejimi	Multipleksorli trafiklarni transportlashtirish -ni imkoni (asosiy vazifasi Ethernet trafiklarini transportlashtirish) Simmetrik ish rejimi	Multipleksorli trafiklarni transportlashtirish (ovoz, ajratilgan liniya, Ethernet video); IP – trafiklarni uzatish yo'nalishini kengaytirish

9.3. Abonent ulanuvchi optik aloqa tarmoqlarining tasnifi va uning asosiy parametrlariga qo'yiladigan talablar

Sig'im yoki o'tkazish qobiliyati bo'yicha ulanuvchi optik tarmoq tasnifi 64 kbit/s (V) o'tkazish qobiliyatli asosiy raqamli kanallar (ARK) soniga bog'liq holda amalga oshiriladi.

Sig'im (o'tkazish qobiliyati) ga bog'liq ravishda ulanuvchi optik tarmoq (UOT) ning optik tarmoq bloklari uch sinf bo'lishi mumkin:

- 1 sinf – juda bo'lmaganda, 2 V;
- 2 sinf – juda bo'lmaganda, 32 V;
- 3 sinf – juda bo'lmaganda, 64 V.

Bunda agar ARK bilan uzatilsa, boshqaruv va signalizatsiya kanallari hisobga olinmaydi.

Uchchala optik tarmoq bloklari (OTB) ning barchasi, 6.15-rasmda ko'rsatilgan, tolani uygacha kirgizish (TUK), tolani kabinetgacha kirgizish (TKK), tolani binogacha kirgizish (TBK) va tolani shkafgacha kirgizish (TTK) kabi tarmoq topologiyalarida qo'llanilishi mumkin.

OTB sinflari OTB foydalanuvchisi tomonidan maksimum talablar bilan aniqlanadi.

Sig'im (o'tkazish qobiliyati) ga bog'liq holda UOT ikki turga bo'linadi:

1 tur – juda bo'lmaganda 800 V yig'indi sig'imli OTT ning

9.2-jadval

Masofa	1 turdagi UOT	2 turdagi UOT
20 km	Tarmoqlanish nisbati, juda bo'lmaganda, 16	Tarmoqlanish nisbati, juda bo'lmaganda, 8
10 km	Tarmoqlanish nisbati, juda bo'lmaganda, 32	Tarmoqlanish nisbati, juda bo'lmaganda, 16

4 ulanish joyi va OTT ning xar bir ulanish joyining sig'imi juda bo'lmaganda 200 V;

- 2 tur – juda bo'lmaganda 800 V yig'indi sig'imli OTT ning 4 ulanish joyi va OTT ning xar bir ulanish joyining sig'imi juda bo'lmaganda 100 V.

Optik traktidagi yo'qotishlar diapazoniga bog'liq holda optik taqsimlovchi tarmoq (OTT) ning uch sinfi bo'lishi mumkin:

- A sinf – 5 dan 20 dB gacha;
- V sinf – 10 dan 25 dB gacha;
- S sinf – 15 dan 30 dB gacha.

Optik tarmoqlagichlarga ega bo'lmagan, nuqta-nuqta arxitekturasi uchun yig'indi optik yo'qotishlar 5 dB dan katta bo'lmashligi mumkin.

9.3.1. Abonent ulanuvchi optik aloqa tarmoq'ining asosiy parametrlariga qo'yiladigan talablar

Uzatish kategoriyasi va nominal uzatish tezligiga muvofiq aniqlanuvchi, UOT da integral xizmatning keng polosali raqamli tarmog'i qo'llanilgan xol uchun O_{sv} , O_{sn} , O_{lv} , O_{ln} nuqtalarda optik ulanish joyining parametrlari 9.3-jadvalga muvofiq 9.4, 9.5 va 9.6-jadvallarda keltirilgan.

9.3-jadval

Uzatish yo'nalishi	Nominal tezlik, Mbit/s	Jadval
Chiqish	155,52	3
	622,08	4
Kirish	155,52	5

Agar parametrning qiymati optik ulanish joyining tasnifi uchun muhim bo'lmasa, unda 9.3, 9.4 va 9.5-jadvallarda ko'rsatilgan. Q_y – qo'llanilmaydi.

Dupleksli uzatish uchun to'lqin uzunligi bo'yicha zichlashtirishli bir tola yoki juft tola ishlatilishi mumkin. Optik tola turi XE1-T G.652 tavsiyasiga muvofiq tanlanadi.

9.4-jadval

Parametrlar	O'lchov birligi	Bir tola	Juft tola
Optik liniya yakuni (OLYA)ning uzatgichi (O_{lv} optik ulanish joyi)			
Nominal uzatish tezligi	Mbit/s	155,52	155,52
To'lqin uzunligining ishchi diapazoni	nm	1480-1580	1260-1360
Liniyadagi kod		Skrembrlan-gan NRZ	Skrembrlan-gan NRZ
Uzatishda optik signal xarakteristikalar (ko'z diagrammasi) :		6.16 – rasm	
Optik signalning chastota polosasida o'lchangan, uzatgichning aks etish koeffitsienti, katta emas	dB	Q_y	Q_y
OTT optik ulanish joylari (O_{lv} va O_{ln} nuqtalari) da aks etish so'nishi, 1), 2) dan kichik emas	dB	32	32
OTT sinfi		V	S
Nurlanadigan quvvatning minimal sathi	dBq	-4	-2
Nurlanadigan quvvatning maksimal sathi	dBq	+2	+4
Uzatgichga o'chirilgan kirishdagi optik nurlanish quvvatining sathi	dBq	Q_y	Q_y
So'nish koeffitsienti, kichik emas	dB	10	10
Uzatgich quvvati fluktuatsiyasiga ruxsat, kichik emas	dB	-15	-15
Lazer turi KMLD bo'lsa, spektrning o'rtacha kvadratik kengligi	nm	1,8	5,8
Lazer turi BMLD 3 bo'lsa, - 20 dB sathda spektr kengligi	nm	1	1

9.4-jadval davomi

Lazer turi BMLD bo'lsa, yon modani so'ndirish koeffitsienti	dB	30	20
OTB ning qabul qilgichi (O_{av} optik ulanish joyi)			
Optik signalning chastota polosasida o'lchangan, qabul qilgichning aks etish koeffitsienti, katta emas	dB	-20	-20
Xatolik koeffitsienti, katta emas		10^{-10}	10^{-10}
OTT sinfi		V	S
Sezgirlik sathi	dBq	-30	-33
O'ta yuklanish sathi	dBq	-8	-11
Tasodifiy raqamli ketma-ketlikka immunitet, kichik emas	bit	72	72
Ruxsat etilgan fazali titrash	TI	1.15 rasm va 1.6-jadvalga muvofiq	
Aks etgan optik quvvatga bo'lgan ruxsat, katta emas	dB	10	10

9.5-jadval

Parametrlar	O'lchov birligi	Bir tola	Juft tola
OLYA ning uzatgichi (O_{lv} optik ulanish joyi)			
Nominal uzatish tezligi	Mbit/s	622,08	622,08
To'liq uzunligining ishchi diapazoni	nm	1480-1580	1260-1360
Liniyadagi kod		Skrembrlangan NRZ	Skrembrlangan NRZ
Uzatishda optik signal xarakteristikalar (ko'z diagrammasi)		6.16 - rasm	
Optik signalning chastota polosasida o'lchangan, uzatgichning aks etish koeffitsienti, katta emas	dB	Q_y	Q_y

9.5-jadval davomi

OTT optik ulanish joylari (O_{lv} va O_{ln} nuqtalari) da aks etish so'nishi, 1), 2) dan kichik emas	dB	32	32
OTT sinfi		V	S
Nurlanadigan quvvatning minimal sathi	dBq	-4	-2
Nurlanadigan quvvatning maksimal sathi	dBq	+2	+4
Uzatgichga o'chirilgan kirishdagi optik nurlanish quvvatining sathi	dBq	Q_y	Q_y
So'nish koeffitsienti, kichik emas	dB	10	10
Uzatgich quvvati fluktuatsiyasiga ruxsat, kichik emas	dB	-15	-15
Lazer turi KMLD bo'lsa, spektrning o'rtacha kvadratik kengligi	nm	Q_y	1,4
Lazer turi BMLD 3) bo'lsa, -20 dB sathda spektr kengligi	nm	1	1
Lazer turi BMLD bo'lsa, yon modani so'ndirish koeffitsienti	dB	30	30
OTB qabul qilgichi (O_{av} optik ulanish joyi)			
Optik signalning chastota polosasida o'lchangan, qabul qilgichning aks etish koeffitsienti, katta emas	dB	-20	-20
Xatolik koeffitsienti, katta emas		10^{-10}	10^{-10}
OTT sinfi		V	S
Sezgirlik sathi	dBq	-28	-33
O'ta yuklanish sathi	dBq	-6	-11
Tasodifiy raqamli ketma-ketlikka immunitet, kichik emas	bit	72	72
Ruxsat etilgan fazali titrash	TI	6.15 rasm va 6.7-jadvalga muvofiq	
Aks etgan optik quvvatga bo'lgan ruxsat, katta emas	dB	10	10

9.6-jadval

Parametrlar	O'lchov birligi	Bir tola	Juft tola
OTB uzatgichi (O_m optik ulanish joyi)			
Nominal uzatish tezligi	Mbit/s	155,52	155,52
To'liq uzunligining ishchi diapazoni	nm	1260-1360	1260-1360
Liniyadagi kod		Skrembrlangan NRZ	Skrembrlangan NRZ
Uzatishda optik signal xarakteristikalarini (ko'z diagrammasi)		1.16-rasm	
Optik signalning chastota polosasida o'lchangan, uzatgichning aks etish koeffitsienti, katta emas	dB	-6	-6
OTT optik ulanish joylari (O_v va O_m nuqtalari) da aks etish so'ni-shi, 1), 2) dan kichik emas	dB	32	32
OTT sinfi		V	S
Nurlanadigan quvvatning minimal sathi	dBq	-4	-2
Nurlanadigan quvvatning maksimal sathi	dBq	+2	+4
Uzatgichga o'chirilgan kirishdagi optik nurlanish quvvatining sathi (sezgirlik sathi)	dBq	Minimal (-10)	Minimal (-10)
So'nish koeffitsienti, kichik emas	dB	10	10
Uzatgich quvvatining fluktuatsiyasiga ruxsat, kichik emas	dB	-15	-15
Lazer turi KMLD bo'lsa, spektrning o'rtacha kvadratik kengligi	nm	5,8	5,8
Lazer turi BMLD (3 eslatma) bo'lsa, -20 dB sathda spektr kengligi	nm	1	1
Lazer turi BMLD bo'lsa, yon modani so'ndirish koeffitsienti	dB	30	30

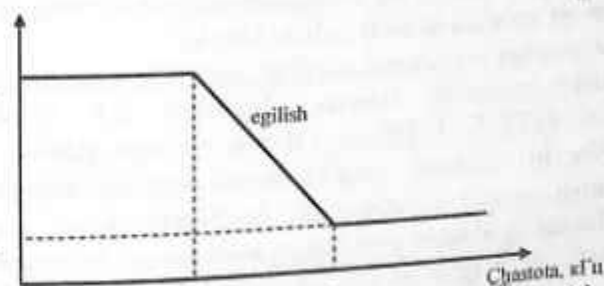
9.6-jadval davomi

Fazali titrashning uzatish koeffitsienti		6.15 - rasm va 6.7 jadvalga muvofiq			
Uzatishda optik signalning fazali titrashi	TI_{RMS}	0,02		0,02	
OLYA ning qabul qilgichi (O_m optik ulanish joyi)					
Optik signalning chastota polosasida o'lchangan, qabul qilgichning aks etish koeffitsienti, katta emas	dB	-20		-20	
Xatolik koeffitsienti, katta emas		10^{-10}		10^{-10}	
OTT sinfi		V	S	V	S
Sezgirlik sathi	dBq	-30	-33	-30	-33
O'ta yuklanish sathi	dBq	-8	-11	-9	-12
Tasodifiy raqamli ketma-ketlikka immunitet, kichik emas		72		72	
Ruxsat etilgan fazali titrash	TI	Q_v		Q_s	
Aks etgan optik quvvatga bo'lgan ruxsat, katta emas	dB	10		10	

Eslatma- 1), 2), 3), belgilashlarga quyidagilar ta'liqli:

- OTT optik ulanish joylarining O_m/O_v va O_m/O_v nuqtalarida aks etish so'nishining qiymati ma'lum xolatlar uchun 20 dB dan kichik bo'lmashligi mumkin.
- OTT optik ulanish joylarining O_m/O_v va O_m/O_v nuqtalarida aks etish so'nishi qachonki 20 dB ni tashkil etsa OTB uzatgichining aks etish koeffitsientining qiymati jadvallarda keltirilganlardan farqlanishi mumkin.
- 20 dB sathda spektr kengligining va yon modani kamaytirish koeffitsientining qiymati OST 45.109 ga muvofiq keladi.

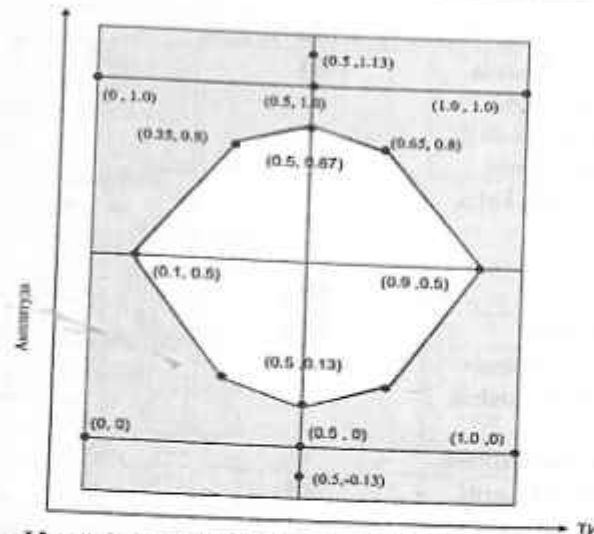
Birlamchi traktli
intervallarda kirish
fazali



9.15-rasm. Birlamchi traktli intervallarda kirish fazali titrashi amplitudasining chastotaga bog'liqligi

9.7- jadval

Uzatish tezligi, Mbit/s	f_1 , kGs	f_0 , kGs	A_1 , (TI)	A_2 , (TI)
155,52/155,52	65	6,5	0,075	0,75
155,52/622,08	250	25	0,075	0,75



9.16-rasm. Yuqoriga ko'tarilish yo'nalishida uzatish signali uchun ko'zli diagramma maskasi

9.4. Nazorat va boshqaruv tizimi

Loyihalashtirilayotgan UOT ning nazorat va boshqaruv tizimi texnik ekspluatatsiya va boshqaruv tizimlarini tashkil etish va qurish prinsiplari asosida tashkil etilishi kerak.

Zamonaviy texnologiyalar asosida yaratilgan UOT texnik ekspluatatsiyasining barcha ob'ektlari deb hisoblash mumkin bo'lgan, OTYA, OTB va OLYA lar xaqiqatdan, boshqariluvchi ob'ektlar hisoblanadi, chunki ularda boshqariladigan texnik xizmat ko'rsatish asosiy hisoblanadi, boshqaruv tizimi esa XEI-T ning M.3010 tavsiyalarida yoritilgan, telekommunikatsiyalarni boshqaruv tarmog'i prinsiplariga to'liq muvofiq keladi. SHuning uchun telekommunikatsiyalarni boshqaruv tarmog'i (TBT) da UOT ning asosiy elementlari: OTYA, OTB va OLYA lar tarmoq elementlari (TE) hisoblanadi.

Bu TE larining tarkibiga kiruvchi nazoratgichlar amalda agent yoki menedjer vazifasini bajaradi va boshqaruv ulanish joyi orqali TBT bilan muvofiqlashtirishni va boshqaruv kanali orqali OTYA nazoratini amalga oshiradi. UOT uchun TBT XEI-T M.3010 tavsiyasi bo'yicha ikki sathda ishlashi kerak:

- tarmoq sathi, ya'ni UOT ni boshqarish;
- element sathi, ya'ni TE boshqarish;

TBT ning bu ikkala sathida quyidagi asosiy operatsiyalar bajarilishi kerak:

- boshqaruv tizimiga ulanish;
- konfiguratsiyalash;
- avariya axborotini qayd etish va signalizatsiya;
- sifat nazorati.

Boshqaruv va nazorat kanallari Q_3 turdagi ulanish joyi orqali operatsion tizim va TBT ning boshqa komponentlari bilan TE orasidagi aloqa uchun ma'lumotlar uzatish tarmog'ini tashkil etadi.

Apparat sathida UOT TBT ga ishchi stansiya (maxsuslashtirilgan kompyuter), maxalliy terminal (shaxsiy kompyuter) va OLYA, OTB va OTYA nazoratgichlari kiradi. Dasturlash sathida UOT TBT o'zida ishchi stansiya uchun operatsion tizimni va maxalliy terminal uchun maxsus dasturiy ta'minotni mujassamlaydi. Texnik xodimni TBT bilan o'zaro ta'siri RS, MT va istalgan TE orasida F turdagi ulanish joyi orqali amalga oshiriladi.

Loyihalash bosqichida, foydalanishga kiritishda OTT ning texnik ekspluatatsiyasi, ekspluatatsiya jarayonida texnik xizmat ko'rsatish va ta'mirlash - qayta tiklash ishlari maxsus ishlab chiqarilgan normativ xujjatlar asosida amalga oshirilishi kerak.

9.5. Passiv optik aloqa tarmoq texnologiyalari

9.5.1. Passiv optik texnologiyalarining xususiyatlari

PON ning passiv optik tarmoqlari asosidagi daraxtsimon topologiyasidan PON texnologiyasi asosidagi "nuqta - ko'p nuqta" mantiqiy topologiyasidan foydalaniladi. Markaziy tugunning bitta portiga o'nlab abonentni qamrab oluvchi daraxtsimon arxitektura asosidagi butun boshli optik-tolali segmentni ulash mumkin. Bunda

daraxtning oraliq tugunlarida manba va xizmat talab qilmaydigan zich, to'liq passiv optik ajratgichlar (splitterlar) o'rnatiladi.

PON arxitekturasining afzalliklari:

- oraliq aktiv tugunlarning yo'qligi;
- markaziy tugunda optik uzatgich va qabul qilgichlarning tejalishi;
- tolaning tejalishi;
- yangi abonentlarni ulashning engilligi va xizmat ko'rsatishning qulayligi.

Ko'p nuqtali daraxtsimon topologiya abonentlar real joylashishni kelib chiqishi, optik kabelni yotqizishdagi xarajat va kabel tarmog'idagi ekspluatatsiya optik tarmoqlagichlarni joylashishini optimallashtirishga olib keladi.

Kamchiligiga PON texnologiyasining murakkabligi va oddiy daraxt topologiyasida zahiralashning yo'qligini kiritish mumkin.

PON tarmog'ining xususiyatlari:

- bir tola bo'ylab bir-biriga qarama-qarshi ikki uzunlikdagi (1550 nm va 1310 nm) to'lqinni uzatuvchi daraxtsimon arxitektura;
- Daraxtning oraliq tugunlarida passiv optik tarmoqlagichlar joylashadi;
- TDMA ulanish usulidan foydalanish abonentlar orasida o'tkazish polosasini moslashuvchan taqsimlanishiga yo'l qo'yadi;
- Markaziy tugundan kelayotgan bitta tolaga 32 ta abonent tugunlarini ulash mumkin;
- PON texnologiyasida kiruvchi trafikni keng ommaga etkazib berishda oqimlarni spektral ajratishdan va chiquvchi kanalda esa vaqt bo'yicha multipleksorlashdan foydalaniladi;
- Maksimal masofasi 20 km ni tashkil qiladi.

PON texnologiyasidagi asosiy terminlar quyidagilar:

Markaziy tugun *OLT* (optical line terminal) – markaziy ofisda o'rnatiladigan qurilma. Bu qurilma SNI (service node interfaces) orqali magistral tarmoqlardan ma'lumotlarni qabul qiladi va abonent tugunlariga kiruvchi oqimga shakllantiradi.

Abonent tuguni *ONT* (optical network terminal) bir tomondan abonent interfeysiga, boshqa tomondan uzatishda 1310 nm to'lqin uzunligida, qabul qilishda esa 1550 nm to'lqin uzunligida PON

daraxtiga ulanuvchi interfeysiga ega. *ONT* ma'lumotlarni *OLT* qabul qilib, ularni konvertlaydi va *UNI* (user network interfaces) abonent interfeyslari orqali uzatadi.

Optik tarmoqlagich – bu optik nurlanish oqimini bir yo'nalishda taqsimlaydigan va teskari yo'nalishda bir necha oqimlarni birlashtiradigan passiv optik ko'p qutblikdir. Umuman olganda tarmoqlagichda *M* kirish va *N* chiqish portlari bo'lishi mumkin. PON tarmog'ida ko'pincha bitta kirish portiga ega $1 \times N$ tarmoqlagichlar ishlatiladi.

O'tkazuvchanlik qobiliyatiga kelsak, uni ikki varianti mavjud:

- birinchisi, ikkala yo'nalishda ham ma'lumotlarni uzatish tezligi 155 Mbit/s bo'lgan simmetrik trafiklarga mo'ljallangan;
- ikkinchisi, assimetrik bo'lib, abonentdan tarmoqqa ma'lumotlarni uzatish 155 Mbit/s, tarmoqdan abonentga esa 622 Mbit/s tezlikda amalga oshadi.

Bunday texnologiyalarni qo'llaganda tarmoqlagichlar (yoki splitterlar) soni va kanal uzunligi, qo'llaniladigan lazerga va optik toladagi yo'qotishga bog'liq.

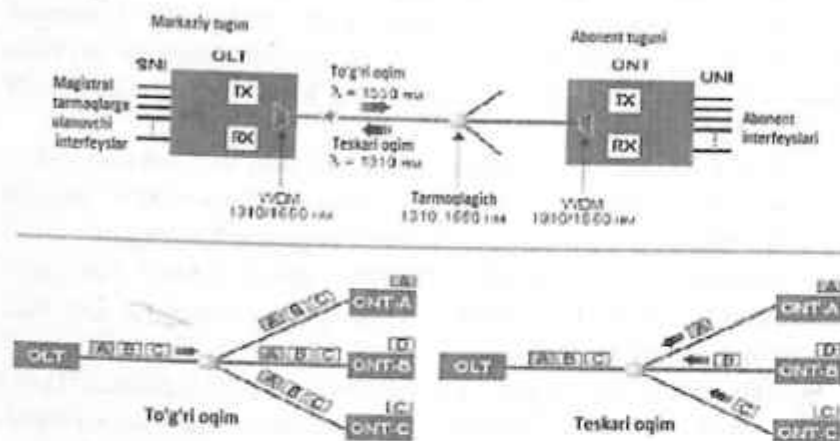
Bunday PON tarmog'ining bitta segmenti, 20 km gacha bo'lgan radiusda 32 abonentni ta'minlashi mumkin. Barcha abonent tugunlari terminaldir, ya'ni birorta tugun ishdan chiqsa yoki o'chirilsa boshqasini ishiga ta'sir qilmaydi.

Har bir abonent tuguni, oddiy xonadonga yoki yuzlab abonentlarga ega bo'lgan ofis binosidan iborat. Markaziy tugun PON ning 4 tagacha segmentini qo'llashi mumkin. Axborotlarni uzatish va qabul qilish uchun bir tola etarlidir. O'tkazuvchanlik oraliq'i esa abonentlar orasida dinamik tarqatiladi.

PON arxitekturasining asosiy g'oyasi o'zining markaziy tuguni *OLT* (Optical Line Terminal) da bitta qabul qilib, uzatuvchi modulni qo'llash va bu modul orqali ko'pgina abonent qurilmalari *ONT* (optical network terminal) ga axboratni uzatish va ulardan qabul qilishdan iborat. *OLT* ning bitta qabul qilib uzatuvchisiga ulangan abonent (*ONT*) lar soni, juda katta bo'lishi mumkin. Bu asosan quvvatga va qabul qilib uzatuvchi apparaturaning tezligi bilan bogliq. *OLT* dan *ONT* ga uzatiladigan ma'lumotlar oqimi uchun, tarmokdan abonentga ya'ni to'g'ri oqimlar uchun 1550 nm, turli abonent tugunlaridan markaziy tugunga ma'lumotlar oqimini uzatish (teskari oqim) uchun 1310 nm to'lqin uzunligi qo'llaniladi. *OLT* va *ONT*

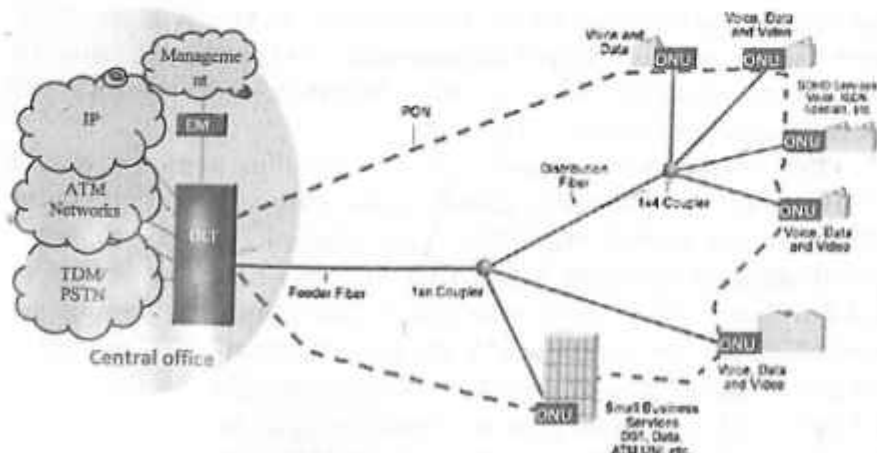
larda kirish va chiqish oqimlarini ajratish uchun multipleksorlar joylashgan. Endi bu texnologiyali passiv tarmoqlagichlar orqali oxirgi mijozlarga bog'lanishini qarab chiqamiz.

Quyidagi 9.17-rasmda PON texnologiyasining ishlash prinsipi ko'rsatilgan.



9.17-rasm. PON arxitekturasini asosiy elementlari va ishlash prinsipi

9.18-rasmdan ko'rinib turibdiki, passiv qurilmalar yordamida mijozlarga axborotlar tarqatiladi.



9.18-rasm. Passiv tarmoqlagichlar orqali oxirgi mijozlarga ulanish.

322

PON tarmog'i progmatic tarmoq modelini taklif qilgan holda o'zining kuch nisbatini o'zgartiradi. Bitta optik tolani, telefon tugunidan potensial mijozlar guruxiga ega bo'lgan rayon, korxona yoki shaxsiy foydalanuvchigacha etkazadi. Bunday operatorlar kabelni yotqizish uchun ketgan xarajatni qoplashiga juda ishonadi. Chunki operator shaharda xizmat qilishga mo'ljallangan, lekin qaysi korxona uning xizmati bilan qiziqishi noma'lum. Telefon tugunlarida lozim bo'lgan optik chiqishlarning mavjud emasligi va har bir mijoz territoriyasida ajratgich(birlashtirgich)larni joylashtirish nazarda tutilsa, bunday operatorning boshlang'ich xarajatlari zudlik bilan kamayadi. Agar shu territoriyada to'satdan yangi buyurtmachi paydo bo'lsa, qo'shimcha optik ulovchi liniyalarni yotqizish talab qilinmaydi, operator, PON ni ulovchi liniyaga qisqa liniya yotqizadi va tarmoqlagich joylashtiradi (agar kengaytirish imkoni bo'lsa).

PON texnologiyasining asosiy afzalliklari:

- Tolani jiddiy tejalishi. PON texnologiyasida 32 ta abonent tuguniga xizmat qo'rsatish uchun faqatgina bitta tola ishlatiladi.
- Tezligi. Optik tola juda katta o'tkazish qobiliyatiga ega.
- Ishonchliligi. Daraxtning oraliq tugunlarida xizmatni talab qilmaydigan faqat passiv optik tarmoqlagichlar joylashgan.
- Masshtabi. Ulanish tarmog'ining daraxtsimon strukturasini yangi abonentlarni eng tejamli usul bilan ulanishni mumkinligi.
- Moslashuvchanligi. ATM ni transport sifatida ishlatilishi abonentlarni talablaridagi aynan shu sathdagi xizmatlarni taqdim qiladi.

Asosiy kamchiliklari:

- tarmoqni tashkil qilishda eng avvalo markaziy tugunga investitsiyani talab etilishi;
- bir markaziy tugun atrofida 20 dan ortiq buyurtmachilarni talab etilishi;

Xulosa qilib shuni aytish mumkinki bunday tarmoqlar iqtisodiy tomonidan tejamli va keng polosali turli axborotlarni o'tkazish qobiliyatiga ega.

9.5.2. A-PON texnologiyasi

1990 yil o'rtalarida ko'pchilik nuqtai nazaridan faqat ATM Protokoligina oxirgi abonent bilan aloqa xizmatlari sifatiga QoS

muvofig qorantiya berish qobiliyatiga ega bo'lgan. Shuning uchun FSAN, PON tarmog'i orqali multiservis xizmatlarni transportini ta'minlashni, ATM texnologiyasiga asosan tanlagan. Natijada 1998 yil oktyabr oyida PON daraxtida ATM yacheykalarini asosida transport qiluvchi va A-PON (ATM PON) nomini olgan, ITU-T G.983.1 ning birinchi standarti paydo bo'ldi. Keyinchalik bir qancha yangi tuzatishlar va tavsiyalar paydo bo'lib, uzatish tezligi 622 Mbit/s gacha oshdi. 2001 yil martida PON standartiga yangi funksiyalar qo'shib, G.983.3 tavsiyasi paydo bo'ldi:

- turli xil ilovalarni(ovoz, video, ma'lumot) uzatish – bu ishlab chiqaruvchilarga magistral tarmoqlarga ulanish uchun OLT va abonentlarga ulanish uchun ONT larga mos interfeyslarni qo'shishni yo'lga qo'ydi.

- spektral diapazonni kengaytirilishi – PON ning aynan shu daraxti sharoitida boshqa to'lqin uzunligida qo'shimcha xizmatlar uchun imkoniyat yaratdi. Masalan, uchunchi to'lqin uzunligida keng ommaga eshittirish beradigan televidenie.

Shunday qilib A-PON standartini kengaytirilgandan keyingi nomi B-PON (broadband PON). A-PON ga hozirda turli ilovalar va turli ONT lar orasida polosani dinamik taqsimlanishi kiritilmoqda va ham keng polosali, ham tor polosali xizmatlarni taqdim qilishga mo'ljallangan.

Turli ishlab chiqaruvchilarning A-PON qurilmasi quyidagi magistral interfeyslarni qo'llaydi: SDH (STM-1), ATM (STM-1/4), Fast Ethernet, Gigabit Ethernet, video (SDI PAL), E1 (G.703) abonent interfeyslari, Ethernet 10/100Base-TX, (FXS) telefoniya.

Markaziy va abonent tugunlari bilan o'zaro ta'sirlashuvchi A-PON MAC protokoli. Abonent tuguni bilan markaziy tugunning o'zaro ta'sirlashuvi ulanish o'rnatish bilan boshlanadi. Shundan so'ng ma'lumotlar almashinishi sodir bo'ladi. Bularning barcha A-PON MAC protokoliga muvofiq bajariladi. Ulash o'rnatish jarayonida quyidagilarni o'z ichiga oluvchi ranjirlash protsedurasi ishga tushadi: masofa bo'yicha ranjirlash, quvvat bo'yicha ranjirlash va sinxPONizatsiya.

MAC protokoli A-PON ulanish tizimi uchun uchta masalani echadi:

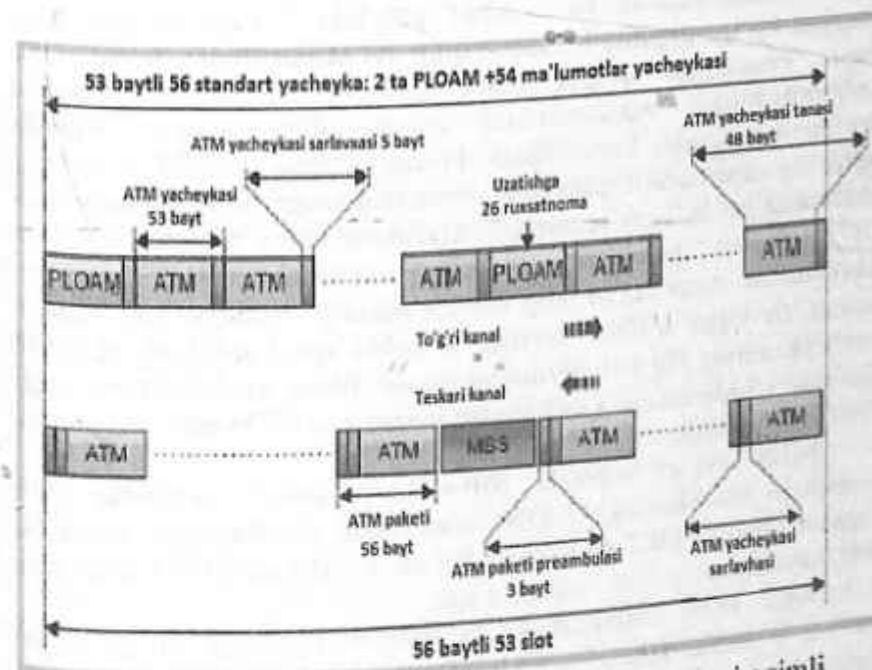
- teskari oqimdagi uzatishlarda kolliziyaning yo'qotilishi
- teskari oqimda polosani aniq, samarali dinamik bo'linishi

- ilova transporti uchun eng yaxshi moslashtirishni saqlashi

A-PON MAC protokoli so'rov/ruxsat mexanizmiga asoslanadi. Asosiy g'oyani ONT tomonidan talab qilingan polosani so'rovlarni jo'natish tashkil etadi. Yuklangan teskari oqim va qaysi xizmatlar ONT ga yoki boshqasiga o'rnatilganligi haqida bilimlarga asoslanib, OLT bu so'rovlarni qayta ishlash uchun qaror qabul qiladi.

So'rov/ruxsat mexanizmini boshqarish uchun FSAN A-PON kadrini strukturasi to'g'ri va teskari oqim uchun aniqladi. Bu format XEI-T ning G.983.1 tavsiyasiga binoan standartlashtirildi.

Yuqoridagi rasmda simmetrik rejimdagi 155/155Mbit/s trafik uchun A-PON kadrini formati keltirilgan. To'g'ri oqim kadri ATM ning 53 baytli 56 ta yacheykasidan tashkil topgan. Teskari oqim kadri ATM ning 56 baytli 52 ta paketidan va bitta umumiy uzunligi 56 bayt bo'lgan MBS slotidan tashkil topgan.



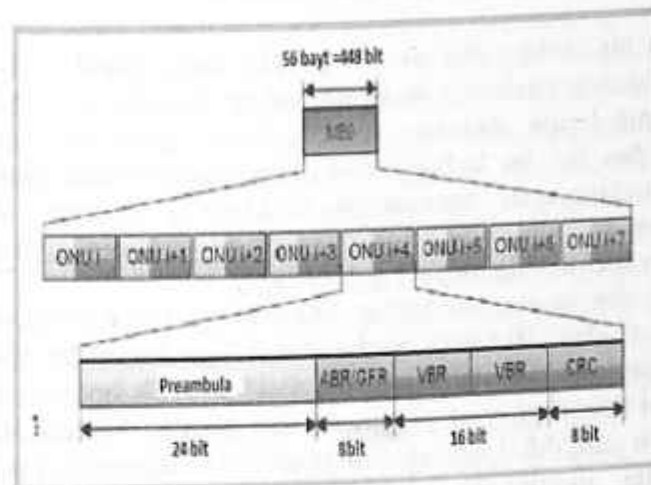
9.19-rasm. XEI G.983 kadrini formati – to'g'ri va teskari oqimli kadrini strukturasi

To'g'ri oqim. Uzatishga ruxsat ATM ning maxsus xizmat yacheykalari, ya'ni bunda PLOAM (physical layer operation and maintenance) ning fizik sathida ishlovchi va xizmat ko'rsatuvchi yacheyka deb nomlanuvchi ikkitasi bitta kadrda joylashgan pachkalar bilan jo'natiladi. Ular 27 ta ma'lumot yacheykasini takroriy, qattiq tartibda kuzatib boradi. PLOAM bitta yacheykasida har biri uzatishda ATM ning birgina paketi bo'lgan ONT uchun 26 ta ruxsatnoma joylashadi. Qolgan 54 ta yacheykalar to'g'ri oqim kadrda ma'lumotlar tashiydi va so'rov/ruxsat mexanizmiga ta'sir ko'rsatmaydi.

Teskari oqim. Teskari oqim turli ONT lardan birgalikdagi ma'lumotlar pachkasini ifodalaydi. Abonent tuguni ma'lumotlarni faqatgina PLOAM ning yacheykasidan o'qilgan mos ruxsatni olgandan keyingina uzatishi mumkin. Ma'lumotlar pachkasi ONT dan A-PON ga ATM paketlarida uzatiladi. ATM paketining yacheykadan yagona farqi ATM paketida 3 bayt preambulalar mavjud bo'lganligidir. Shunday qilib ATM paketining uzunligi 56 bayt. Preambula to'g'ri oqim yacheykalari uchun yuqorida ko'rsatilganidek ma'lumotlarni qabul qilish sinxron rejimda bo'lganligi sababli kerak emas. Preambulaning birinchi ikkita biti optik signalni tashkil qilmaydi, signalning tarqalishida liniyada shakl shubhasiz bo'ladigan arzimagan kechikishlarning tebranishi – turli ONT lardan paketlarni to'sishni o'rnatish uchun etarlicha hisoblanadi. Agar ATM ning har bir paketiga zarur bo'lgan uzatish uchun ruxsatga e'tibor bersak, u holda qayd qilingan PLOAM yacheykasining yig'indi qiymatini ruxsat etilgan davom etuvchi vaqti shu vaqt ichida barcha ONT lardan tarqatilgan ATM paketlari soniga mos kelishi kerak.

MBS.Teskari oqimda MBS ko'p karrali so'rovlar sloti xizmatchi hisoblanadi. U ONT tomonidan uzatilayotgan so'rovlar xarakteri haqida OLT ga axborot beradi. Bu slot turli ONT larga mos 8 ta maydon ostiga yoki minislota ega.

Agar PON sistemasi 32 ta abonent tuguniga mo'ljallangan bo'lsa, u holda faqatginassiklni hosil qiluvchi MBS ning to'rtta ketma-ket uzatilgan slotidan keyin uzatishda barcha 32 ta ONT so'rovlar haqida o'zining ma'lumotini uzatadi. 64 ta ONT dan iborat tizimda,ssikl sakkizta MBS slotidan tashkil topgan.



9.20-rasm. MBS slotning strukturasi

Bitta kadrni 155 Mbit/s tezlikda uzatish 0,15 ms davom etadi. 32 ta ONT da to'liqssiklni uzatishda 0,6 ms talab qilinadi. Boshqacha qilib aytganda, ONT 0,6 ms davomiyligida minipaketlarni, ma'lumotlarni uzatish mo'ljallangan xizmat so'rovlarini jo'natadi. ONT so'rovni uning chiqish buferida uzatishga navbat shakllanganda jo'natadi.

ONT faqat PLOAM yacheykasidan ruxsat olgandan so'ng uzata olganligi sababli, u holda shu lahzadan maksimal vaqtni baholashda, qachon uzatish boshlangan lahzagacha buferda navbat tayyorlangan bo'lsa, 0,6 mssikl vaqtiga RTT ni ikkilangan o'tish masofasida (20 km radiusdagi tarmoqlar uchun RTT 0,2 ms ni tashkil qiladi) kechikish vaqti qo'shish kerak bo'ladi va natijada 0,8 ms hosil bo'ladi. Bu qiymatga OLT va ONT lardagi apparat kechikish vaqtlari qo'shilishi mumkin.

Minislota 4 maydondan tashkil topgan: ATM paketidagi preambulaga o'xshash preambulalar (3 bayt); polosadagi ikki xil so'rovga mos keluvchi, 8 va 16 bit uzunlikdagi ABR/GFR va VBR ni ikkita maxsus maydoni va yig'indini nazorat maydoni CRC (8 bit) dan iborat.

9.5.3. E-PON texnologiyasi

Bundan bir necha yillar avval mahalliy tarmoqlarida Ethernet texnologiyasidan foydalanish juda ommabop hisoblangan. Ammo abonent tarmoqlarida bunday texnologiyani qo'llashni asosiy kamchiliklaridan biri bu kolliziyani hisobga olgan holda tasodifiy ulanishni aniqlanmagan mexanizmi CSMA/CD (Carrier sense multiple access with collision detection) ning mavjudligi tufayli aytib bo'lmaydigan kechikishlarga yo'l qo'yilishidir.

Biroq o'sha vaqtlardan buyon Ethernet ga katta o'zgarishlar kiritildi. Birinchidan, 10 Gbit/s gacha etuvchi tezlikning bir qancha standartlari yaratildi. Ikkinchidan, kolliziya va aytib bo'lmaydigan kechikishlarni unutishga yo'l qo'yuvchi Full Duplex Ethernet IEEE 802.3 standarti yaratildi. Uchinchidan, multiservis xizmatlarni tashkil qilishda yangi imkoniyatlarni beruvchi quyidagi standart va protokollar yaratildi:

- IEEE 802.1Q – virtual tarmoqlar (VLAN) va trafikni prioritetlashtirish.

- DiffServ (Differential Services) –tarmoqda trafikni har biri aniq bir QoS ni ta'minlovchi bir necha yirik sinflarga ajratishni ta'minlovchi OSI ISO modelini uchinchi sathidagi protokoli.

- MPLS (Multi Protocol Label Switching) – metkaldan foydalanishga asoslangan ko'p protokolli tarmoqlarda paketlarni tezda kommutatsiyalash uchun uchinchi sath protokollari guruhi.

Hozirgi kunda Ethernet asosidagi echim hammasidan ham ko'ra universal bo'lib va kundalik hayotimizga mustahkam kirib bormoqda. Ethernet tarmoqlari eng ko'p tarqalishga ega bo'ldi. Turli baholashlar tufayli, jami qiymati 320 milliondan ortiq portlar bilan jahondagi ishlatilayotgan barcha mahalliy tarmoqlarning 95% dan ortig'i Ethernet standartidan foydalanmoqda. Ethernet texnologiyasi tezlik nuqtai nazaridan ham, shiddatli rivojlanish va yangi interfeyslarni standartlashtirish nuqtai nazaridan ham samaraliroq bo'lib qoldi. Ayni vaqtda Gigabit Ethernet keng tarqalmoqda, hamda 10 Gigabit Ethernet asosidagi hammabop standart echimga aylanmoqda. Nihoyat, xizmat ko'rsatish va Ethernet tarmog'ini boshqarishni oddiyligi, hamda qiymatlarini pastligi tufayli shuhratga erishdi.

Ethernet juda ko'p yangi standartlar va protokollar bilan qurollanishga kirishganda, asosli savol tug'ildi, nima uchun Ethernet ni mahalliy va shaharlararo tarmoqlari orasida bog'lanish uchun Ethernet ni aynan shu standarti asosidagi PON ulanish tarmog'idan foydalanish mumkin emas? Bu masalani echish uchun 2000 yil EFM (Ethernet in the first mile – Ethernet birinchi milyada) hamda IEEE 803.3ah kodini olgan maxsus komissiya tuzildi.

803.3ah kodini olgan maxsus komissiya tuzildi.

E-PON uchun optik interfeyslar an'anaviy optik tarmoqlarda foydalanuvchi interfeylarga aynan o'xshash. Gigabit Ethernet standarti kabi, E-PON liniyalarda 1250 Mbit/s nominal tezlikka va 8B/10B qodlashtirish sxemasiga ega. E-PON to'g'ri oqimda 1490 nm va teskari oqimda 1310 nm to'lqin uzunlikdagi WDM to'lqin bo'yicha multipleksorlashdan foydalanuvchi bir tolali tarmoq sifatida tavsiflanadi. 1550 nm to'lqin uzunligi boshqa xizmatlarni qo'shish(kabel televidenie yoki shaxsiy kanllar) uchun zahiralangan. E-PON ning PMD (physical medium dependent) fizik sathi ikki sinfdagi interfeysni ko'rib chiqadi: 1 sinf kichik masofalar uchun (1:16 bo'lish koeffitsientida 10 km gacha) va 2 sinf katta masofalar uchun (1:16 bo'lish koeffitsientida 20 km gacha). Bu masofa va bo'lish koeffitsientini katta diapazon bilan PON tarmog'ini narxi bo'yicha optimal qurishga imkon beradi. DFB lazerlari yoki Fabri- Pero lazerlari, hamda yuqori sezuvchan lavin yoki PIN fotodiodlaridan foydalanuvchi E-PON ning qimmat bo'lmagan uzatib qabul qilgich modullari hozirda paytda qo'yilmoqda. Bozorning shakllanishi va ularning tayyorlash texnologiyalarini takomillashtirib borishi natijasida ularning narxini keyinchalik pasayishi kutilmoqda.

Ishlash prinsipi.

E-PON arxitekturasini asosiy xususiyatini PON daraxting ichida Ethernet kadrleri tarqalishi tashkil etadi. SHunday qilib, APON arxitekturasini kabi E-PON tarmog'i orqali Ethernet kadrleri o'tganda ularni fragmentatsiyasi bo'lmaydi. Fragmentatsiyaning yo'qligi kutilayotgan E-PON standartini Ethernet IEEE 802.3 standarti bilan maksimal darajada moslashtiradi.

E-PON tarmog'i arxitekturasida APON tarmog'i arxitekturasidan mos tushadi. E-PON tarmog'i markaziy tugun OLT (optical line terminal), abonent tuguni ONT* (optical network terminal) va passiv optik tarmoqlagichdan tashkil topgan (9:21-rasm).

ONT lar almashinadigan va E-PON tarmog'i chegaralaridan chiqib ketmaydigan qo'shimcha xizmat kadrlari talab qilinadi.

Barcha ONT lar xizmat kadrlarini uzatish orqali markaziy tugun OLT ning yagona vaqt shkalasi bo'yicha sinxPONizatsiyalanadi. Abonent tugunlaridan ma'lumotlarni jo'natish ruxsat etilgan vaqt intervallari(taym-slotlar)da amalga oshiriladi. Taym-slotlarda, Ethernet kadrlarini biri yoki bir nechta joylashishi mumkin bo'lgan uzunlikni OLT da jadval rejalashtiruvchi tomonidan aniqlanadi. Taym-slotni jo'natishga ruxsat olinmagunicha, ONT abonentlarning ishchi stansiyasidan olingan kadrlarni buferlaydi.

Kadrlar formati.

Ma'lum fikrlarga ko'ra, dupleks (full duplex) Ethernet IEEE 802.3X standartidan boshlab faqat ichki kollizionli domen yo'l qo'yilishi mumkin bo'lgan diametrga kolliziyaga ruxsat beruvchi mexanizmni to'g'ri qayta ishlashi uchun talab qilinganda, 64 baytli minimal kadr uzunligini cheklashni shakllanishi o'z ahamiyatini yo'qotadi. Fast Ethernet (100BASE-FX/TX) standartidan boshlab, fizik sathda (10Mbit/s Ethernet dan farqli ravishda) signalni qabul qilish sinxron bo'lib, kadrlar orasidagi interval(12 bayt) va kadrni juda katta preambulasi(8 bayt) o'z ahamiyatini yo'qotadi.

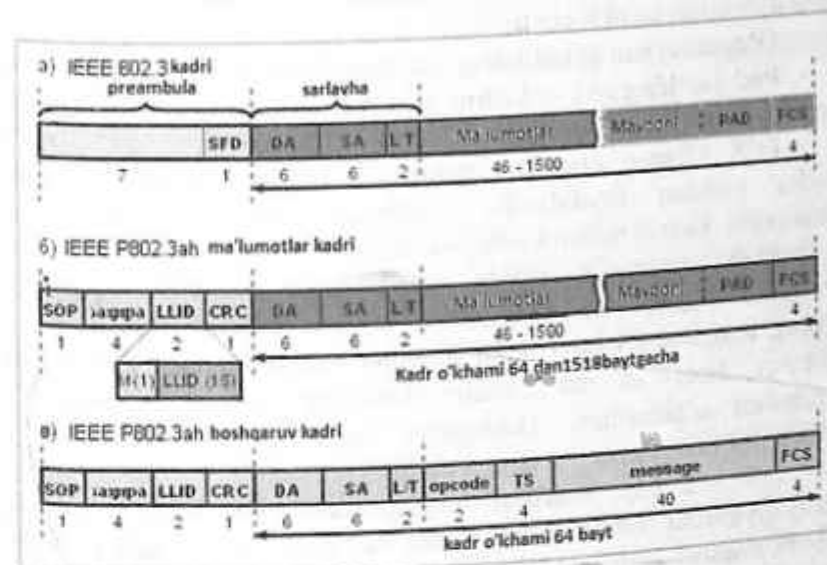
E-PON texnologiyasi bo'shatilgan resurslardan foydalaniladi. Biz aytganimizdek, Ethernet kadrlarini E-PON tarmog'i orqali o'tishida ularni qismlarga ajralishi sodir bo'lmaydi. Lekin bu xech qanday o'zgarish ro'y bermaganligini anglatmaydi. Ethernet standart kadrini preambulasi, (9.22-a.rasm), bir qancha xizmat maydonlarini qo'shib olish tufayli modifikatsiyalanishi. 9.22-b, rasm:

- SOP (start of packet) – 1 bayt maydon, kadr boshini ko'rsatadi.

- 4 bayt zahira maydon.

- LLID (logical link identifier) – 2 bayt maydon, E-PON tugunining yakka tartibdagi identifikatorini ko'rsatadi. ONT abonent tuguni nechta identifikatorga ega bo'lishi mumkin bir yoki bir nechta degan savol ochiq qolmoqda. E-PON tarmog'ida "nuqta-nuqta" va "nuqta-ko'p nuqta" ulanish emulyasiyasi uchun LLID talab etiladi. Maydonning birinchi biti kadrni eshittirish rejimi("unicast" ili "multicast")ni ko'rsatadi. Qolgan 15 bit E-PON tugunining shaxsiy yakka tartibdagi adresini tashkil etadi.

- CRC (circle redundancy check) – 1 bayt maydon, preambula bo'yicha nazorat yig'indisidir.



9.22-rasm. E-PON va Ethernet kadrlarini formati

Faktga asoslanib aytish mumkinki, E-PON tarmog'i orqali o'tayotgan kadrda E-PON tegini qo'shib qo'yiladi. E-PON tarmog'idagi kadr chiqishida kadr preambulasi teskari standart ko'rinishga aylanadi – teg yo'qotiladi. OLT har bir chiquvchi PON daraxtini 802.3 kadrini preambulasini modifikatsiya qiladi, xususan preambulaga maxsus LLID tegi qo'shiladi. Bu teg preambulalarni tiklash sodir bo'ladigan ONT ni mos holdagi sath ostidan chiqarib olinadi. ONT tuguni normal ish rejimida, ya'ni ro'yxatga olinib bo'linganda, faqatgina shaxsiy LLID ga mos keluvchi LLID identifikatori preambulasidagi kadrlar qayta ishlanadi.

E-PON kadrini qolgan maydonlari standart Ethernet kadr maydoniga mos keladi:

- DA (destination address) – 6 bayt maydon, belgilangan stansiya MAS adresini ko'rsatadi. Bu yagona fizik adres(unicast) bo'lishi mumkin, guruh adresi(multicast) yoki keng eshittirishli adres (broadcast).

- SA (source address) – 6 bayt maydon, jo'natuvchi stansiya MAS adresini ko'rsatadi.

- L/T (length/type) – 2 bayt maydon, kadr uzunligi yoki tipi haqida axborotni tashkil etadi.

- O'zgaruvchan uzunlikdagi ma'lumotlar maydoni.

- Pad (to'ldirgich) – kadrni minimal o'lchamgacha to'ldirish uchun foydalaniluvchi maydon.

- FCS (frame check sequence) – 4 bayt maydon, ssiklik ortiqcha koddan foydalanib hisoblangan nazorat yig'indisini ko'rsatuvchi kadrni nazorat ketma-ketligidir.

E-PON tarmog'i ichida ma'lumotlar kadrlari qatorida shuningdek xizmat kadrlari(xabar) ham uzatiladi. 9.22-v.rasm. Ularning barchasi 64 bayt qayd qilingan uzunlikka ega. E-PON ni boshqaruv kadr va ma'lumotlar kadrning adres maydoni va preambulasi o'xshashdir. Boshqaruv kadrini boshqa maydonlari quyidagi ma'lumotlarni o'z ichiga oladi:

- L/T – 2 bayt maydon, boshqaruvchi kadr uchun maydon 0x8809 qiymatini tashkil etadi. Aynan shu maydon bo'yicha E-PON tuguni boshqaruv kadri ma'lumot kadridan farqlanadi.

- opcode (optional code) – 2 bayt maydon, boshqaruv kadrini tipini aniqlaydi. Boshqaruv kadrini shu maydon qiymati bilan farqlanuvchi ikkita kategoriyasi mavjud: OLT dan chiquvchi GATE xabari va ONT dan chiquvchi REPORT xabari.

- Message – 40 bayt maydon, aslida bu maydon MPCP protokoli ishlashi uchun zarur xizmat axborotini tashkil etadi.

MPCP protokoli. Markaziy tugun bilan abonent tuguni o'zaro ta'sirini amalga oshirish uchun IEEE 802.3ah komiteti MPCP (multi-point control protocol) ko'plab tugunlarni boshqaruvchi protokol ishlab chiqdi. Protokol ikki tipdagi boshqaruv kadrlari(xabarlari)ga asoslanadi: GATE va REPORT. GATE xabari OLT dan barcha ONT larga boradi. Ularni eshittirish rejimi, qabul qiluvchi identifikatorlari, vaqt metkalari va boshqalar haqidagi axborot tashkil etadi. ONT tuguni javoban OLT tuguniga o'z holati haqidagi axborotni uzatadi, ya'ni REPORT xabarini jo'natadi. REPORT xabari OLT ga teskari oqimda polosani to'g'ri taqsimlashda yordam beradi.

MPCP protokoli ikki xil ish rejimiga ega: initsializatsiya(avto ro'yxatga olish) rejimi va normal ish rejimi. Mos holda abonent tugunlari ham ikki xil holatda bo'lishi mumkin. Initsializatsiya rejimi

OLT yangi ONT tugunini aniqlashi va ro'yxatga olishi uchun zarur. Bunda ro'yxatga olinayotgan ONT ga LLID identifikatori belgilanadi, shu ONT gacha RTT (round trip time) ikkilangan borib kelish vaqtini vaqt bo'yicha kechikishi hisoblanadi va boshqa parametrlari aniqlanadi. Normal ish rejimi bevosita ma'lumotlar uzatish uchun xizmat qiladi.

9.5.4. G-PON texnologiyasi

Takomillashish jarayoni har qanday texnologiyani yaratilish paytidan boshlab birga sodir bo'ladi. Passiv optik tarmoqlar uchun u bir qancha variantlarni yaratilishini ko'rsatadi, ulardan biri "gigabitli" nomini olgan G-PON texnologiyasining afzalliklari nimadan iborat va u zamonaviy ulanish tarmog'ini amalga oshirishga qay darajada mos keladi.

Aloqa operatorlari, kommunal va qurilish kompaniyalari barchasi "triple play" terminidan foydalanib aloqa xizmatlarini integratsiyasi haqida tez-tez aytishmoqda. U uch xil xizmatni ko'rsatadi, ya'ni bir vaqtni o'zida abonentga ovoz, video va ma'lumotlarni etkazib beradi. Optik tolali ulanish echimida yuqori o'tkazuvchanlik qobiliyati ularni bu turli ko'rinishdagi telekommunikatsiya xizmatlarini amalga oshirish uchun nihoyat darajada jalb qiladi.

G-PON(Gigabit PON) ulanish tarmog'i arxitekturasini A-PON texnologiyasini uzviy davomi sifatida qarash mumkin. Bunda PON tarmog'ining o'tkazish polosasini ham, ilovalarni uzatish unumdorligini ham o'sishi amalga oshadi. G-PON ITU-T Rec. G.984.3 standarti 2003 yil oktyabrida qabul qilingan.

G-PON 622 Mbit/s dan 2,5 Gbit/s gacha uzatish tezligida kadrlarni masshtablashgan strukturasi namoyish etadi va tizimga PON daraxtining to'g'ri va teskari oqimida ham bir xil, ham turli xil uzatish tezligiga ruxsat beradi. G-PON har qanday turdagi xizmatlarni, shu jumladan TDM ni sinxPON transport protokolini inkapsulyasiyasini ta'minlab, ITU-T G.704.1 GFP (generic framing protocol, kadrlarni umumiy protokoli) standartiga tayanadi.

Agar SDH da faqat polosani statik bo'lish amalga oshirilsa, GFP (generic framing protocol) protokoli SDH kadrini strukturasi saqlagan holda, polosani dinamik taqsimlashga imkon beradi.

G-PON to'g'ri oqimi (ulanish tugunidan abonentga)ni 1,244 Gbit/s va 2,488 Gbit/s, teskari oqimini esa 155 Mbit/s, 622 Mbit/s va 1,244 Gbit/s o'tkazish qobiliyati tashkil etadi.

Arxitekturada B-PON tizimini asosiy qurilish sxemasi saqlanib qolgan. Unda aynan optik tolali tarmoqlarni amalga oshirishdagi, xususan WDM/TDMA birikmasi saqlanib qoladigan qarashlardan foydalaniladi. B-PON abonentga G.652 standartidagi yagona bir modali tolani tortib olib boradi. Rasmiy nuqta nazaridan PON uchun uzatishning maksimal masofasini 20 km tashkil etadi. Lekin G.984 tavsiyasiga binoan kichik masofa 10 km kiritilgan. Bu dispersion kamchiliklariga qaramasdan ancha arzon Fabri-Peru lazerlaridan gigabit uzatish tezligida foydalanishga ruxsat beradi.

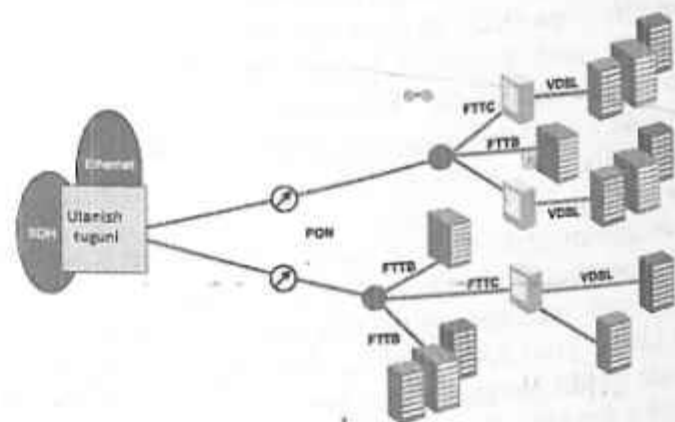
G.984.1 ga mos holatda ma'lum sharoitlarda B-PON tizimi imkoniyatlari chegarasidan chiquvchi axborotlarni uzoq masofalarga (60 km) uzatishni amalga oshirish va yuqori darajaligi tarmoqlanishni (128 ONT abonent tuguni) ta'minlash mumkin. Ayni paytda Flexlight Networks kompaniyasi DWDM texnologiyasi bilan PON texnologiyasini bir-birini qoplash yo'li bilan ta'minlanuvchi 135 km masofa haqida ma'lum qildi.

G-PON da ma'lumotlarni asosiy formatlarini va tarmoqdagi foydalanuvchi interfeyslarni katta qiymatini qo'llashni ta'minlaydi. UFTT ni ovozli xizmatlarini jo'natishni, T1/ E1 va DS3 standartlaridan foydalanuvchi ajratilgan TDM liniya xizmatlarini, shu jumladan 10 Mbit/s, 100 Mbit/s va 1000 Mbit/s tezliklarda Ethernet kadrlarini uzatishni amalga oshiradi. ATM ni mul'timediyali xizmatlari OC-x/STM-n ning barcha mumkin bo'lgan tezliklarida taqdim etiladi.

Asosiy e'tibor xizmat ko'rsatish sifatiga qaratilgan. Masalan, tavsiyaga binoan, TDM xizmatlari uchun ikkilangan o'tishda kechikish 3 ms dan oshmaydi. Bunday qiymat butun aloqa liniyalari ishlashida ulanish tarmog'ida minimal kechikishlar ta'sirini aniqlaydi.

Bundan tashqari, G-PON tarmog'ida VoIP xizmatini taqdim etishda va raqamli videoni etkazishda, ma'lumotlarni uzatishda xizmatlar sinfini ajratishni va trafikni boshqarishni talab etadi. G.984.1 ga shuningdek ba'zi yangi foydali afzalliklar kiritilgan. Bular: himoyalangan o'zgarish, xizmatlarni qo'yish va ma'lumotlarni havfsizligidir. Himoyalangan o'zgarish B-PON bilan mos usulda

amalga oshiriladi, lekin standartga bir nechta zahiralangan konfiguratsiyalarni qo'shimcha turlari qo'shilgan: to'liq zahiralangan 1+1 (S sinfli himoya) himoyalangan, shuningdek qisman zahiralangan 1:1 (V sinfli himoya) himoyalangan. Xizmatlarni qo'yish G.983.3 kabi raqamli G-PON tizimi foydalanmagan kengaytirilgan o'tkazish polosasini qoldirishni talab qiladi, shunday qilib, WDM qo'yishni kiritishga yo'l qo'yadi. Ma'lumotlar xavfsizligi talabiga muvofiq chiquvchi oqimdagi axborot himoyalangan bo'lishi lozim va ONT identifikatsiyasini o'tkazish mumkin bo'lgan vositalar mavjud bo'lishi lozim.



9.23-rasm. Tarmoqlarda keng polosali ulanish texnologiyasini gibrid mis-optik arxitekturali tarmoqlar orqali amalga oshirish mumkin

Fizik sathi.

G.984.2 – bu G-PON tarmog'ini fizik sathini spetsifikatsiyasi bo'lib, uzatish vositasiga bog'langan (Physical Media Dependent, PMD). U G-PON ga mos keluvchi optik komponentlarni to'liq tavsiflaydi. Tavsiyanoma B-PON bilan ishlashda o'zlashtirilgan ko'plab darslarni hisobga olgan holda tuzilgan va shu bilan birgalikda oshib boruvchi uzatish tezligiga e'tibor bergan holda optik parametrlarni to'liq aniqlanishini beradi.

G-PON da PMD uchun SDH/SONET kabi ayai shu usullar va kelishuvlardan foydalaniladi. "Uzatkichni chiqish quvvati", "Qabul qilgichni sezgirliigi" va "liniyadagi optik byudjet" kabi terminlarni

aniqlash ushbu tarzda tuzilgan, tarmoq qurilmasini va optik taqsimlanish tarmog'ini funksional moslashuvchanligini ta'minlash uchun o'sha vaqtda ularni aniq chegarasini belgilaydi.

G-PON PMD tavsifnomasida asos sifatida SDH bazasi olingan va SDH ni odatdagi quvvat sathlari va takt chastotalaridan foydalaniladi. G.983.3 kabi standart to'lqin uzunligini to'sa olishi mumkin bo'lgan chatotalar taqsimlashda qo'llaniladi. Uning samarali va yaxshi ishlatilgan sxemasi tufayli tanlangan kodlashtirish formati sifatida shifrlangan NRZ kodi ishlatiladi. PMD – tavsiyasi shuningdek to'g'ridan-to'g'ri xatolarni tuzatish mexanizmi (Forward Error Correction, FEC)ni o'z ichiga oladi. G-PON PMD ga yana bir kiritilgan yangilik – bu ONT ni optik uzatkichini boshqara olishdir. U PON ning V yoki S sinfini tanlash holatida OLT markaziy tugunida lavin fotodiodlaridan foydalanish zaruratini chaqiradi. (PON ning V yoki S sinfi uchun quvvat byudjetini mos ravishda 25 va 30 dB tashkil etadi).

Kadrlar strukturasi.

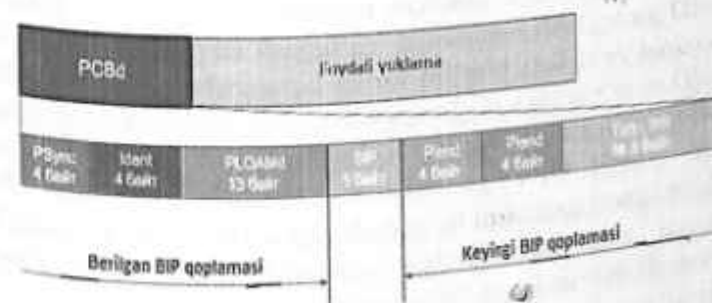
Oldin aytganimizdek, ulanish tugunidan abonentgacha bo'lgan oqimda kadr uzunligi 125 mks ni takshil etadi. Bunday qiymat tarmoqning teskari oqimdagi o'tkazuvchanlik qobiliyatiga bog'liq emas (1,244 Gbit/s yoki 2,488 Gbit/s). SHunday qilib, 1,244 Gbit/s tezlikdagi kadr 19440 baytdan iborat bo'lsa, 2,488 Gbit/s tezlikdagi kadr esa 38880 baytdan iborat. PCBd maydonining uzunligi ikka tezlik uchun bir xil va bitta kadrda taqsimlash bloklari(xuddi o'sha Allocation-ID identifikatoriga ega) soniga bog'liq.

To'g'ri oqimdagi kadrlar barcha tezlikdagi uzatishlar uchun bir xil strukturaga ega. Ular bir yoki bir necha ONT dan uzatiladigan ma'lumotlar to'plamiga ega. O'tkazish polosasi jadvali ushbu ma'lumotlar to'plamini taqsimlashni aniqlaydi. OLT da amalga oshiriluvchi nazoratga mos holatda o'tkazish polosasi jadvalida indikatorlar maydoni ONT har bir yurishida taqsimlanish davri uch xilgacha PON sarlavhasi va foydalanuvchi ma'lumotlari jo'natilishi mumkin. Bu teskari oqimda fizik sath sarlavhasi bo'lishi mumkin (PLOu), teskari oqimda OAM (PLOAMu), PLOAM xabarini o'z ichiga oluvchi 13 baytli maydon, shuningdek DBA uchun markaziy OLT tugunida foydalanuvchi teskari oqimdagi o'tkazish polosasini dinamikasi haqida hisobot (DBRu).

Uzatishni boshqarish strukturasi. G 984.3 tavsiyanomasi G-PON da uzatishni boshqarish (TC – Transmission Convergence) sathini tasniflaydi. Bu xujjat PON da ma'lumotlarni uzatishni boshqarish va kadrlar uchun maxsus muvofiqlashtirish tizimini tavsiflaydi. Oxirgi muhim afzalliklaridan biri – juda yuqori samaradorligi (90% dan ortiq) va ATM yacheykalarini ham, GFR inkapsulyasiyasi shaklidagi ma'lumotlar kadrini ham uzata olish qobiliyatidir. Xujjat shuningdek o'tkazish polosasini dinamik taqsimlash va boshqa bir qancha funksiyalar tavsifini o'z ichiga oladi.



9.24-rasm. G-PON ni teskari oqimidagi kadr strukturasi



9.25-rasm. G-PON ni to'g'ri oqimidagi kadr strukturasi

Teskari oqimda kadrlar doimiy 125 mks davomiylikka ega. Ular engil sinxronizatsiyalanadi. Bunda 8 kGs takt signaliga ulanish ta'minlanadi. Bunday xususiyatlar ma'lum bo'lishicha TDM xizmatlarini taqdim etishda ayniqsa foydalidir. Teskari oqimdagi kadr uchta qismdan tashkil topadi: fizik nazorat bloki (Physical Control Block, PCB), ATM-uchastka va gigabit inkapsulyasiya rejimi uchastkasi (Gigabit Encapsulation Mode, GEM). PCB OAM xabarlar jo'natmasini, quyi sath signallarini uzatishni va o'tkazish polosasining jadvalini qo'shib hisoblaganda passiv optik tarmoqni boshqarish va nazorat qilish uchun zarur fizik sath sarlavhasini barcha axborotlarini o'z ichiga oladi.

ATM uchastkasi kadrning dinamik taqsimlangan qismini o'zida taqdim etadi. U ATM yacheykalarini qaysi ONT ga qaysi yacheyka mo'ljallanganligini ATM virtual liniyasini indikator yordamida aniqlab ONT ga tashiydi. GEM uchastkasi abonent tugunlariga qaysi ONT ga qaysi fragment mo'ljallanganligini aniqlash uchun Port-ID identifikatoridan foydalanib GEM fragmentlarini etkazib berish uchun qo'llaniladi.

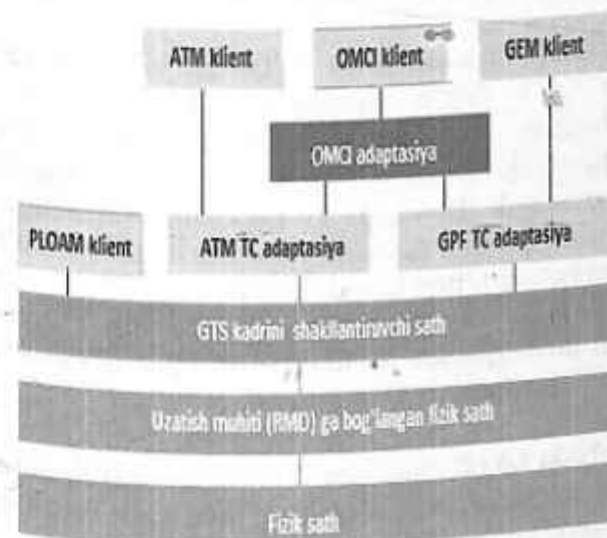
Barcha jarayonda analiz va qayta ishlash uchun zarur bo'lgan bunday kadr tizimlari juda oddiydir. U mantiqiy elementlar sonini kamaytirishga yordam beradi va tizim komponentlarini o'zaro ta'sirini ancha samarali ta'minlaydi.

To'g'ri oqimdagi kadr o'tkazish polosasi jadvali yordamida markaziy tugun orqali dinamik boshqariladi. O'tkazish polosasi jadvali – bu har biri ONT abonent tugunini aniq bir identifikatori Allocation-ID ga tegishli boshlanish va tugash vaqti ro'yxatidir. Har bir ONT xizmat profiliga bog'liq holda bir qancha yoki faqat bitta Allocation-ID ni o'z ichiga olishi mumkin. O'tkazish polosasi jadvali bilan moslashtirilgandan so'ng ONT to'g'ri oqimda faqat ko'rsatilgan oynada OLT ga axborot uzatishni boshlaydi; ONT kadrini qolgan qismi uzatishni to'xtatadi. Agar ONT ikkita ketma-ket vaqt oynasida uzatishni amalga oshirishi lozim, u o'tkazish polosasini tejash uchun faqat bir marotaba to'g'ri oqimda fizik sath sarlavhasini jo'natadi.

Natijaviy "chayqalgan" oqim markaziy, tugunda saqlanib qolgan o'tkazish polosasi jadvali, abonent tugunlari identifikatori va to'g'ridan-to'g'ri uzatilayotgan ma'lumotlar qo'shilgan oqim yordamida onson interpretatsiyalanadi.

G-PON protokoli ATM trafigi kabi GEM ma'lumotlarini ham uzata olish qobiliyatiga ega. Bunday standart yana shuni aniqladiki, qurilmalar bu variantlardan faqatgina ixtiyoriy birini emas, balki ikkala variantni birgalikda qo'llab quvvatlashi mumkin.

G-PON (GTC) uzatishni boshqarish sathi ikkita sath ostidan tashkil topgan. Bu kadrlarni shakllantiruvchi va adaptatsiya sathlaridir.



9.26-rasm. G-PON sathlarini strukturasi GTC kadr shakllantirgichi sathini va TS adaptatsiyasini, shuningdek boshqaruv va nazorat tekisliklarini o'z ichiga oladi

GTC shuningdek abonent trafigini uzatuvchi foydalanuvchilar tekisligini va abonent trafiklari oqimini o'tishini ta'minlovchi nazorat/boshqaruv tekisligini hamda OAM ni havfsizligi va funksiyalarini o'z ichiga oladi. GTC kadrlarini shakllantirish sathi ATM uchastka, GEM uchastka, OAM ning ekspluatatsiyasi, administratsiyasi va boshqaruvi funktsionalligi qo'shilgan uchastka va PLOAM ning fizik sathi OAM dan tashkil topgan.

ATM va GEM uchastkasida oddiy protokol ma'lumotlari bloklari (PDU) dan o'zgartirib ishchi ma'lumotlar bloki (SDU) quriladi va aksincha. GTC kadrlarini shakllantirish sathi barcha uzatiluvchi ma'lumotlar uchun to'liq ulangan. OLT tizimini markaziy tugunida bu sath barcha ONT lardagi mos keluvchi GTC sathlari kabi qoidalarga ega. G-PON da to'g'ri trafik muhiti uchun nazorat ulanishi ta'minlanadi. Teskari oqim kadrlarini asosiy konsepsiyalari teskari oqim kadrlari bilan sinxronizatsiyalashtirilgan to'g'ri oqimdagi kadrda to'g'ri trafik uchun ruxsat etilgan holatlarni ko'rsatadi.

OLT markerlarni(ko'rsatkichlarni) PCBd ga jo'natadi va bu markerlar har bir ONT to'g'ri oqimda uzatishni boshlashi va tugatishi mumkin bo'lgan vaqtni ko'rsatadi. Shunday qilib faqat bitta ONT ixtiyoriy vaqtda muhitga ulanishi mumkin va normal ishlashda konfliktlar sodir bo'lmaydi. Bloklarda ko'rsatkichlar sekundiga 64 kbayt ga teng samarali statik o'tkazish polosasida OLT ga muhitni boshqarishga imkon beruvchi bayt tarzida uzatiladi.

9.5.5. Abonent tarmoqlarida qo'llaniladigan passiv optik qurilmalarni solishtirish

Yuqorigi boblarda ko'rib chiqilgan PON texnologiyalarini bir-biridan qanday kamchiliklari va afzalliklari borligini solishtirma tahlilini quyidagi jadval keltiramiz.

Yuqoridagi solishtirishlardan uchala texnologiyaning bir-biridan farqlari hamda afzalliklarini ko'ramiz. Bu solishtirishlardan eng yaxshi variant sifatida G-PON texnologiyasini olishimiz mumkin. Biroq bu texnologiyaning qurilmalari E-PON texnologiyasining qurilmalaridan ancha qimmatroq hisoblanganligi uchun iqtisodiy jihatdan E-PON texnologiyasi samaraliroq bo'lishi mumkin. Shunday bo'lsa ham G-PON texnologiyasi boshqalardan samarador ekanligini e'tiborga olib, shu texnologiyani optik ulanish tarmoqlarida qo'llashni ko'rib chiqamiz.

9.1-jadval

A-PON, E-PON, G-PON texnologiyalarini solishtirma tahlili

Xarakteristikalar	A-PON (B-PON)	E-PON	G-PON
1	2	3	4
Standartlashtirish intitutlari/birlashmalari	XEI-T SG15/FSAN	IEEE/EFMA	XEI-T SG1/FSAN
Standart qabul qilingan sana	1998 oktyabr	2004 iyul	2003 oktyabr
Standart	ITU-T G.981.x	IEEE 802.3ah	ITU-T G.984.x
Uzatish tezligi, to'g'ri/teskari oqim, Mbit/s	155/155 622/155 622/622	1000/1000	1244/155,622,1 244 2488/622,1244, 2488
Asosiy protokol	ATM	Ethernet	SDH
Liniya kodi	NRZ	8B/10B	NRZ
Tarmoqni maksimal radiusi, km	20	20 (>30')	20
Bitta tildagi abonent tugunlarining maksimal soni	32	16	64 (128 ²)
Ilovalar	ixtiyoriy	IP, ma'lumotlar	ixtiyoriy
Xatolar korreksiyasi FEC	Nazarga olib qo'yilgan	yo'q	zarur
To'g'ri/teskari oqimning to'liq uzunligi, nm	1550/1310 (1480/1310)	1550/1310 (1310/1310 ³)	1550/1310 (1480/1310)
Polosani dinamik taqsimlanishi	bor	qo'llab quvvatlamoq ⁴	bor
IP-fragmentatsiya	bor	yo'q	bor
Ma'lumotlar himoyasi	Ochiq kalit bilan shifrlash	yo'q	Ochiq kalit bilan shifrlash
Zahiralash	bor	yo'q	bor
Ovoz ilovalarini va QoS ni qo'llab quvvatlash bahosi	yuqori	past	yuqori

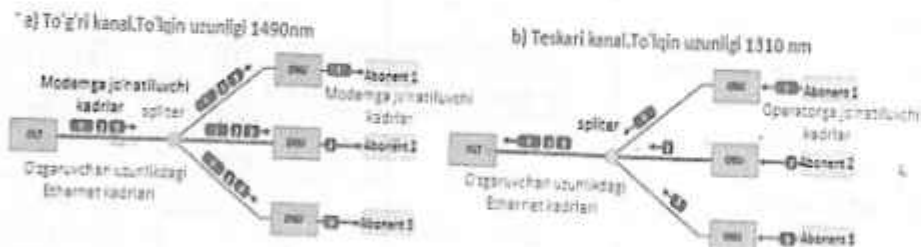
Izoh:

- 1 - loyihada muhokama qilinadi.
- 2 - standart tarmoqni 128 ta ONT gacha oshirishga yo'l qo'yadi.
- 3 - bitta va aynan shu to'liq uzunligida to'g'ri va teskari yo'nalishda uzatish yo'lga qo'yilgan.
- 4 - biroz yuqoriroq sathlarda amalga oshadi.

9.5.6. Optik ulanish tarmoqlarida G-PON texnologiyasini qo'llash

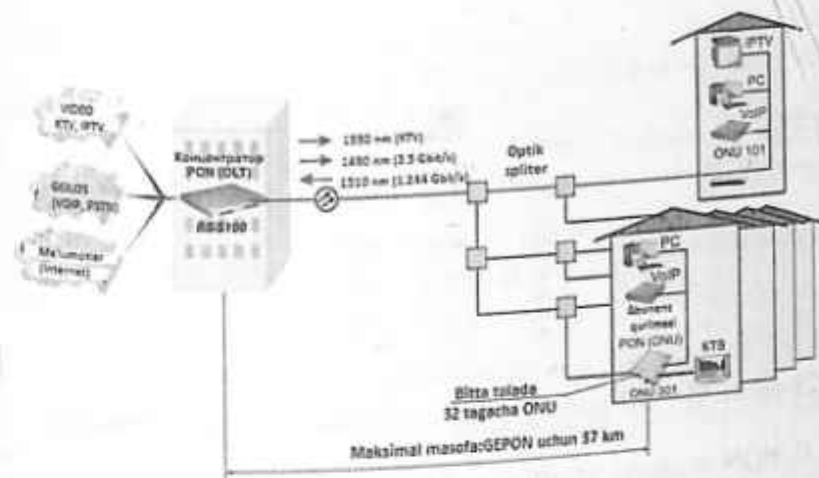
G-PON texnologiyasi PON texnologiyasini Gigabit Ethernet standarti asosida ishlovchi ko'rinishlaridan biri va axborotni yuqori tezlikda (1,2 Gbit/s gacha) uzatishni ta'minlovchi aloqa tarmoqlarini eng zamonaviy qurish variantlaridan biri hisoblanadi. G-PON texnologiyasining asosiy afzalliklaridan biri optik tolali kabel resurslaridan oqilona foydalanishi hisoblanadi. Misol uchun, 20 km radius masofada 64 ta abonentni ulash uchun bitta optik tolali segment etarli hisoblanadi.

Bu texnologiyani an'anaviy MetroEthernet optik tarmoqlaridan farqli tarafi, bitta uzatib qabul qilgich(OLT)dan foydalangan holda bitta tolaga optik signalni bo'luvchi passiv qurilmalar yordamida 32 ta oxirgi qurilma(ONU)ni ulash natijasida anchagina optik tolani tejash mumkin. OLT dan to'g'ri oqim ma'lumotlari 1490 nm to'lqin uzunligida 2,488 Gbit/s tezlikda uzatiladi, barcha ONU lardan teskari oqim 1310 nm to'lqin uzunligida umumiy 1,244 Gbit/s tezlikda uzatiladi.



9.27-rasm. G-PON tarmog'ining arxitekturasini

PON tarmog'ida "nuqta-ko'p nuqta" uzatish usulidan foydalaniladi, optik tarmoq daraxtsimon arxitektura ega. PON va HFC kabel televidenie tarmog'i arxitekturasini mos keldi, shuning uchun kabel televideniyesini to'g'ri kanali 1550 nm to'lqin uzunligida aynan ma'lumotlar uzatiladigan tolada uzatilishi mumkinligi ushbu texnologiyaning shubhasiz afzalligidir.



9.28-rasm. G-PON tarmog'ining tashkil etilishi

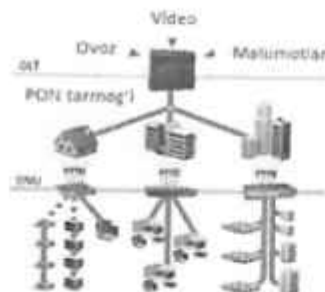
Bitta optik tolali segment 37 km radiusda 32 ta abonent qurilmasi ONU ga xizmat ko'rsatishi mumkin. Har bir abonent tuguni oddiy turar joy yoki ofis binosiga mo'ljallangan va shu bilan bir qatorda yuzlab abonentlarni qoplashi mumkin. Barcha abonent tugunlari terminal hisoblanadi va bitta yoki bir nechta abonent tugunlarini uzilishi yoki ishdan chiqishi boshqalarining ishiga ta'sir qilmaydi.

G-PON arxitekturasini komponentalari:

OLT (Optical Line Terminal) markaziy tugun – markaziy ofisda o'rnatilgan shassi bo'lib, magistral tarmoqlardan ma'lumotlarni qabul qilish va E-PON tarmog'i daraxti bo'yicha abonent terminallariga to'g'ri oqimni shakllantirish qobiliyatiga ega.

ONU (Optical Network Unit) yoki ONT (Optical Network Terminal) terminali - tarmoq Ethernet-marshrutizatori bo'lib, PON tarmog'i daraxtiga ulanish interfeysiga ega. Shassiga ulangan terminallar soni, quvvat byudjeti bo'yicha va uzatib qabul qiluvchi apparaturaning maksimal tezligi bo'yicha chegaralanadi.

Optik tarmoqlagich – bir yo'nalishda optik nurlanish oqimini taqsimlaydi va teskari yo'nalishda bir nechta oqimlarni birlashtiradi. PON tarmog'ida bitta kirish portiga ega 1xN taqsimlagichlari ko'proq ishlatiladi; 2xN tarmoqlagichlari esa zahiralangan tolali tizimlarda ishlatilishi mumkin.



9.29-rasm. G-PON tarmog'ining arxitekturasini komponentalari

G-PON ni asosiy afzalligi bo'lib quyidagilar hisoblanadi:

- 802.3ah standart mexanizmidan foydalanish kelajakda qurilma narxini sezilarli darajada pasayishiga olib keladi;

- ikkala tarafa uzatish tezligini 1 Gbit/s gacha oshishi va ancha kengroq polosali xizmatlarni taqdim etish;

- 802.1p/TOS mexanizmi yordamida QoS ni ta'minlash. Har bir trafik turi uchun sakkizta belgilangan navbat yordamida trafikni prioritetlashtirishni mustahkam mexanizmidan foydalanish mumkin. Berilgan mexaniz VoIP yoki VoD kabi xizmatlarni kafolatli xizmat bilan taqdim etishni amalga oshiradi;

- PON daraxtiga 64 ta abonent qurilmasini ulanish mumkinligi va optik tolani samarali ishlatilishi;

- DBA (Dynamic Bandwidth Allocation) mexanizmini to'liq qo'llab quvvatlashi – abonentlar so'roviga va PON daraxtini mavjud bo'sh polosasiga mos holda o'tkazish polosani dinamik qayta taqsimlash;

- video (IGMP Snooping) oqimni uzatishni qo'llab quvvatlashi;

- o'rnatishni va xizmat ko'rsatishni soddaligi.

G-PON ni asosiy afzalligi bu – foydalanuvchi tomon aktiv tarmoq qurilmalarini qo'llashni xojati yo'qligi, 40 Mbit/s dan 1,25 Gbit/s gacha to'liq duplek simmetrik ulanish, ma'lumotlar uzatish muhitida qo'llashni samaradorligini oshishi, trafikni va IP-protokollarni prioritetlashtirish. Shu bilan bir qatorda G-PON standartini zahiralangan 1550 nm to'lqin uzunligidagi diapazoni umum qabul qilingan kabel televidenie xizmatini ta'minlovchi IP TV xizmatlarini qo'llab quvvatlaydi.

G-PON quyidagi masalalarni hal qiladi:

- kottedj imrotli zonalarda FTTH texnologiyasi bo'yicha keng polosali ulanishni ta'minlash;

- CATV mavjud optik tarmoqlaridan foydalanib (FTTC texnologiyasiga asoslangan ulanish) ko'p kvartirali uylarda keng polosali ulanishni ta'minlash;

- kam tolali optik kabellar asosida metro Ethernet tarmoqlariga ulanishni yaratish.

9.5.7. G-PON texnologiyasining xarakteristikalar

IEEE 802.3ah standarti ishlab chiqqan asosiy xarakteristikalar:

Uzatish tezligi 1 Gbit/s;

Liniyada kodlashtirish 8V/10V;

Chastota rejasi bo'yicha WDM multipleksorlash:

- to'g'ri oqim to'lqin uzunligi 1490 nm (1550 nm);

- teskari oqim to'lqin uzunligi 1310 nm;

BER xatolar sathi – 10^{-12}

Bitta optik tolaga ulangan tugunlar sonini oshirish uchun FEC xatolarni to'g'rilovchidan foydalanish mumkinligi.

1526 bayt (preamble bilan) Ethernet kadrini uzatishning maksimal vaqti	12 mks
Normal rejimda tugunlarni so'rovini davomiyligi, dan kam emas	1–3 ms
72 bayt (preamble bilan) GATE boshqaruv kadrini uzatish vaqti	0,6 mks
Tarmoqda 32 ta ONT tugunini so'rov vaqti, 32x0,6	20 mks
Normal rejimda xizmat resurslari bilan polosani sarf qilish	2%
RTTmax, 20 km	200 mks
Initsializatsiya (konfiguratsiya parametri) rejimini davomiyligi	> 1s
Initsializatsiya(jimjitlik, sukunat) oralig'i, maksimali	>200,6 mks
Yangi ONT ni ro'yxatga olishdagi xarajat, 2 ta GATE xabari	1,2 mks
Initsializatsiya rejimi bilan polosani sarf qilish	0,02%

PON tarmog'i uchun interfeyslar:

- 1 sinf - OLT tomonidan 1000BASE+PX10+D va ONT tomonidan 1000BASE+PX10+U
- 2 sinf - OLT tomonidan 1000BASE+PX20+D va ONT tomonidan 1000BASE+PX20+U.

Byudjet:

Tarmoq radiusi (OLT dan ONT gacha maksimal yo'l qo'yilishi mumkin bo'lgan masofa uchun)

- E-PON 1 sinf - to'g'ri/teskari oqim 21/23 dB;
- E-PON 2 sinf - to'g'ri/teskari oqim 26/26 dB;
- E-PON da xarakterli vaqtlar.

9.5.8. G-PON texnologiyasi orqali optik tarmoqqa ulanishni tashkil etish

Unifikatsiyalashtirilgan qurilmalar to'plamiga va tarmoqni yagona boshqaruvi ega multiservis Ethernet tarmoqlari opretorni xarajatini pasaytirib, uni daromadini oshiradi. Optik tolali tarmoq infrastrukturasi elementlarini arzonlashishi va ularni katta xajmdagi axborotlarni uzatishda cheklanmagan imkoniyatlari oxirgi iste'molchiga sifatli xizmatlarni berishga ruxsat etadi va telefon aloqasidan foydalanishda, internetga ulanishda va videodasturlarni ko'rishda abonent ehtiyojlarini kompleks ravishda echadi.

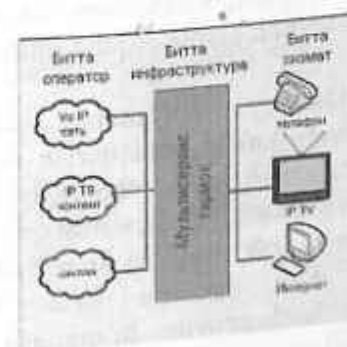
Katta shaharlarda keng polosali ulanish tarmoqlarini keng tarqalishi, axborotlarni saqlovchilarni narxini pasayishi, qimmat bo'lmagan IP-interfeysli videokameralarni paydo bo'lishi, videoprotokol uzatish texnologiyalarini zamonaviylashuvi operatorlarni Ethernet tarmoqlari orqali kodlashtirilgan videosignalni (MPEG-2 yoki MPEG-4) uzatishga mo'ljallangan IPTV tizimini tadbiq etishiga olib keladi.

G-PON (Gigabit Ethernet Passive Optical Network) texnologiyasi bunday multiservis tarmoqlarni qurish uchun asos va zamonaviy texnologiya hisoblanadi.



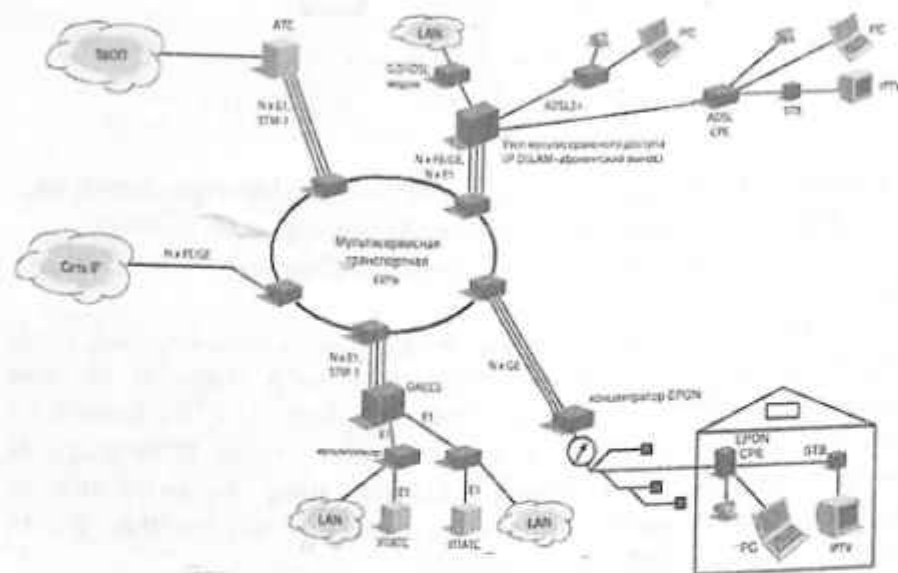
9.30-rasm. Oldin mavjud bo'lgan telefoniya, internetga ulanish va kabel televideniesini uchta alohida tarmoq orqali abonent xizmatlarini etkazib berish chizmasi

G-PON passiv optik tarmoq orqali ulanish texnologiyasi, optik tola bo'yicha keng polosali multiservis ko'p miqdorli abonent ulanishini taqdim etish uchun ishlab chiqilgan. G-PON tarmog'ini qurishni asosiy topologiyasi bo'lib, "passiv optik tarmoqlagichli daraxt" strukturasi hisoblanadi. "Daraxt" ning oraliq tugunlarida manba va xizmat talab qilmaydigan optik quvvatli kompakt passiv tarmoqlagichlar(splitterlar) o'rnatiladi.



9.31-rasm. Telefoniya, internetga ulanish va kabel televideniesini yagona multiservis tarmoq orqali abonent xizmatlarini etkazib berish chizmasi

G-PON ni markaziy tuguni bitta portiga 20 km radiusda 32 ta abonent terminal tuguni o'z ichiga oluvchi to'liq optik-tolali segmentni ulash mumkin. Har bir abonent terminali o'z navbatida o'nlab mijozlarga xizmat ko'rsatish imkoniga ega. G-PON ni bitta operator portiga bitta tola orqali 32 ta foydalanuvchini ulash imkonini beradi. Bu usul, G-PON kommutatorini bitta yunitiga 256 ta foydalanuvchini ulashga ruxsat beradi (8 ta G-PON tuguni).



9.32-rasm. Multiservis tarmoqlarda abonent va ulanish tarmoqlarini G-PON texnologiyasi orqali tashkil etish

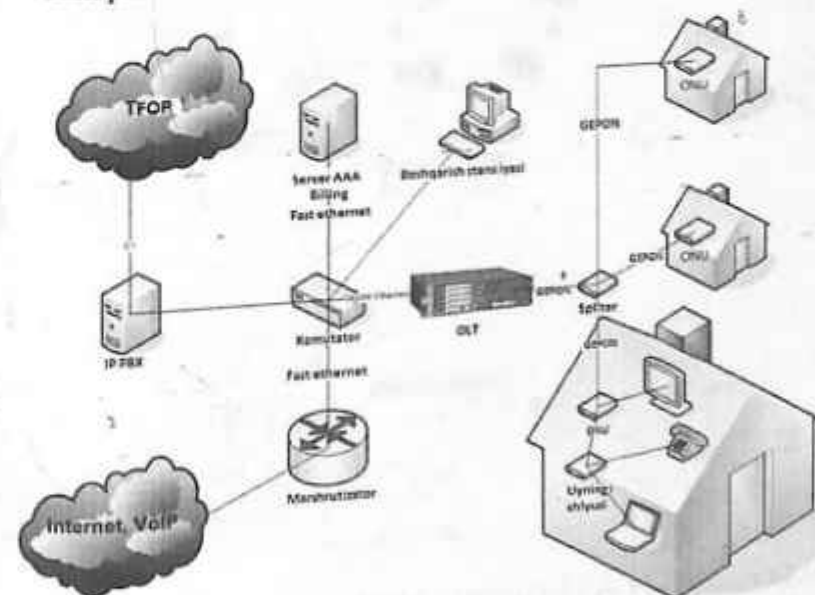
TDM va «TriplePlay» telekommunikatsiya xizmatlari kompleksini ta'minlovchi tarmoqlarni qurish ta'moyiliga asoslanib operator tarmog'ining turli sath topologiyalari optik uzatish muhitidan maksimal foydalanishga asoslanib quriladi.

Zarur xizmat ko'rsatish sifati va keng spektrdagi xizmatlarni ta'minlash imkoni bilan operator tarmog'ini ishonchligini, masshtablanishini va boshqaruvini ta'minlash uchun quyidagi ierarxik sathlardan tuzilgan tarmoq kerak bo'ladi:

- Magistral sath;
- Ulanish tarmog'i va tuguni sathi;
- Abonent sathi.

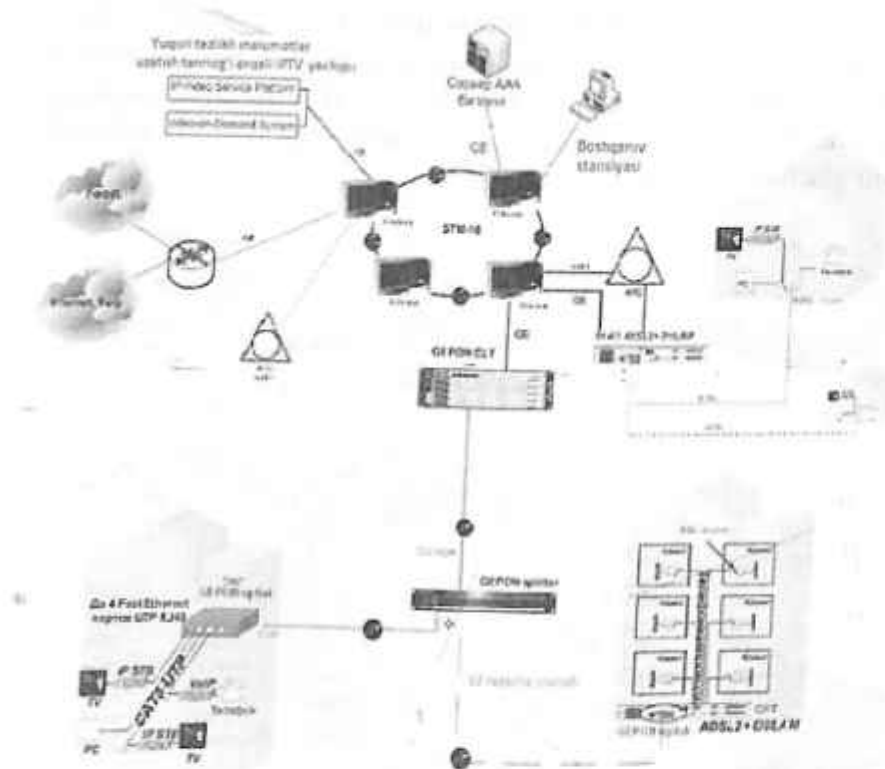
Magistral sath. Bizni echimda magistral sath "xalqa" topologiyasida qurilgan. Multiservis magistral xalqani tashkil qilish uchun TDM (peredacha potokov E1) va Ethernet kompleks xizmatlarini taqdim etish bilan «Ethernet over SDH» texnologiyasidan foydalanish optimal echim bo'ladi.

Ulanish tarmog'i va tuguni sathi. G-PON arxitekturasiga asoslanib "nuqta-ko'p nuqta" P2MP (point-to-multipoint) topologiyasidan foydalanib amalga oshirsa bo'ladigan echim. Markaziy tugunning bitta portiga o'nlab abonentlarni qamrab oluvchi daraxtsimon arxitekturali butun optik tolali segmentni ulash mumkin. Bunda manba va xizmat ko'rsatish talab qilmaydigan passiv tarmoqlagichlar(splitterlar) daraxtning oraliq tugunlarida o'rnatiladi. Ulanish tarmog'ini tashkil etish uchun turli oxirgi qurilmalar(ONT) dan foydalangan barcha mijozlarni ulanishini (FTTB/FTTH) amalga oshiruvchi markaziy tugundan foydalaniladi. OLT qurilmasi sifatida, 16 tagacha PON daraxtini ulash imkoniyatiga ega S505 besh slotli modulli platformadan foydalaniladi.



9.33-rasm. G-PON texnologiyasiga asoslangan kottedj binoli qishloq uchun ulanish tarmog'i

oʻrnatiladi.



9.34-rasm. G-PON / NG-SDH / ADSL texnologiyalaridan foydalangan holda TDM va «TriplePlay» telekommunikatsiya xizmatlari kompleksini ta'minlovchi tarmoq qurilishi

loydalanilmoqda? Ularning xususiyatlarini ta'riflang.

5. FTTx texnologiyasining tuzilish tamoillarini tushuntiring.
6. xPON texnologiyasining tuzilish tamoillarini tushuntiring
7. Qay'si xalqaro tashkilotlar PONni batafsil ishlab chiqdilar?
8. GPON-da to'g'ri va teskari oqimlarning qanday tezlik rejimlari qo'llab-quvvatlanadi?

OPTIK ALOQA TIZIMLARI VA TARMOQLARI SINXRONIZATSIYASI

O'zbekiston respublikasining ma'lumotlarni uzatish tarmog'idagi barcha operator (provayder)lar ma'lumotlarni uzatuvchi milliy tarmoq orqali xalqaro tarmoqqa chiqish xuquqiga egadirlar. Bunday tarmoqlarni tuzishda iqtisodiy arzon qurilmalarni qo'llash va yagona markazdan boshqarish maqsadga muvofiq. Mana shunday ishlarni amalga oshirishda tarmoq sinxronizatsiyasi juda katta ahamiyatga ega. Chunki raqamli qurilmalarning bir vaqtda va bir xil tezlikda ishlashi tarmoq sinxronizatsiyasi bilan chambarchas bog'liqdir.

Sinxronizatsiya muammosi raqamli usulda axborotlarni uzatish paydo bo'lishi natijasida zudlik bilan yuzaga keldi. Haqiqatdan ham har qanday diskretizatsiyalash, ma'lumotlarni binar signallari yoki kodlangan binar signallari ko'rinishida uzatish va qabul qilish protsedurasi, uzatuvchi va qabul qiluvchi chastotalarni moslashtirishni talab qiladi, aks holda uzatilgan ma'lumotlar moslashmagan holda qabul qilinadi. Shuning uchun sinxronizatsiya muammosi birlamchi raqamli tarmoqlarda chegaralanmaydi, lekin ISDN tarmoqlarida ma'lumotlarni uzatish, raqamli telefonlashtirish, maxsus vazifali tarmoqlarda juda muhim ahamiyatga ega.

10.1. Asosiy tushunchalar. Sinxronizatsiya turlari, tizimlar va tarmoqlarning sinxronizatsiyalash usullari va prinsiplari

Sinxronizatsiya – bu ikki va undan ortiq jarayonlar orasidagi ma'lum bir vaqtli nisbatlarni qo'llab-quvvatlash va belgilash jarayonidir. Element bo'yicha, guruxli vassikli sinxronizatsiyalar

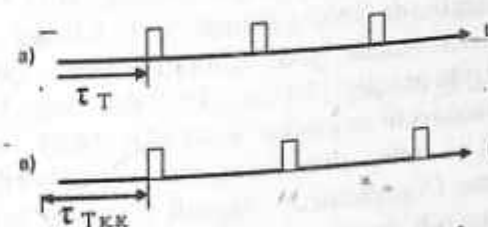
mavjud. Uzatilgan va qabul qilingan ma'lumotlarning raqamli signallarining bu sinxronizatsiyasi, signallarning yakka elementlari guruhini va ularning vaqtli birlashtiriluvchissikllarini, uzatilgan va qabul qilingan yakka signallarning elementlari lahzalari orasidagi talab qilingan fazaviy nisbatlarni belgilaydi va qo'llab-quvvatlaydi.

Element bo'yicha sinxronizatsiya – qabul qilishda bitta yakka elementni boshqasidan ajratishni ta'minlaydi, shuning bilan birgalikda uni ro'yxatga olish uchun eng yaxshi sharoitni yaratadi.

Guruxli sinxronizatsiya – qabul qilingan ketma-ketliklarni kodli kombinatsiyalarga ajratishni, **ssikli sinxronizatsiya** esa qabul qiluvchi qismda vaqtli birlashtirilgan elementssikllarini ajratishni amalga oshiradi.

Uzatuvchi qismda raqamli oqimning har bir elementar impulsining davomiyligi f_t – chastotaga ega bo'lgan taktli generatordan berilgan

bo'lsa, unda elementar impuls davomiyligi $\tau_r = \frac{1}{f_t}$ ga teng bo'ladi. Qabul qilgichdagi raqamli oqimning taktli chastotasi, qabul qilgichning mos keluvchi chastotasidan farqli bo'lsa unda taktli impulslar $\tau_{r,q,q}$ vaqtli oraliqlarda ta'qib qilinadi (10.1-rasm).



10.1-rasm. Taktli impulslarning vaqt bo'yicha diagrammasi
a) uzatgich; v) qabul qilgich

Unda $T = \frac{\tau_r}{(\tau_{r,d,d} - \tau)}$ vaqt intervalidan keyin, axborotli xabarning bitta impulsini tushib qolganligi kuzatiladi, bu esa uzatilayotgan axborotda xatolikning paydo bo'lishiga olib keladi. Bunday holatlarni bartaraf qilish uchun (eng kamida kamaytirish uchun) uzatgichning va qabul qilgichning taktli generatorlarini sinxronizatsiyalash lozim. Sinxronizatsiyalash jarayoni, xuddi

avtonom manba kabi (vaqt etaloni) majburiy sinxronizatsiyani ta'minlash hisobiga ham amalga oshirilishi mumkin.

Avtonom manba sifatida odatda yuqori mo'tadillikka ega bo'lgan mahalliy (lokal) generator qo'llaniladi. Majburiy sinxronizatsiya, mahalliy generatorni sozlash uchun yoki uzatiladigan signallarning axborotli (ishchi) ketma-ketligi uchun lozim bo'lgan, impulslar uzatiladigan alohida kanallarda qo'llashga asoslangan bo'lishi mumkin.

Tarmoq sinxronizatsiyasi uchun, eng yaxshi sinxronizatsiya manbasi - taktli generator yoki tarmoqning barcha uzellari uchun taymer bo'lishi lozim. Nafaqat yuqori aniqlikdagi taktli generator, balki tarmoqning barcha uzellarini sinxronizatsiyalovchi signalni uzatuvchi ishonchli tizimga yoki sinxronizatsiya tarmog'iga ega bo'lish lozim. Sinxronizatsiya tizimi yoki tarmog'i ma'lum bir ierarxiyaga ega. Tarmoq uzeldagi taktli impulslarning birlamchi etalon generatori (BEG) (RRC -Rimary Reference Clock) yoki birlamchi taymer joylashadi. Undan keyin signallar ikkilamchi manbani - taktli impulslarning SRC (Secondary Reference Clock) ikkilamchi yoki boshqaruvchi etalon generatori (IEG) yoki ikkilamchi taymerni yaratgan holda tarmoq bo'ylab tarqaladi. Bunday IEG lar taymer ko'rinishida tranzit uzellarda TNC (Transit Node Clock) yoki lokal (mahalliy) uzal LNS (local Node Clock) larda qo'llaniladi. Birlamchi taymer odatda aniqligi 10^{-11} 10^{-14} dan kam bo'lmagan taktli impulslarni saqlovchi avtonom manbalar (seziy va rubidiyli soatlar) dan iborat. Uni butun dunyoning muvofiqlashtirilgan vaqti UTC (Universal Time Coordinated) signali bo'yicha qo'lda yoki avtomatik kalibrovkalash mumkin. Keyin bu signallar, u yoki bu sinxronizatsiyalash usulini qo'llash uchun er yuzining aloqa liniyalari bo'ylab tarqaladi.

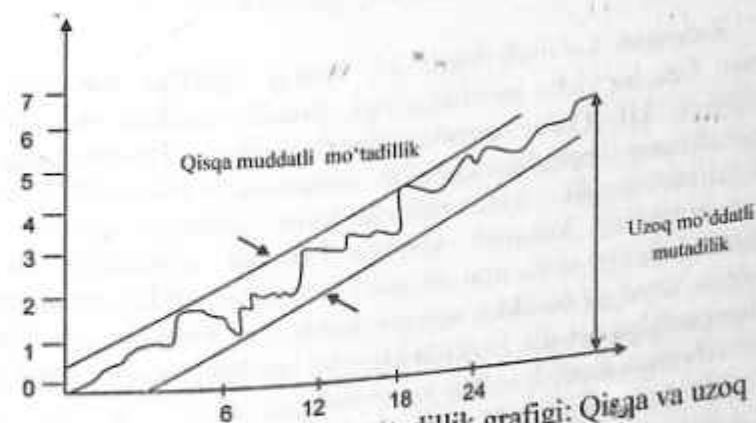
10.1.1. Sinxrosignal manbalarining asosiy parametrlari

Sinxrosignal manbalarini asosiy parametrlari - generator qurilmalarida ishlab chiqiladigan chastota aniqligi va mo'tadilligidir. Generetor chastotasining aniqligi deb, generator qurilmasida ishlab chiqilgan chastotani (f_a), nominal chastota (f_o) dan nisbiy og'ishiga aytiladi, ya'ni aniqlik $|f_o - f_a|/f_o$ ga teng, masalan: 50 rrt, ishlab

chiqilgan chastotaning 5×10^{-5} aniqligi uchun mumkin bo'lgan qiymatdir.

Mo'tadillik deb, berilgan ma'lum bir vaqt oralig'ida, generatorni nominal chastota ishlab chiqish rejimini ushlab turish xususiyatiga aytiladi. Mo'tadillik parametri yana chastotani nominaldan nisbiy birlik og'ishi bilan ham o'lchanadi va o'ziga kuzatishni oraliq vaqtini birlashtiradi, masalan sutkada bu 10^{-11} ga teng. Kuzatish vaqti bo'yicha generator mo'tadilligi, qisqa muddatli va uzoq muddatli bo'linadi. Vaqt bo'yicha mo'tadillik parametrlari $t_s = 10^3 - 10^4$ s atrofida baholanadi. Agar mo'tadillik parametrlari t_s gacha taxlil qilinsa, unga qisqa muddatli mo'tadillik, agar t_s dan katta davr davomida taxlil qilinsa, unga uzoq muddatli mo'tadillik deyiladi. Quyidagi 10.2 - rasmda qisqa va uzoq muddatli mo'tadillik tushunchasiga to'g'ri keluvchi chastota mo'tadilligining grafiki ko'rsatilgan.

Xuddi shunga o'xshab, turli sharoitda generator ishining mo'tadilligi xarorat mo'tadilligi bo'yicha ham aniqlanadi. Foydalanish jarayonida har xil sharoitda generator ishining mo'tadilligi juda katta ahamiyatga ega. Shuning uchun sinxronizatsiya manbalarini va har xil mo'tadillik parametrlarini tanlashda juda katta qiymat ajratiladi. Odatda generator ishini mo'tadillik parametrlarini o'lchashda tashqi sharoitga bog'liq holda laboratoriyada sertifikatlangan o'lchovlar o'tkaziladi.



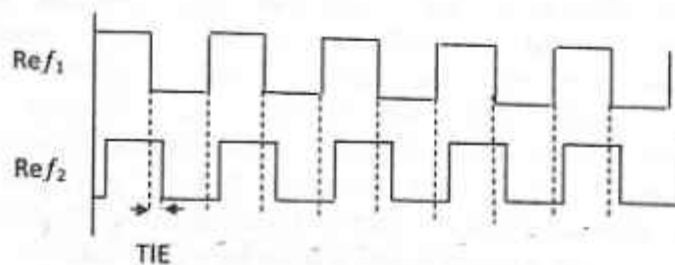
10.2 - rasm. Sinxrosignalning nomo'tadillik grafiki: Qisqa va uzoq muddatli nomo'tadillik

Demak generator ishidagi noaniqlik doimiy ravishda ishlab chiqiladigan chastotaning og'ishi bilan bog'liq. Generator yuqori mo'tadillikka ega bo'lgan holda, undan beriluvchi sinxrosignalar chastota surilishiga ega.

10.1.2. Sinxronizatsiya tizimlarining asosiy parametrlari

Sinxronizatsiya tizimlarining ikkinchi toifali parametrlariga sinxrosignalning vander taxlili bilan bog'liq bo'lgan TIE (vaqt oralig'i xatoligi), MTIE (vaqt oralig'ini maksimal xatoligi), TVAR (vaqt bo'yicha variatsiya), TDEV (vaqt bo'yicha daviatsiya) parametrlari ham kiradi.

Vaqt oralig'i xatoligi – TIE. Buning uchun uzatiluvchi va qabul qilinuvchi Ref_2 raqamli signalni, Ref_1 etalon signal bilan solishtirish jarayonini qarab chiqamiz (10.3-rasm).



10.3-rasm. TIE tushunchasi

Rasmdan ko'rinib turibdiki, etalon signalga nisbatan Ref_2 signali faza bo'yicha surilishga ega. Bunday surilish vaqt bo'yicha surilish – TIE (Time interval error) nomini olgan va uni vaqt parametri orqali baholash mumkin. Sinxrosignal bilan etalon signalni solishtirish orqali, TIE parametrlarini oldingi qiymati, TIE parametrlarining kuzatish vaqtiga har xil bog'liqligi va TIE parametrlarining maksimal qiymati o'lchanadi. TIE parametrlarini o'lchash absolyut birliklar singari, keltirilgan birliklar (masalan U_1) da ham amalga oshadi. Bu erda U_1 – bu berilgan uzatish tizimi orqali 1 bit axborotni uzatish uchun lozim bo'lgan vaqt.

Vaqt oralig'ining maksimal xatoligi – MTIE. TIE parametri, sinxrosignal parametrlarini taxlil qilish uchun me'yordagi

baholashni bermaydi. Buning uchun etalon signal bilan solishtiriladigan erkin sinxrosignalni qarab chiqamiz (10.4-rasm).



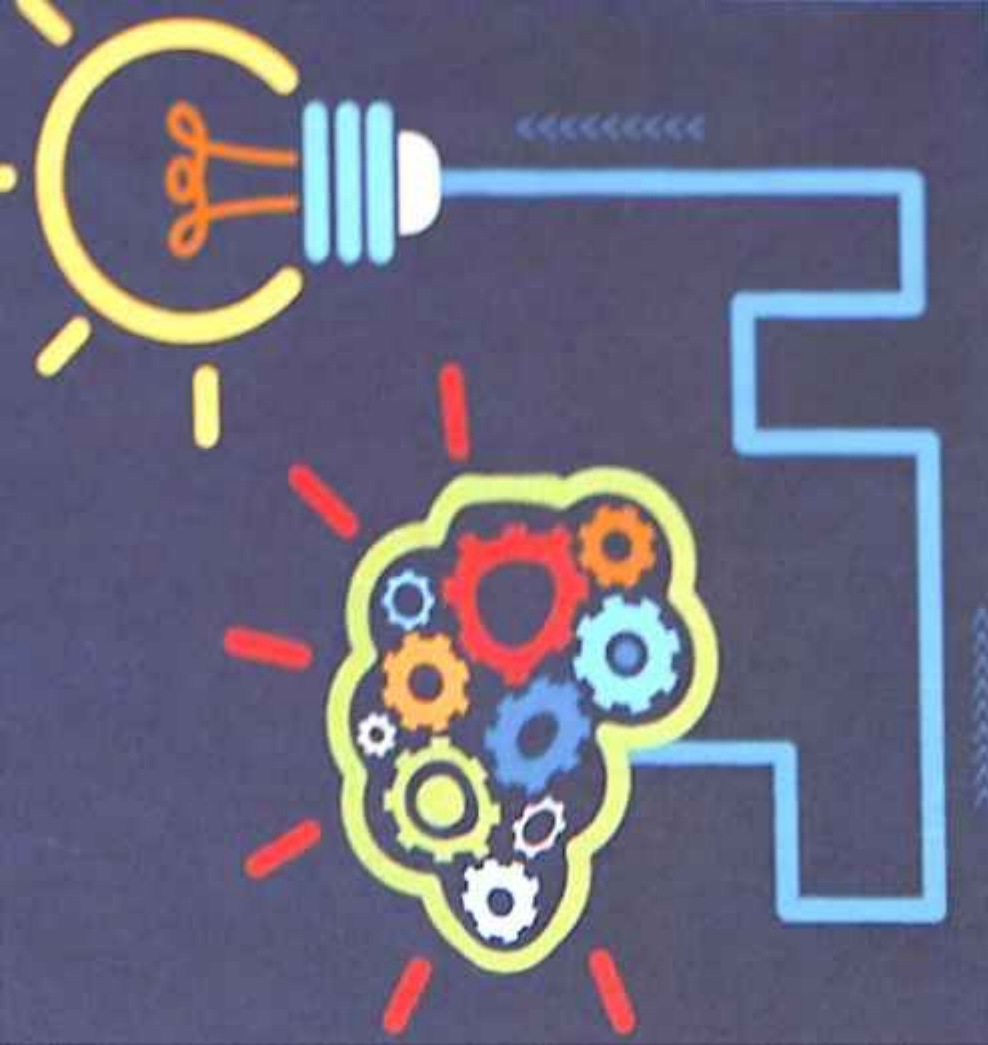
10.4-rasm. TIE va MTIE parametrlari

Bunda ma'lum diskretizatsiyalash qadami bilan TIE qiymati o'lchanadi. O'lchash, o'lchanadigan T vaqt davomida amalga oshadi. Buning uchun TIE parametridan eng katta og'ishni maksimal baholovchi o'lchash oralig'i parametri (S) ni kiritamiz. Bu parametr MTIE (vaqt oralig'ini maksimal xatoligi) nomini olgan. Shunday qilib, MTIE quyidagicha aniqlanadi:

$$MTIE = TIE^{\max} |s - TIE^{\min} |s$$

MTIE parametrlarining qiymati S oralig'ining o'lchamiga bog'liq. Odatda sinxrosignal xarakteristikalarini sifatida, sinxronizatsiya manbalarining asosiy xarakteristikalaridan biri hisoblanuvchi MTIE (S) bog'lanishi qo'llaniladi. MTIE parametrlarini o'lchash uchun 1 s dagi S kuzatish oralig'i qo'llaniladi. Bu parametr nafaqat vander kabi, balki djitter kabi ham ta'sir qiladi. Shunday qilib MTIE parametriga vander ta'sir qiladi.

SDHda TIE va MTIE parametrlari. Biz TIE parametrlarining qanday bog'liqligini va TIE parametri bo'yicha chastota surilishini qanday baholash mumkinligini qarab chiqamiz.

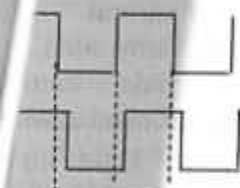


ik doimiy ravishda ishlab
liq. Generator yuqori
iluvchi sinxrosignal

Asosiy parametrlari

toifali parametrlariga
q bo'lgan TIE (vaqt
nal xatoligi), TVAR
bo'yicha daviatsiya)

uchun uzatiluvchi va
f₁ etalon signal bilan
m).

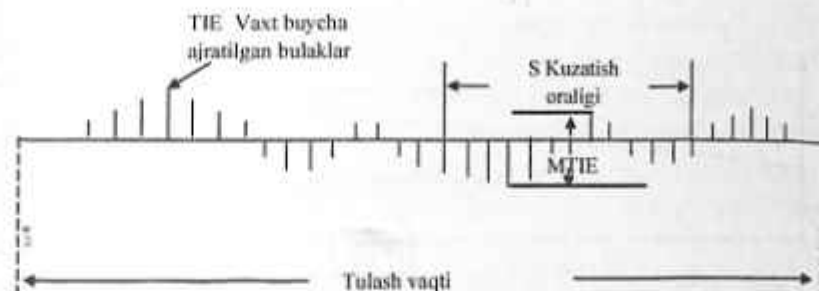


hasi

signalga nisbatan Ref₂
ay surilish vaqt bo'yicha
nini olgan va uni vaqt
gnal bilan etalon signalni
oldingi qiymati, TIE
il bog'liqligi va TIE
adi. TIE parametrlarini
n birliklar (masalan U₁)
gan uzatish tizimi orqali
vaqt.

gi - MTIE. TIE
ilish uchun me'yordagi

baholashni bermaydi. Buning uchun etalon signal bilan
solishtiriladigan erkin sinxrosignalni qarab chiqamiz (10.4-rasm).



10.4-rasm. TIE va MTIE parametrlari

Bunda ma'lum diskretizatsiyalash qadami bilan TIE qiymati
o'lchanadi. O'lchash, o'lchanadigan T vaqt davomida amalga oshadi.
Buning uchun TIE parametridan eng katta og'ishni maksimal
baholovchi o'lchash oralig'i parametri (S) ni kiritamiz. Bu parametr
MTIE (vaqt oralig'ini maksimal xatoligi) nomini olgan. Shunday
qilib, MTIE quyidagicha aniqlanadi:

$$MTIE = TIE^{\max}_S - TIE^{\min}_S$$

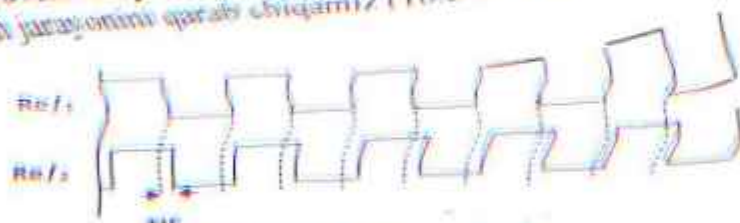
MTIE parametrlarining qiymati S oralig'ining o'lchamiga
bog'liq. Odatda sinxrosignal xarakteristikalarini sifatida,
sinxronizatsiya manbalarining asosiy xarakteristikalaridan biri
hisoblanuvchi MTIE (S) bog'lanishi qo'llaniladi. MTIE
parametrlarini o'lchash uchun 1 s dagi S kuzatish oralig'i
qo'llaniladi. Bu parametr nafaqat vander kabi, balki jitter kabi ham
ta'sir qiladi. Shunday qilib MTIE parametriga vander ta'sir qiladi.
SDHda TIE va MTIE parametrlari. Biz TIE parametrlarining
qanday bog'liqligini va TIE parametri bo'yicha chastota surilishini
qanday baholash mumkinligini qarab chiqamiz.

Demak generator ishidagi noaniqlik doimiy ravishda ishlab chiqiladigan chastotaning og'ishi bilan bog'liq. Generator yuqori mo'tadillikka ega bo'lgan holda, undan beriluvchi sinxrosignalar chastota surilishiga ega.

10.1.2. Sinxronizatsiya tizimlarining asosiy parametrlari

Sinxronizatsiya tizimlarining ikkinchi toifali parametrlariga sinxrosignalning vander taxlili bilan bog'liq bo'lgan TIE (vaqt oralig'i xatoligi), MTIE (vaqt oralig'ini maksimal xatoligi), TVAR (vaqt bo'yicha variatsiya), TDEV (vaqt bo'yicha daviatsiya) parametrlari ham kiradi.

Vaqt oralig'i xatoligi - TIE. Buning uchun uzatiluvchi va qabul qilinuvchi Ref_1 raqamli signallarni Ref_2 etalon signal bilan solishtirish jarayonini qarang chiqamiz (10.3-rasm).

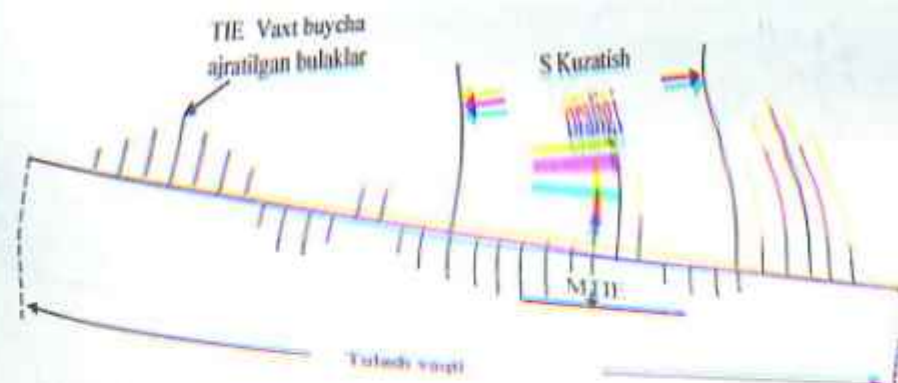


10.3-rasm. TIE tushunchasi

Rasmdan ko'rinib turibdiki, etalon signalga nisbatan Ref_2 signali faza bo'yicha surilishga ega. Bunday surilish vaqt bo'yicha surilish - TIE (Time interval error) nomini olgan va uni vaqt parametri orqali baholash mumkin. Sinxrosignal bilan etalon signalni solishtirish orqali, TIE parametrlarini oldingi qiymati, TIE parametrlarining kuzatish vaqtiga har xil bog'liqligi va TIE parametrlarining maksimal qiymati o'lchanadi. TIE parametrlarini o'lchash absolyut birliklar singari, keltirilgan birliklar (masalan U_1) da ham amalga oshadi. Bu erda U_1 - bu berilgan uzatish tizimi orqali 1 bit axborotni uzatish uchun lozim bo'lgan vaqt.

Vaqt oralig'ining maksimal xatoligi - MTIE. TIE parametri, sinxrosignal parametrlarini taxlil qilish uchun me'yordagi

baholashni bermaydi. Buning uchun etalon signal bilan solishtiriladigan erkin sinxrosignalni qarab chiqamiz (10.4-rasm).



10.4-rasm. TIE va MTIE parametrlari

Bunda ma'lum diskretizatsiyalash qadami bilan TIE qiymati o'lchanadi. O'lchash, o'lchanadigan T vaqt davomida amalga oshadi. Buning uchun TIE parametridan eng katta og'ishni maksimal baholovchi o'lchash oralig'i parametri (S) ni kiritamiz. Bu parametr MTIE (vaqt oralig'ini maksimal xatoligi) nomini olgan. Shunday qilib, MTIE quyidagicha aniqlanadi:

$$MTIE = TIE^{max} |_S - TIE^{min} |_S$$

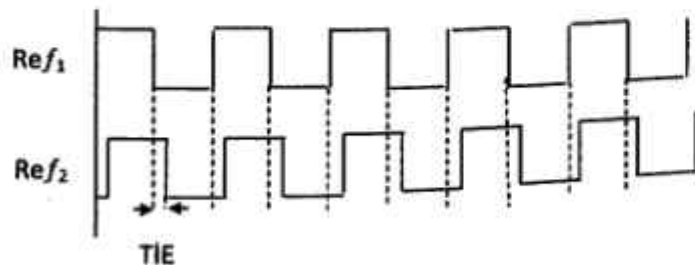
MTIE parametrlarining qiymati S oralig'ining o'lchamiga bog'liq. Odatda sinxrosignal xarakteristikalarini sifatida, sinxronizatsiya manbalarining asosiy xarakteristikalaridan biri hisoblanuvchi MTIE (S) bog'lanishi qo'llaniladi. MTIE parametrlarini o'lchash uchun 1 s dagi S kuzatish oralig'i qo'llaniladi. Bu parametr nafaqat vander kabi, balki jitter kabi ham ta'sir qiladi. Shunday qilib MTIE parametriga vander ta'sir qiladi. SDHda TIE va MTIE parametrlari. Biz TIE parametrlarining qanday bog'liqligini va TIE parametri bo'yicha chastota surilishini qanday baholash mumkinligini qarab chiqamiz.

Demak generator ishidagi noaniqlik doimiy ravishda ishlab chiqiladigan chastotaning og'ishi bilan bog'liq. Generator yuqori mo'tadillikka ega bo'lgan holda, undan beriluvchi sinxrosignalar chastota surilishiga ega.

10.1.2. Sinxronizatsiya tizimlarining asosiy parametrlari

Sinxronizatsiya tizimlarining ikkinchi toifali parametrlariga sinxrosignalning vander taxlili bilan bog'liq bo'lgan TIE (vaqt oralig'i xatoligi), MTIE (vaqt oralig'ini maksimal xatoligi), TVAR (vaqt bo'yicha variatsiya), TDEV (vaqt bo'yicha daviatsiya) parametrlari ham kiradi.

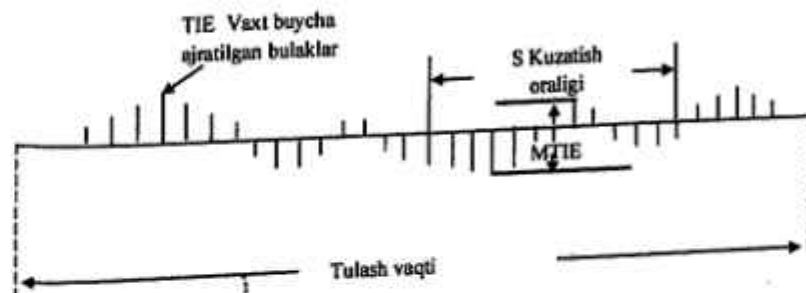
Vaqt oralig'i xatoligi – TIE. Buning uchun uzatiluvchi va qabul qilinuvchi Ref_2 raqamli signalni, Ref_1 etalon signal bilan solishtirish jarayonini qarab chiqamiz (10.3-rasm).



10.3-rasm. TIE tushunchasi

Rasmdan ko'rinib turibdiki, etalon signalga nisbatan Ref_2 signali faza bo'yicha surilishga ega. Bunday surilish vaqt bo'yicha surilish – TIE (Time interval error) nomini olgan va uni vaqt parametri orqali baholash mumkin. Sinxrosignal bilan etalon signalni solishtirish orqali, TIE parametrlarini oldingi qiymati, TIE parametrlarining kuzatish vaqtiga har xil bog'liqligi va TIE parametrlarining maksimal qiymati o'lchanadi. TIE parametrlarini

baholashni bermaydi. Buning uchun etalon signal bilan solishtiriladigan erkin sinxrosignalni qarab chiqamiz (10.4-rasm).



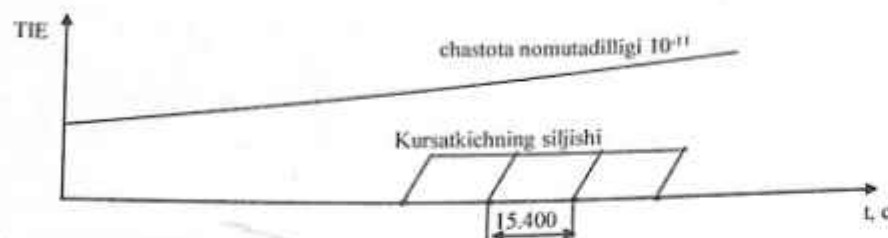
10.4-rasm. TIE va MTIE parametrlari

Bunda ma'lum diskretizatsiyalash qadami bilan TIE qiymati o'lchanadi. O'lchash, o'lchanadigan T vaqt davomida amalga oshadi. Buning uchun TIE parametridan eng katta og'ishni maksimal baholovchi o'lchash oralig'i parametri (S) ni kiritamiz. Bu parametr MTIE (vaqt oralig'ini maksimal xatoligi) nomini olgan. Shunday qilib, MTIE quyidagicha aniqlanadi:

$$MTIE = TIE^{\max} |_S - TIE^{\min} |_S$$

MTIE parametrlarining qiymati S oralig'ining o'lchamiga bog'liq. Odatda sinxrosignal xarakteristikalarini sifatida, sinxronizatsiya manbalarining asosiy xarakteristikalaridan biri hisoblanuvchi MTIE (S) bog'lanishi qo'llaniladi. MTIE parametrlarini o'lchash uchun 1 s dagi S kuzatish oralig'i qo'llaniladi. Bu parametr nafaqat vander kabi, balki jitter kabi ham MTIE parametriga vander ta'sir qiladi.

Masalan tarmoqda sinxronizatsiya og'ishi ($\Delta t = 10^{-11}$) ro'y bergan deb faraz qilsak (10.5-rasm), bunday, og'ish, har biri 15400 sekund (4.2 soat) bo'lgan ko'rsatkichlarni og'ishiga olib keladi.



10.5-rasm. Chastota nomotadilligi va ko'rsatkichlarning siljishi

Berilganlarni 155,520 Mbit/s tezlikda uzatganda, bir bitni uzatish uchun:

$$t_v = 1/t = 6.4 \times 10^{-9} \text{ s}$$

vaqt lozim va bitta ko'rsatkichning surilishi, vaqtli surilishning $TIE = 154 \text{ ns}$ ga teng. Demak bitta surilish uchun yuzaga keluvchi vaqt 33.4 ms ga teng va SDH tizimlarida sinxronizatsiyaning buzilishi, ko'rsatkichlarni surilishiga olib keladi.

10.2. Telekommunikatsiya tarmoqlarida sinxronizatsiyalash usullari

TTS tarmog'i, raqamli aloqa tarmoqlari bazasi asosida, ustma-ust qo'yilgan tarmoq kabi quriladi. Unda uzatiladigan yoki uzatilishi mumkin bo'lgan sinxronizatsiya signallarining yo'nalishlari aniqlanadi. Chunki taktli sinxronizatsiya signallari axborotli signal tuzilishida mavjud, u ham har qanday axborotli signallar uzatilayotgan yo'nalishda uzatiladi. Lekin sinxrosignallarni uzatishda TTS tarmoqlarida qo'llash uchun bu yo'nalishlarning barchasiga ham ruxsat berilavermaydi. Sinxronizatsiya tarmog'ining vazifasi,

sinxrosignalni uzatish tartibini va sharoitini aniqlashdan iborat. Bunday holatda qurilgan sinxronizatsiya tarmog'i o'zining asosiy tuzilishiga ega.

TTS tarmoqlarining tuzilishi etarli darajada sinxronizatsiyaning tanlash usuliga bog'liq. Sinxronizatsiyaning ikki asosiy usuli mavjud: majburiy va aralash. Shuningdek ularni ayrimlarini birga qo'llash ham mumkin.

Majburiy sinxronizatsiyalash (boshqaruvchi va boshqariluvchi) holatida tarmoq, bevosita boshqa chastota beruvchi generatorlar yoki oraliq chastota beruvchi generatorlar yordamida sinxronizatsiya signallari bilan ta'minlovchi birlamchi chastota beruvchi generator (BCHBG)ga ega. Bunda BCHBG boshqaruvchi, qolganlari esa boshqariluvchi generatorlar (IG-ikkilamchi generatorlar) deb ataladi (10.6.a-rasm).

O'zaro bog'langan sinxronizatsiya deb, barcha chastota beruvchi generatorlarni bir-birini boshqaruvchi usuliga aytiladi (10.6.a-rasm).

Sinxronizatsiyaning aralashgan usuli ham bo'lishi mumkin, bunda BCHBG, xuddi majburiy sinxronizatsiya kabi boshqariladigan generatordan sinxronizatsiya signallarini berishi mumkin va xuddi shu vaqtda boshqaruvchi chastota beruvchi generatorlar o'zaro bog'langan sinxronizatsiya kabi sinxrosignallarni almashishi mumkin (10.6.v-rasm).

O'zaro bog'langan sinxronizatsiya tarmoq tuzilishining barcha o'zgarishlariga juda sezuvchan, shuning uchun faqatgina statsionar tuzilish holatidagina qo'llaniladi. Lekin barcha chastota beruvchi generatorlar uchun nisbatan past mo'tadilli chastotaga ruxsat beriladi, chunki chastota beruvchi generatorlar qo'llaydigan chastotalarning o'zaro moslashishi (tenglashishi) hisobiga tarmoqda chastotalar mo'tadilligi ta'minlanadi.

Hozirgi paytda telekommunikatsiyaning raqamli tarmoqlarida faqat majburiy sinxronizatsiya qo'llaniladi, lekin ayrim tarmoqlarda yaqinlargacha aralashgan sinxronizatsiya qo'llanib kelingan.

"Nuqta-nuqta", halqa va yacheykali tuzilishga ega bo'lgan topologiyalarni qo'llovchi SRI/SDH tarmoqlarining paydo bo'lishi, sinxronizatsiya muammolarini hal qilishda qo'shimcha murakkabliklarga olib keldi, chunki ikkita oxirgi topologiya uchun

signallarning marshrutlari tarmoqni funksionallashtirish jarayonida o'zgarishi mumkin.

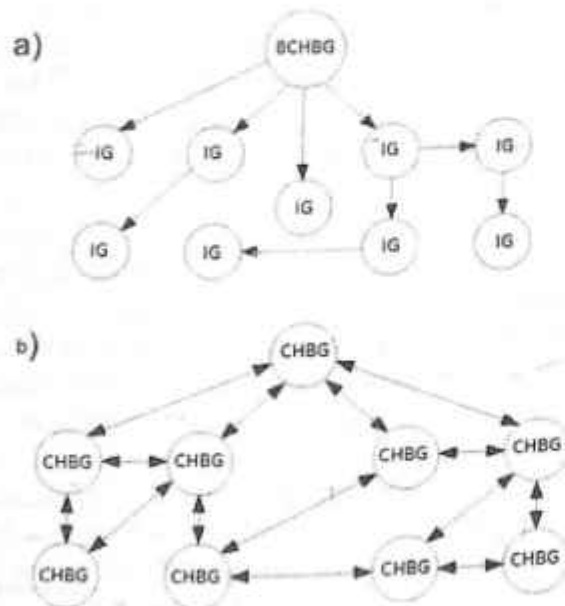
SRI/SDH tarmoqlari bir nechta qaytalanuvchi sinxronizatsiya manbalariga ega:

- tashqi tarmoq taymeridan 2048 kGs chastotali signal yoki birlamchi etalon taymer PRS (XEI-T (ITU-T) G. 811 tavsiyasiga binoan);

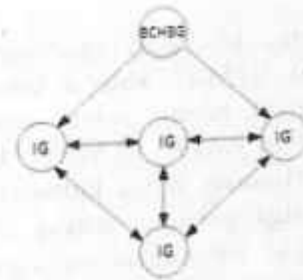
- ulanuvchi kanalning foydalanuvchi interfeysidan signali - tranzit uzal TNS (XEI-T (ITU-T) G.812 tavsiyasiga binoan) taymeri analogi - 2048 kbit/s li birlamchi oqimdan ajratiladigan, 2048 kGs chastotali signal;

- 2048 kGs chastotali ichki taymer signali yoki lokal uzal LNC (XEI-T (ITU-T) G. 812 tavsiyasiga binoan) taymeri;

- 2048 kGs chastotali STM-N ning liniya signali - 155,52 Mbit/s yoki $4n \times 155,52$ Mbit/s liniya signalidan ajratiladigan signal yoki liniya taymeri.



v)



10.6-rasm. Majburiy (a), o'zaro bog'langan (b), aralash sinxronizatsiya (v)

E1 (2 Mbit/s) yuklama signallari STM-1 signallarining virtual konteynerlarida aks etishi va ko'rsatkichlar qo'llaniladigan, konteyner joylashtirilgan tuzilishda "suzish" mumkinligini hisobga olgan holda ularni SRI/SDH ning sinxronizatsiya tarmoqlaridan chiqarish lozim.

Ikki taymer signallarining aniqligi kichik, taxminan $(1...5) \times 10^{-6}$ ga teng, lekin tarmoq uzeli qabul qilingan signal bo'yicha taymer signalini qayta tiklaganda va keyingi uzalga uzatganda "taymer signallarni bosqichlashtirish" jarayonida xatoliklar yig'ilishi mumkin. Xuddi shu ma'noda tashqi tarmoq taymeri signallari va STM-N ning liniya signali eng ishonchli sinxronizatsiya manbasi hisoblanadi.

SRI/SDH tarmoqlarida sinxronizatsiya uzallarining saqllovchi manbalarini to'rtta standart ish rejimi qarab chiqilgan:

a) birlamchi etalon generator PRS yoki BEG generatori (master uzal);

b) majburiy sinxronizatsiya-boshqaruvchi chastota beruvchi taymer SRC rejimi yoki ikkilamchi chastota beruvchi (ICHBG) (tranzit va/yoki mahalliy uzallar) generator;

v) 5×10^{-10} aniqlikda ushlab turish rejimlari-tranzit uzal uchun va 5×10^{-8} mahalliy uzal uchun va mos holda sutkalik dreyf uchun 5×10^{-9} va 5×10^{-8} larga teng;

g) erkin rejim (tranzit va mahalliy uzallar uchun), saqlab turish aniqligi manba sinfiga bog'liq. Uning qiymati tranzit uzal uchun 5×10^{-8} va mahalliy uzal uchun 5×10^{-6} bo'lishi mumkin.

XEI-T (ITU-T) va Evropa telekommunikatsiya standartlashtirish instituti (ETSI) tashkilotlari saqllovchi manba sifatining sathi tushunchasini qo'llashni taklif etishdi. Bu sath, SSM

(Sinxronization Status Message) sinxronizatsiya statusi haqidagi xabarlar ko'rinishida, STM-N sinxron transport moduli sarlovxasi orqali berilishi mumkin, buning uchun sinxronizatsiya baytlarining (masalan S1) 5-6 bitlari yoki E1 (2 Mbit/s) kadrida zaxira bit ketma-ketligi qo'llaniladi. Bunday holda tarmoqda uzilish ro'y berganda zaxira ulanish amalga oshadi, tarmoq elementi esa alternativ marshrutdan tiklangan sinxronizatsiya signalini qo'llash zarurligi haqidagi xabarni taymerga jo'natadi.

Tarmoqni boshqaruvchi zamonaviy tizimlarda saqlovchi manbalarning sifat sathlari oltitagacha bo'lishi mumkin (10.1-jadval).

"Sifat sathi noma'lum" turidagi xabarlar saqlovchi manba signali sinxronizatsiya statusi haqidagi xabar servislarini qo'llamagan, SRI/SDH ning eski qurilmalaridan olinganligini bildiradi.

"Sinxronizatsiya maqsadida qo'llanilmaydi" xabari, sinxronizatsiya maqsadi uchun ushbu lahzada STM-N ning qo'llanilmayotgan interfeysi blokidan kelishi mumkin.

10.1-jadval

Saqlovchi manbaning sifat sathlari

Simvol	Xabar
RRC yoki G.811	Birlamchi etalon taymer PRC ITU-T G.811
Unknown	Sifat sathi noma'lum
TNC yoki G.812 T	Tranzit uzal taymeri TNC ITU-T G.812
SETS	SDHning shaxsiy uzali taymeri, STM-N ning liniya signali
Don't use	Sinxronizatsiya maqsadida qo'llanilmaydi

10.3. SRI/SDH apparaturalarida sinxronizatsiyalash rejimlari

SRI/SDH qurilmalari va apparaturalari sinxronizatsiya tarmoqlarining butun bir mexanizmlari va tadbirlarini qarab chiqadi. Turli ishlab chiqaruvchilarning bunday apparaturalarida

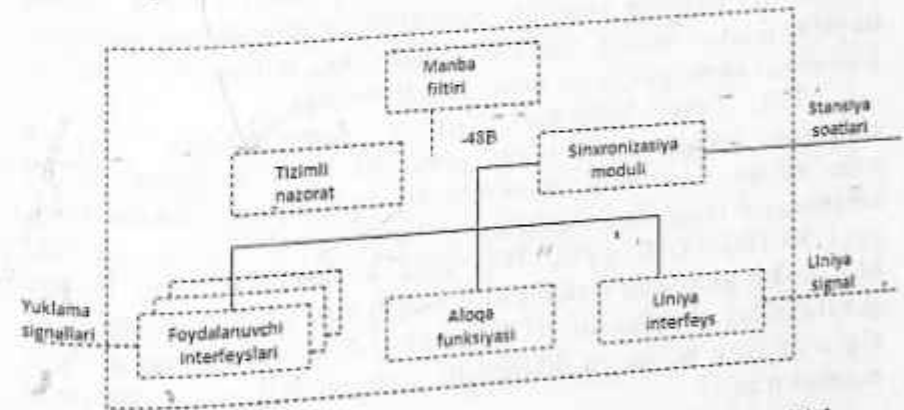
joylashtirilgan vositalari kam farq qiladi. Siemens va Huawei kompaniyalarining kirish/chiqishli multipleksori (KCHM/ADM) misolida qarab chiqamiz.

Multipleksor SRI/SDH tarmog'ining boshqa tarmoq elementi bilan sinxronizatsiyalash imkonini beruvchi sinxronizatsiya tizimiga ega, shuningdek ichki berilganlarni sinxronizatsiyalashni ta'minlaydi. Multipleksor ichida amalga oshadigan sinxronizatsiya jarayoni 10.7-rasmdagi sxemada ko'rsatilgan.

To'g'ri chiziqlar bilan sinxrosignallarning o'tish yo'li berilgan. Sinxronizatsiya masalasini TGU (Timing Generator Unit) sinxrogeneratori bloki hal qiladi.

Sinxrogenerator blokiga foydalanuvchi interfeysiga liniya porti bo'ylab va liniya interfeyslari yoki foydalanuvchi interfeyslari (yuklama signallari porti) orqali "stansiya soatlari" bo'yicha o'tuvchi signallar tushadi, shuniyam aytish joizki, eng oxirida 2048 kbit/s signal tushadi. Blok, tanlangan signalni mo'tadillashtiradi.

TGU sinxrogeneratorining ikkala bloki 2048 kGs sinxrosignalni tanlaydi va uning mo'tadilligini ta'minlagan holda (2 Mbit/s li signallarning) fluktuatsiyasini tuzatadi.



10.7-rasm. Multipleksorning sinxronizatsiyalash jarayonini tuzilish sxemasi

Shunday qilib, standart rejimda multipleksorning barcha bloklari TGU ning birorta blokidan tushuvchi har qanday sinxrosignallar boshqaruvi ostida ishlaydi.

Sinxrosignallar, sinxronizatsiyani tanlash rejimi chegarasida ulanadi. Agar tanlagan rejimda real sinxrosignal yo'qolsa, unda TGU bloki soat selektorlari orqali o'tuvchi o'zaro halaqitlarni hosil bo'lishini oldini oladi.

Sinxrosignal turini aniqlovchi tarmoq ma'muri, multipleksorning ichki sinxronizatsiyasini zarur bo'lgan ish rejimini ta'minlashi mumkin. Quyidagicha ishlash rejimlari bo'lishi mumkin:

- liniya signali orqali sinxronizatsiya, qachonki liniya interfeyslari (qabul qilish/uzatish) LPU (Line Port Unit) bloki signalidan sinxrosignal chiqarilganda;

- 2 Mbit/s yuklamali signal orqali sinxronizatsiya, qachonki foydalanuvchi interfeyslari TPU (Tributary Port Unit) blokining 2 Mbit/s li foydali yuklama signalidan sinxrosignal chiqarilganda;

- tashqi signal orqali sinxronizatsiyalash, qachonki sinxrosignal tashqi generatoridan tushsa. Yuqorida aytib o'tilganlarga qo'shimcha ravishda yana qaytalovchi rejim kirishi mumkin, qachonki TGU bloki uchun multipleksorning ichki generatoridan ta'minlansa, TGU generatoridan, ulanuvchi panelda joylashgan ikkita alohida ajratgichga "stansiya soatlari"ning ikkita chiqish signali beriladi. Bu signallar yuqorida aytib o'tilgan rejimlarning faqatgina birinchi ikkitasi uchun mumkin. Qolgan ikki rejimda bu signallar, funksional vazifaga ega bo'lmasa shakllanmaydi.

TGU sinxrogeneratori, nisbiy nomotadilligi $4,6 \times 10^{-6}$ chegarada bo'lgan va berilgan generator bilan aniqlanadigan va uzatiladigan signallarni sinxronizatsiyalash uchun shakllantiradi, sinxrosignal chastotasi, tashqi etalon kirish signali (stansiya soatlari) yoki KCHM/ADM, LPU, TPU yoki boshqa TGU ning boshqa bloklaridan tushuvchi etalon kirish signali yoki erkin rejimdagi ichki generatoridan shakllanadi. TGU generatori, agar yuqorida aytilgan signallar yo'q bo'lsa va ikkilamchi sinxronizatsiyasiz ishlasa erkin rejimga o'tadi.

To'g'ri buyruq olish uchun TGU generatorini ulash, multipleksorning tizimli nazorati CTL (Sistem Controller) bilan bog'liq va quyidagi funksiyalarni ta'minlaydi.

- ichki va tashqi taymerlarning chiqish sinxrosignallari nazorati (monitoringi), tanlangan sinxrosignal va signal chastotalarini o'chirish;

- tashqi yoki mahalliy taymer sinxrosignallaridan tanlash; boshqa TGU liniya signalidan yoki yuklama signalidan;

- TPU bloklari uchun 8 va 64 kGs, 2 MHz sinxrosignallar chastotalari, 2 MHz chiqishdagidan, 155 MHz sinxrosignalidan barcha bloklar uchun 20 kHz vaqt bo'yicha belgilangan sinxrosignalni shakllantirish;

- ichki generator birorta tashqi sinxrosignallardan sinxronizatsiyalanganda signal fazasini kuzatish rejimida funksionallashish; ichki generator stansiya soatlari uchun birorta tashqi sinxrosignallardan BITS (Buieding Integrated Timing Suppen Mode) rejimida sinxronizatsiyalansa.

TUUning tayanch sinxronizatsiya signallarini tanlash. Ikkala TGU bloki quyidagi manbalardan tayanch sinxrosignallarni tanlashi mumkin, agar ular ulansa:

- etalon sinxrosignalning liniyaviy yoki foydalnuvchi interfeyslari - bu signallar LPU bloklari orqali liniya portlaridan TPU-155 bloklari orqali STM-1 yuklama signallari, TPU-1 yoki TPU-2 LPT bloklari orqali 2048 kbit/s yuklama signallari portlaridan tushadi;

- tashqi sinxrosignal manbalari - bu signallar stansiya soatlarining ikki kirishidan tushadi. Standart rejimda tizim soatlari chastotaning nisbiy aniqligi 10^{-11} dan kam bo'lmagan birlamchi etalon manbalardan tushadi. TGU bloki etalon signal sifatida, nominal qiymatdan chastotaning og'ishi $4,6 \times 10^{-6}$ ga teng.

TGU ning har bir bloki, TGU ning boshqa bloklariga yo'naltiruvchi stansiya soatlari signali uchun bir kirishga ega, ya'ni TGU ning ikkala bloki ham tashqi etalon signallar bilan ta'minlaydi. Kirishga etalon signallar tushuvchi, Agar TGU blokining chiqishidagi sinxrosignallar qoniqarsiz bo'lsa, TPU bloklarining signallari bo'yicha stansiya soatlarining signal bo'yicha kesishgan holda ulanishi o'zaro bog'lanadi. Shunday qilib, har qanday rejim uchun ishchi va zaxira tayanch signallarini TGU ning har bir blokida qo'llash mumkin, ishlayotgan TGU blokida tayanch signallarini har qanday ulanishi butun multipleksorning berilganlariga ta'sir qiladi.

Ulanishlarning quyidagi turlari bo'lishi mumkin:

- LPU va PPC bloklari 155 MHz chastotali sinxrosignal uchun va 8 kHz chastotali kadrlarni kuzatuvchi sinxrosignal uchun ulagichlar ta'minlangan;

- TPU bloklari 2048 kHz li sinxrosignallar uchun ulagichlar bilan ta'minlangan;

- nazoratchining panel majmuasini bir qismi hisoblanuvchi barcha bloklar (PFS (Power Supply Filters)) dan tashqari, sinxrosignallar uchun ulagichlar bilan ta'minlangan.

Sinxrosignallar monitoringi: 155 MHz, 8 MHz, 2048 kHz chastotali barcha sinxrosignallar barcha ulagichlar kirishida nazorat qilinadi. Sinxrosignalda har qanday mos kelmaslik, sinxronizatsiya qurilmasining zaxira blokiga ulanishiga olib keladi. Bunday ulanish tizim nazoratchisida amalga oshirishi ham mumkin.

Sinxronizatsiya qurilmalarining apparat qismini ulashda, blokda sinxrosignalni tanlovchi barcha ulagichlar zaxira soatlari signallariga o'zgartiriladi. Buning natijasida TGU ning zaxira bloki barcha tizimni sinxronizatsiyalaydi va shunday qilib ishchi blok hisoblanadi.

Sinxronizatsiya tizimining apparat qismini ulagandan keyin, TGU ning ikki bloki orasidagi o'zaro sinxronizatsiya ham o'zgaradi va tizimda ma'lumotlarni uzatishda bu haqda ma'lumot bermaydi.

10.4. Optik aloqa tarmoqlari uchun sinxronizatsiya tizimi qurilmalari

Sinxronizatsiya tizimlari (generatorlari) manbalarining turlari. Sinxronizatsiya tizimi qurilmasiga qisqacha to'xtab o'tamiz [1]. Sinxrosignallarning generatorlari ikki turga bo'linadi: kvars va atomli. Birinchi guruxga uch turdagi manbalar kiradi: odatdagi kvarsli, xaroratli kompensatsiyalovchi kvarsli TSSO (Temperature Compensated Crystal Oscillator) va sovituvchi kvarsli manbalar OCCO (Owen Compensated Crystal Oscillator). Atomli manbalarga quyidagilar kiradi: vodorodli mazerlar, sseziy standartlari va rubidiyli manbalar. Chastotaning kvarsli manbalari, kvarsning piezoelektrik xususiyatlarini qo'llaydi, shunda rezonans lazerli nurlanish prinsipi bo'yicha xuddi atomli manbalar kabi ishlaydi. Sinxronizatsiyaning barcha asosiy manbalari ishlash prinsiplari va tuzilishi, aniqlik parametrlari bo'yicha farqlanadi. Vodorodli mazerlar o'ta yuqori aniqlik va mo'tadillik (va narx) ga ega, undan keyingi o'rinni esa ketma-ketsseziy standartlari, chastotaning rubidiyli manbalari, TSSO, OCCO va odatdagi kvars manbalari egallaydi. Vodorodli

mazerlar narxining yuqoriligi tufayli amalda faqatgina laboratoriya majmualarida, aviatsiyada va kosmonavtikada qo'llaniladi.

Amalda aloqa tarmoqlari uchun sinxronizatsiya manbalarining besh turi qo'llaniladi (10.2-jadval) [112].

10.2-jadval

Har xil turdagi sinxronizatsiya manbalarining solishtirma xarakteristikalar

Xarakteristika	Sinxronizatsiya manbasi				
	kvarsli	TSSO	OSSO	seziyli	rubidiyli
Rezonatorning asosiy chastotasi		10 kGs dan 100 mGs gacha		9192631770 Gs	6834682613 Gs
Chiqishda ta'minlanadigan chastota		10 kGs dan 100 mGs gacha		1, 5, 10 mGs	1, 5, 10 mGs
Chastota dreyfining muddati: 1s dagi 1 sutkadagi katta davrdagi	10^{-9} 10^{-7} bir yilda 10^{-6}	10^{-9} 10^{-8} 10^{-7} 10^{-8} bir yilda		10^{-11} - 10^{-13} 10^{-13} - 10^{-14} 10^{-13} bir yilda	10^{-13} - 10^{-12} 10^{-12} - 10^{-13} 10^{-13} bir oyda
Tashqaridan ta'sir qiluvchi	Harakat, xarorat, kvarsning fizik			Magnit maydonlari.	Magnit maydoni.

omillar	parametrlari	xarorat	atmosfera bosimi
Uzoq muddatli mo'tadillikga ta'sir qiluvchi sabablar	Kvarsning eskirishi, elektron komponentlarning eskirishi, atrof muxitning o'zgarishi	Komponentlar ning eskirishi	YOrug'lik manbasini eskirishi, atrof muhit

*-rubidiyli manbalarning nisbiy dreyf qiymati bir oy maboyrida o'lanadi.

Jadvalda berilganlardan ko'rinib turibdiki, kvarsli generatorlar qisqa muddatli mo'tadillik bilan yuqori sifatni etarli darajada ta'minlaydi, lekin uning uzoq muddatli mo'tadilligi ancha past. Atomli generatorlarda mo'tadillik parametrlari ancha yuqori. Seziy standartlari anchagina mo'tadil hisoblanadi, chunki unda xuddi uzoq muddatli kabi, qisqa muddatli mo'tadillik parametrlari ham yuqori.

Rubidiyli generatorlar qisqa muddatli yuqori mo'tadillikni ta'minlaydi, lekin uzoq muddatli mo'tadillik bo'yicha seziy generatoridan yaxshi emas.

Sinxronizatsiya tizimining generatorlari narxi uning mo'tadilligiga proporsional. Seziy standartlari eng yuqori naxga ega, undan keyin rubidiyli generatorlar, TSSO kvarsli generatorlar, OCCO va eng arzon odatdagi kvarsli generatorlardir. 10.3-jadvalda berilgan ma'lumotlar bo'yicha sinxrogeneratorlarning asosiy sifat xarakteristikalarini solishtirish mumkin.

Sinxronizatsiya tizimlari manbalari sifatida boshlanishida nevigatsiya uchun yaratilgan ya'ni er yuzidagi ob'ektlarning joylashgan o'rnini aniqlash uchun mo'ljallangan GPS ning global tizimi qo'llaniladi. GPS tizimi past orbitali NAVSTAP kosmik tizimlarini qo'llashga asoslangan. Bir vaqtning o'zida er sharining har qanday naqtasida gorizont ustidan kamida uch yo'ldosh kuzatiladi.

10.3-jadval

Sinxronizatsiya tizimining generatorlarining asosiy xarakteristikalar

Manba	Mo'tadillik	Qurilma	Narxi
Seziy	Yuqori	Statsionar	Yuqori
Rubidiyli	O'rta	Portativ	O'rta

TSSO	O'rta	Komponentlar	O'rta
OCCO	O'rta	Komponentlar	O'rta
Oddiy kvars	Past	Mikrosxema	Past

Yo'ldoshda, berilgan signallarni generatsiyalovchi yuqori mo'tadilli (seziy standartlari) generetorlar joylashgan. GPS da aniq vaqt signallari UTC (Universal Time Coordinated) va qabul qilgichlarni sinxronizatsiyalash uchun chastota mavjud. GPS qabul qilgichida triangulyasiya usuli asosida er yuzidagi ob'ekt koordinatalari hisoblanadi. Bir vaqtning o'zida GPS qabul qilgichi qabul qilingan signaldan etarli darajadagi mo'tadillik bilan sinxrosignal chastotasini qayta tiklashi mumkin. GPS qabul qilgichi ishlab chiqadigan sinxrosignalning xususiyati, uning uzoq muddatli yuqori mo'tadillikga va aniq vaqt oralig'ida gorizont ustidagi yo'ldoshlar soniga bog'liq bo'lgan qisqa muddatli mo'tadillikga egaligidir va vaqt bo'yicha etarli darajada keng miqyosda o'zgartirish mumkin.

10.5. Tarmoqning taktli sinxronizatsiyasining asosiy tuzilish prinsiplari va standartlari

10.5.1. Tarmoqning taktli sinxronizatsiyasini tuzilish prinsiplari

Magistral raqamli transport tarmoqlarini rejalashtirish va qurishni, bir vaqtda tarmoqning taktli sinxronizatsiyasi (TTS) ni yaratish va takomillashtirish bilan birgalikda bajarish lozim. Undagi zarurat, raqamli shakldagi signallarni uzatish va kommutatsiyalash qobiliyatiga ega bo'lgan raqamli uzatish tizimlari (RUT) ning transport tarmog'i yagona tarmoqda raqamli kommutatsiya tizimlari bilan integrallashganda yuzaga keladi. Raqamli tarmoqlarning samarali ishlashi uchun, XEI-T (ITU-T) tavsiyalarining talablariga javob beruvchi, sifatli raqamli axborotlarni uzatishni ta'minlovchi va amalda raqamli tarmoqlarning ishonchliligiga va yashovchanligiga ta'sir qilmaydigan TTS tizimini tashkillashtirish lozim [113, 114, 115].

TTS tizimlarida RUT SRI/SDH apparaturalari sinxronizatsiyasidan farqi, sinxronizatsiya signallari va axborotli signallar orasida aniq bir fazaviy nisbatlarni ta'minlashni talab

qilmaydi. Raqamli tarmoqlarda bu signallar orasidagi fazaviy surilishlarning ta'sirlarini istisno qilish uchun elastik bufer xotira qurilmalari, ko'rsatkich va qo'shimcha bit (staffing) larni qo'llaydi. 2 MHz va undan yuqori taktli chastotaga ega bo'lgan turli sathlarning raqamli oqimlarini moslashtirishda TTS talab qilinmaydi, chunki staffing-buyruqlar yordamida tezliklarni sozlash tizimlari mavjud. Faqatgina pleziaxron raqamli ierarxiya PRI/ PDH ning E1 (2 Mbit/s) sathidagi signallarni birlashtirishda ularni sinxronizatsiyalash talab qilinadi, shundan kelib chiqqan holda ko'chirilgan RUT larini qo'llaganda TTS tizimi zarur. Oxirgisi, sinxronizatsiya signallari, juda yuqori aniqlikda o'rnatilgan nominal qiymatni va yuqori mo'tadilli taktli chastotalarni berishi lozim. Buning uchun raqamli tarmoqlarda BEG lar joylashtiriladi.

Hozirgi vaqtda o'zaro bog'langan aloqa tarmoqlari uchun, bazaviy tarmoqlarning TTS tizimi asosiy hisoblanadi. Bu tizim o'zaro bog'langan aloqa operatorlarini ustun turuvchi sifatli sinxronizatsiya signallari bilan ta'minlash qobiliyatiga ega. Chunki bunday tarmoqda etarli darajadagi BEG lar joylashtirilgan va uzatiladigan sinxrosignallarning sifati uchun lozim bo'lgan nazoratni ta'minlaydi [114]. TTS ning bazaviy tizimi XE1-T (ITU-T) tavsiyalari va ETSI standartlariga [115] mos holda sinxronizatsiyaning talab qilingan sifatini kafolatlagan holda har qanday aloqa operatorini unga ulanish imkonini yaratadi. Lekin bir qator shartnoma asosidagi va yirik korporativ tarmoqlarning mavjudligi tufayli, ularning spetsifik xususiyatlaridan kelib chiqqan holda shaxsiy TTS va BEG tizimlarini joylashtirish lozim.

Sinxronizatsiya signallari 2048 kHz chastotali maxsus signallar kabi XE1-T (ITU-T) G.703 tavsiyasiga [116] mos keluvchi PRI/PDH ning raqamli uzatish tizimlarini E1 sathidagi foydali yuklamaning axborotli signallari kabi xizmat qilishi mumkin. Raqamli tarmoq bo'ylab sinxronizatsiya signallarini uzatish uchun SRI/SDH PRI/PDH ning raqamli uzatish tizimlarining signallarini qo'llash mumkin. PRI/PDH tarmoqlari bo'yicha sinxrosignallar E1 sathidagi signal tarkibida uzatiladi. SRI/SDH tarmog'i bo'yicha sinxrosignallar, STM-N ($N=1, 4, \dots$) sinxron modullarining raqamli oqimlari tarkibida uzatiladi. E1 (2 Mbit/s) sathidagi foydali yuklamaning raqamli oqimlari, sinxrosignallarni tashuvchilar sifatida qo'llashga yaroqli emas. SRI/SDH ning raqamli uzatish

tizimlari multipleksorlarida STM-N sinxron modullaridan 2048 kHz chastotali sinxronizatsiya signalli shakllanadi. STM-N sinxron modullari yordamida berilgan sinxronizatsiya signallarining sifatini qayta tiklash uchun, SRI/SDH ning raqamli uzatish tizimlarining multipleksorlari tarkibiga kiruvchi generatorlar TE (TEG) (TE-tarmoq elementi, TEG-tarmoq elementi generatori) qo'llaniladi. TEG ga liniya oqimi bo'yicha yoki yuklama oqimidan olingan sinxrosignallar tushadi. 2048 kHz li sinxronizatsiya signali TEG ga bevosita BEG dan, ICHBG dan, ayrim hollarda boshqa multipleksorlarning TEG dan tushishi mumkin.

10.5.2. Tarmoqning taktli sinxronizatsiya tizimini tuzish

Yuqoridagi bandlarda aytib o'tganimizdek, taktli sinxronizatsiyaga zarurat, yagona raqamli tarmoqlarda raqamli uzatish tizimlari va kommutatsiyalash birgalikda funktsionallashganda yuzaga keladi. Etolon taktli chastotalarning ancha yuqori mo'tadilligini qo'llab-quvvatlash uchun bunday tarmoqlarning taktli sinxronizatsiyasini ta'minlash zarur hisoblanadi. Tarmoqning taktli sinxronizatsiya tizimi, tarmoqda sinxronizatsiyalash zarur bo'lgan barcha qurilmalarni vaqt shkalasini moslashtirishni amalga oshiradi va raqamli signallarni surilishdan saqlaydi. Bunday surilishlar raqamli signallarda bit bloklarini olib tashlaganda va yoki takrorlaganda, raqamli tarmoqlarda bufer qurilmalrining yozish va hisoblash tezliklarining farqi tufayli yuzaga keladi.

Me'yorda ishlayotgan raqamli tarmoqlar uchun surilish chastotasi, XEI-T (ITU-T) G.822 tavsiyasida belgilangan me'yordan oshib ketmasligi kerak. Surilish chastotasining oshishi foydalanuvchiga uzatiladigan aloqa xizmatining sifatiga ta'sir ko'rsatadi, masalan, ma'lumotlar yo'qolishi, ovozni uzatishda chiqillashlarning yuzaga kelishi va videoni uzatganda tasvirning bir qismi yo'qolishi mumkin.

Shunday qilib, ishonchli taktli sinxronizatsiyani ta'minlash uchun bir qator murakkab masalalarni echishga to'g'ri keladi. Shuningdek taktli sinxronizatsiyaga ega bo'lgan tarmoqni ekspluatatsiyaga kiritish va uni texnik ekspluatatsiya qilishda, tarmoq operatorlari ma'lum qiyinchiliklar bilan to'qnashadi.

Tarmoqning taktli sinxronizatsiyasini loyihalashda eng murakkab vazifalardan biri, sinxronizatsiya signallarini tanlash, sinxronizatsiya zarur bo'lgan barcha raqamli qurilmalarni ishonchli sinxronizatsiya bilan ta'minlash uchun raqamli tarmoq ichida uni tarqatishdan iborat. Ya'ni TTS tarmog'ini loyihalashtiruvchi operator, quyidagi masalarni echishi kerak:

- sinxrosignal manbasini (asosiy va zaxira) tanlash;
- sinxrosignallarning asosiy va zaxira o'tish yo'llarini tanlash;
- TTS tarmoqlarining barcha qurilmalarida sinxronizatsiya signallarining ustun (prioritet) kirishini belgilash;
- sinxronizatsiya signallarining manbalarini sifatini aniqlash;
- avariya holatida sinxronizatsiya signallarining yo'qolishi va halqa hosil bo'lish imkonini bartaraf qilish maqsadida tarmoqning strukturaviy taxlilini o'tkazish;
- tarmoqda o'rnatilgan qo'shimcha qurilmalarning talabini aniqlash;
- sinxronizatsiya signallarini kommutatsiyalash stansiyalariga va boshqa oxirgi qurilmalarga ulanishini hisobga olgan holda uzal ichi sinxronizatsiya sxemasini ishlab chiqish;
- har qanday nosozlik yuzaga kelgan holatda, har bir kommutatsiyalash stansiyasining sinxronizatsiya signallarini ta'minlanishini tekshirish.

Shunday qilib, TTS tarmog'ining ishonchliligi va sifat ko'rsatkichlari, loyihalashning birinchi bosqichiga kiritiladi. TTS tarmoqlarini etarli darajada to'g'ri rejalashtirilmagani natijasida operatorlar sinxronizatsiya tarmoqlarida halqaning yuzaga kelish muammolari bilan to'qnashadi. Bundan tashqari, sinxronizatsiya tarmoqlarining strukturaviy ishonchliligiga bog'liq bo'lgan, telekommunikatsiya tarmoqlarini sinxronizatsiyalashning eng samarali usulini tanlash masalasini ham echish lozim. Telekommunikatsiya tarmoqlarini samarali sinxronizatsiyalash usuli deganda, nafaqat tarmoqning barcha uzallariga sinxronizatsiya signallarini etkazish va ularni o'tish yo'llarini zaxiralashni hisobga olgan holda tarmoqda sinxronizatsiya signallarini tarqalishini texnik savollari, balki sinxronizatsiya qurilmalariga ketgan sarf-xarajat kam bo'lgan, chuqur rejalashtirilgan, etarli darajada ishonchli bo'lgan TTS tarmoqlarining iqtisodiy savollari ham nazarda tutiladi.

Zamonaviy konsepsiya asosida tarmoqning taktli sinxronizatsiya tizimini tuzishning ayrim savollarini ko'rib chiqamiz.

TTS tizimini tuzishning zamonaviy konsepsiyasi uchta asosiy tizim integratsiyasini qarab chiquvchi: uzellararo tizim, uzal ichi sinxronizatsiyasi, tizim tagi nazorati va sinxronizatsiya sifati (QoS) ni boshqarishni integrallashgan TTS tizimi - BITS (Building Integrated Timing Supply Mode) ni to'liq mashtabda qo'llashga asoslangan [112].

Uzellararo sinxronizatsiya tizim (UST) - tarmoqning asosiy uzallarida sinxrogeneratorlarni joylashtirish va tarmoq yoki ajratilgan aloqa kanallarini qo'llash orqali tarmoq bo'ylab sinxrochastotalarni tarqatish tizimini tuzishni o'z ichiga oladi. Bu tizim har qanday TTS tizimining asosi hisoblanadi. SHuning uchun aynan BITS tizim tagi, zamonaviy raqamli tarmoqlarni loyihalashtirish, ekspluatatsiya qilish va takomillashtirishda o'ta muhim hisoblanadi. Transport tarmoqlari kabi o'zining shahsiy topologiyasiga ega bo'lgan ulanuvchi tarmoq topologiyasi, tarmoq topologiyasidan farq qiluvchi tuzilish bilan chambarchas bog'liq.

Aloqa tarmoqlarining rivojlanishi va rekonstruksiya UST ham takomillashishi lozim.

Uzal ichi sinxronizatsiya tizimi (UIST) - UST solishtirganda anchagina lokal ahamiyatga ega. U tarmoqning bitta uzeli chegarasida turli RUT (TE) apparaturalarining sinxronizatsiya tartibini aniqlaydi. UIST tarkibiga TTS ning maxsus generatorlari kabi TEG ham kiradi.

Asosan bu tizim, tarmoq uzalida joylashgan, RUT apparaturalari tarkibiga kiruvchi TEG larni birlashtirish uchun quriladi. U lokal holda yaratiladi va aniq bir aloqa uzaliga bog'lanadi. Aloqa tarmog'i rivojlanishida UIST ning takomillashishi faqat tarmoqning aniq uzalini takomillashishini talab qilishi mumkin. yoki bunda uning sinxrosignali parametrlarini o'zgartirishi mumkin.

Ikkala tizim tagi, yagona maxsus sinxrogenerator qo'llash asosida integrallashadi.

TTS tizimi tarkibiga ikkita qo'shimcha tizim tagi: tizim tagi nazorati va sinxronizatsiya tizimini boshqarish; bashoratlash va testlashtirish uchun mo'ljallangan sinxronizatsiya tizimini sifatini (QoS) boshqarish kiradi. Yuqori sifat parametrlarini va TTS tizimining ishonchliligini ta'minlash uchun, TMN ning umumiy

platformasida integrallashgan boshqaruv tizimi yaratiladi, bu tarmoq ma'muriga TTS tizimining holatini nazorat qilish va real vaqt rejimida uni yagona markazdan rekonfiguratsiyalash imkonini beradi.

TTS tizimini loyihalashtirish tajribasi shuni ko'rsatadiki, xattoki o'rtacha murakkab topologiyali (20-30 dan oshiq uzellar soniga ega bo'lgan) aloqa tarmoqlarida, sinxrosignal tarqaladigan kanallarni zaxiralashni nazarda tutgan holda sinxrosignallarning parametrlarini olib borishni aniq hisobi juda murakkab. Uni bajarishda zamonaviy avtomatik loyihalash tizimini qo'llamasdan amalga oshirish imkoni yo'q [112].

Qurish muamolari va TTS tizimlarining soz ishlash taxlili amalda o'lchov texnikasini birgalikda qo'llash va bunday tizimlarni zamonaviy loyihalashtirish usullariga bog'liq. Bunda TTS tizimi tarmoq sinxrosignallarining parametrlari va unga bo'lgan talablar haqidagi ma'lumotlar asosida yaratiladi va takomillashtiriladi. Bunday tizimlarni qurish va faoliyatini ishga solish bosqichma – bosqich amalga oshiriladi. Avvalo mavjud raqamli tarmoqqa ustma – ust qo'yilgan ayrim tizim tagi kabi TTS tizimi yaratiladi. Uning topologiyasi TTS ni qurishning umumiy prinsiplarida ishlab chiqiladi, sinxrosignal parametrlari esa baholangan hisoblanadi. Undan keyin tarmoqning asosiy nuqtalarida sinxrosignallarning parametrlari o'lchanadi va u asosida TTS tizimining ma'lum bir uchastkasini takomillashtirish haqidagi masala qabul qilinadi. Takomillashtirilgandan keyin TTS tizimining samaradorligi yangi tizimda sinxrosignallar parametrlarini o'lchash yo'li orqali tekshiriladi va xokazo. Natijada o'lchash majmuasi TTS tizimlarini qurishda va rivojlantirishda juda muhim bo'lib qoladi.

UST va UIST tuzilishi va ierarxiyasi, shuningdek TTS tizimi uchun sinxrosignallar manbalarining xarakteristikalar [112] da qarab chiqilgan.

TTS tizimining topologiyasi va ustunlik (prioritet) muamolari.

Raqamli tarmoqlarning sinxronizatsiya rejasini ishlab chiqish va qurishda tarmoqda TTS tizimlari qurilmalari ustunliklarni e'tiborga olib ulanishi barcha aloqa tarmoqlarining umumiy ustunliklari va tuzilishlaridan kelib chiqqan holda aniqlanadi. TTS tizimlariga RUT ning barcha apparaturalarini va kommutatsiyalash qurilmalarini ulashni bir tekis qo'llash mumkin, ya'ni

kommutatsiyalash qurilmalari va RUT apparaturalari orasida farq bo'lmaydi. Qurilma tarkibiga kiruvchi texnik ustunliklarni sinxrosignal generatorlari parametrlaridan kelib chiqqan holda aniqlash mumkin, masalan: agar ATS ning ichki generatori RUT generatoridan yuqori mo'tadilli bo'lsa, unda ATS, TTS tizimida ancha yuqori ustunlikga ega bo'lishi kerak.

Har qanday tarmoqning asosi birlamchi yoki transport tarmog'i bo'lganligi sababli, loyihalashtirishda va TTS tizimini tuzishda odatda ancha yuqori ustunlikga ega bo'lgan uzatish tizimini ulash qarab chiqiladi. Loyihalashtirishning xalqaro amaliyotidan kelib chiqqan holda TTS tizimi avval birlamchi tarmoqlar uchun ishlab chiqiladi, undan keyin birlamchi tarmoq uzeldan boshqa tarmoq apparaturalarining sinxronizatsiyasi ta'minlanadi.

TTS ning eng asosiy xususiyati, uning topologiyasini raqamli aloqa tarmoqlarining topologiyasidan farqga egaligidir. Aloqa tarmoqlarini rejalashtirishda va loyihalashtirishda traktlar va kanallarni zaxiralash uchun topologiyani ancha yuqori, to'liq holda bog'lanishiga erishishga intiladi. Shuning uchun zamonaviy raqamli aloqa tarmoqlarining topologiyasi, odatda berk graflar yig'indisi kabi tasniflanadi.

Sinxronizatsiya tizimining topologiyasi, raqamli tarmoqlarning topologiyasidan farqli, berk bo'lmagan graf ko'rinishida qurilishi lozim. TTS tizimida grafning har qanday tutashuvi sinxronizatsiya tizimida sinxrosignal berk yo'l bo'ylab o'tganda, "halqa"ni yuzaga kelishiga olib keladi, bu mumkin emas. Bunday "halqa"larni yo'qotish zamonaviy TTS tizimlarini topologiyalarini loyihalashtirishda asosiy qonundir.

Uzellar aro sinxronizatsiya tizimini loyihalashtirish tartibi, UST misolida TTS tizimini loyihalashtirish tartibini qarab chiqamiz [112] (10.8-rasm).



10.8-rasm. Uzellararo sinxronizatsiyalash tizimlarini loyihalash tarkibi

Loyihalash, tarmoqning har bir uchastkasi uchun TTS tizimiga bo'lgan talablarni taxlil qilish bilan boshlanadi. Bu talablar asosida TTS tizimlari uchun BEG va ICHBG lar tanlanadi. Parallel holda TTS tizimlarining umumiy topologiyasi aniqlanadi, ya'ni asosan sinxronizatsiya grafi tuziladi. Bu bosqichda TTS tizimi topologiyasining bir nechta variantlari (ko'p variantli loyihalash) ishlab chiqiladi. Undan keyin ishonchlilik talablaridan kelib chiqqan holda, TTS tizimining zaxiralash sathlari, yani qo'shimcha graflar soni yoki sinxronizatsiya graflari uchastkalari aniqlanadi. Loyihalash natijasi to'liq TTS tizimi hisoblanadi, undan keyin har bir uchastkada ishonchlilik va bir manbadan ikkinchi manbaga zaxira ulanish jarayonida "halqa"ni hosil bo'lish imkoniyatlari tekshiriladi, sinxrosignallarning parametrlari bo'yicha har tomonlama taxlil qilinadi.

Loyihalash jarayoni interatsion va ko'p parametrlil hisoblanadi.

Loyihalashtirilayotgan TTS tizimlarining sinxrosignal parametrlarini hisoblash natijalari tarmoqning har bir uchastkasi uchun boshlang'ich talablar bilan solishtiriladi, shu asosda tizimni yoyish va birlashtirish imkoniyatlari bo'yicha xulosa chiqariladi. TTS tizimlarini yoyish bilan birgalikda parallel holda, tarmoqning har bir uchastkasida uning zarur bo'lgan parametrlarini o'lchash amalga oshiriladi [112]. Bunday o'lchashlarning natijalari boshlang'ich talablar va TTS tizimlari parametrlari hisoblarining

natijalari bilan solishtiriladi. Ko'p parametrlil solishtirish jarayonining ketma - ket integratsiyalashdan keyin TTS tizimlarining talablari bo'yicha olingan natijalar ekspluatatsiyaga kiritiladi.

Raqamli tarmoqlarni takomillashtirish va rivojlantirishda, topologiya, sinxronizatsiyalash uchastkasi parametrlari va TTS tizimi o'zgaradi. Parametrlarga bo'lgan yangi talablarni nazarda tutgan holda yuqorida qarab chiqilgan barcha jarayonlar qayta takrorlanadi.

10.6. Tarmoqning taktli sinxronizatsiyasini boshqarish tizimi

Zamonaviy telekommunikatsiya tarmoqlarining tarkibiga kiruvchi tizim tagi, boshqaruv tizim tagi hisoblanib, sinxronizatsiya tarmoqlari elementlari holatining nazorati va real vaqt rejimida uning parametrlarini boshqarishni o'z ichiga oladi. Bu funksiya to'liq holda SDH texnologiyasini takomillashtirish bilan birga rivojlandi, chunki SDH liniya traktining sinxronizatsiya parametrlari haqidagi maxsus xizmat signallarini uzatishni ta'minlaydi.

Shunday qilib, TTS tarmoqlarini boshqarish tizimlari yordamida, real vaqt masshtabida bosh yoki regional boshqaruv markazlarida har qanday BEGdan yoki ICHBG dan sinxrosignal xarakteristikalarini uzatish, sinxrosignal sifatini baholash, ularning yomonlashishini oldindan bilish, TTS tizimlarini rejalashtirish va rekonfiguratsiyalash bo'yicha operativ masalalarni qabul qilishi mumkin.

Sinxronizatsiya tarmoqlarini boshqaruv tizimi, tarmoqni boshqarish sathi kabi (tarmoq sathi), sinxronizatsiya tizimining tarmoq elementlari sathida ham boshqaruv va nazorat sohasida ham quyidagi funksiyalarni bajarishi mumkin:

- sinxronizatsiya signallarini shakllanish sifatini boshqarish va uzatish;
- sinxronizatsiya tarmoqlarida nosozliklarni qayta ishlashni boshqarish;
- sinxronizatsiya tarmog'ining konfiguratsiyasini boshqarish;
- sinxronizatsiya tarmog'ining xavfsizligini boshqarish;
- hisobga olish va hisoblashni boshqarish.

Sinxronizatsiya signallarini shakllanish sifatini boshqarish va uzatish, taktli sinxronizatsiya signallarining sifatini domiy nazorat

qilish, bu sifatni ta'minlash bo'yicha ishlar olib borish va sifat ko'rsatkichlarining o'lash natijalarini olishni bildiradi.

Sinxronizatsiya tarmoqlarida nosozliklarni qayta ishlashni boshqarish. BEG/ICHBG larning holatlarini qayta ishlash va ma'lumotlarni yig'ishni, avariya va xodisalar haqidagi xabarlarini ishlab chiqishni ta'minlaydi. Operatorga etkazish maqsadida, masalani hal qilish uchun barcha to'liq axborotlar ustunlik (prioritet)lar tizimi va filtrlar orqali qayta ishlanadi.

Konfiguratsiyani boshqarish, foydalanuvchi interfeysi orqali har bir BEG/ICHBG ni konfiguratsiyalash parametrlarini masofadan va mahalliy boshqarishdan iborat.

Sinxronizatsiya tarmog'ining boshqaruv tizimlarida xavfsizlikni boshqarish deganda, parol yordamida sanksiyalanmagan ulanishdan himoyalash, shuningdek, ega bo'lgan sathiga bog'liq holda ayrim operatorlarning bajaradigan funksiyalarini chegaralash tushuniladi.

Sinxronizatsiya tizimini himoyalash usuli

Sinxronizatsiya tizimida avariya holati yuzaga kelganda ham (generator qurilmasi rad etganda va sinxronizatsiya zanjiri uzilganda) ishga qobiliyatligini yo'qotmasligi kerak. Buning uchun generator qurilmasi zaxiralanadi va har bir tarmoq elementiga sinxronizatsiyani uzatish eng kamida ikkita alternativ yo'nalish bo'yicha amalga oshadi. Bunda tarmoq elementini sinxrosignalni tanlashi, ulanuvchi manbalarda eng yaxshi sifatga ega bo'lgani, bir xil sifatli manbadan esa eng yuqori prioritetga ega bo'lgani tanlanadi.

Sinxronizatsiya tarmoqlarini loyihalashtirishda ushbu qoidalar hisobga olinadi. Bundan tashqari, tarmoqda rad etish yuzaga kelganda bir xil sifatli ikkita signalni va bir xil ustunlik (prioritet)ni (sinxronizatsiya tarmog'ida halqa) berish man etiladi. Nisbatan oddiy tarmoqlarda bu tartibni bajarilishi uncha murakkab emas va qabul qilingan echim sinchkovlik bilan tekshirishni talab qiladi. Ko'rinib turibdiki hozirgi paytda sinxronizatsiya tarmoqlarini loyihalashtirish usuli qayta ishlanmagan. Shuning uchun ko'pgina xollarda bitta tarmoq tuzilishi uchun turli sinxronizatsiya sxemasi taklif qilinishi mumkin. Yakuniy masalani xal qilish olingan sxemani barcha holatlarini taxlil qilgandan keyin amalga oshadi.

Endi liniyaviy va halqali transport tuzilishiga misollar qarab chiqamiz. Liniyaviy sinxronizatsiya tarmog'ini sinxronizatsiyasini qayta tiklash quyidagi 10.9 - rasmda ko'rsatilgan.

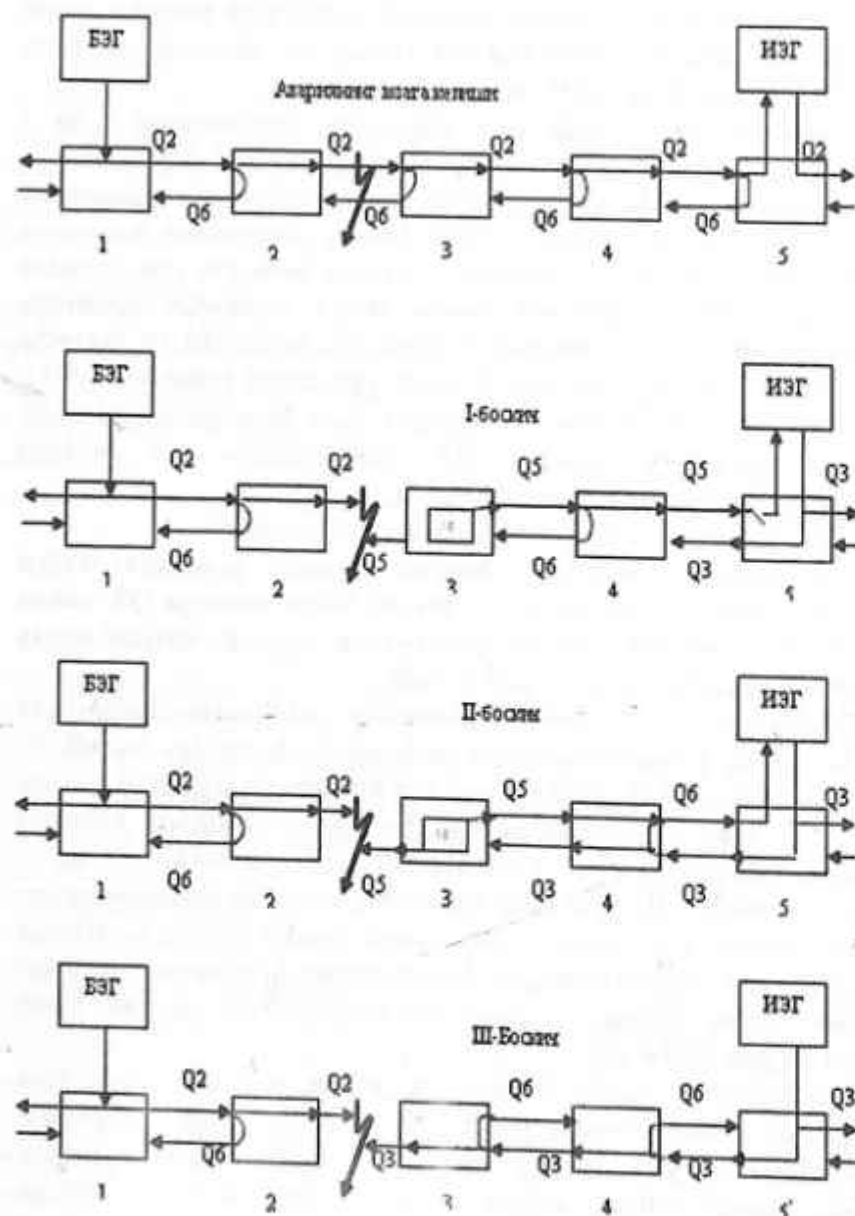
Faraz qilamiz rasmda ko'rsatilganidek uchastkaning 2 va 3 tugunlari orasida liniya uzildi. Vaqtning keyingi lahzasida 3-tugunning chastota beruvchi generatori sinxronizatsiya signallarini ololmaydi va kutish rejimiga o'tadi. Bunda 3-tugundan 4-tugunga beriladigan liniya oqimida mahalliy chastota beruvchi generatoridan Q5 signal sathi belgilanadi. Oldin liniya oqimidan ajratilgan signal dan sinxronizatsiyalangan, 4-tugundan tushuvchi va ikkinchi sifat sathiga (Q2) ega bo'lgan 5-tugun generatori (sifat sathi Q3), ikkilamchi chastota beruvchi generator kabi konfiguratsiyalanadi. Endi 5-tugunga 4-tugundan Q5 sifat sathiga ega bo'lgan signal beriladi va bu signal berish uziladi.

Endi halqali transport tuzilishini qarab chiqamiz.

5-tugunning ikkilamchi chastota beruvchi generatori liniya rejimiga o'tadi va 5-tugundan chiquvchi liniya oqimiga Q3 statusi beriladi. Yuqorida ko'rsatilgan operatsiyalar sinxronizatsiyani qayta tiklashni birinchi bosqichini tashkil etadi.

Sinxronizatsiyani qayta tiklashning ikkilamchi bosqichida (10.9.v- rasm) 4-tugunga sinxronizatsiyani ulash amalga oshadi. 3-tugundan tushuvchi Q5 sifat sathiga ega bo'lgan sinxrosignal o'rniga endi Q3 sifat ko'rsatkichiga ega bo'lgan 5-tugundan keluvchi oqimdagi sinxrosignal qo'llaniladi. Ko'rinib turibdiki, 3 va 5 tugunlar orasida bitta emas balki bir nechta mahalliy generatorga ega bo'lgan uzellar joylashgan bo'lsa, unda barcha ushbu uzellardan ketma-ket, eng yaqin ikkilamchi chastota beruvchi generator uzeldan boshlab, xuddi shunga o'xshab sinxrosignallarni qo'llab ulash amalga oshgan bo'lar edi.

Sinxronizmni qayta tiklashning oxirgi uchinchi bosqichida (10.9.g-rasm) kutish rejimida uchinchi sathdagi mahalliy generator chiqishidan Q3 sifat sathiga ega bo'lgan, 4-uzeldan tushuvchi oqimdan ajratib olingan signal sinxronizatsiyasiga o'tish amalga oshadi.



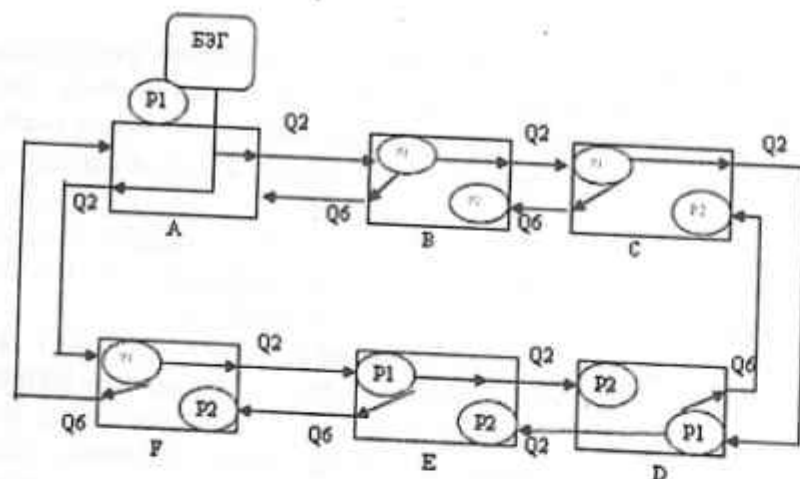
10.9- рasm. Синхронизaциянинг линийaвий схемaсигa бoсқичмa-бoсқич улaниши

Shunday qilib, liniya zanjiridagi sinxronizatsiyani qayta tiklash vaqti qancha katta bo'lsa, sinxrosignallarni uzelda ulanish vaqti shuncha katta. Sinxrosignallarni ulanishi amalga oshadigan uzellar soni qancha ko'p bo'lsa unda bunday ulanishlar ketma-ket amalga oshadi.

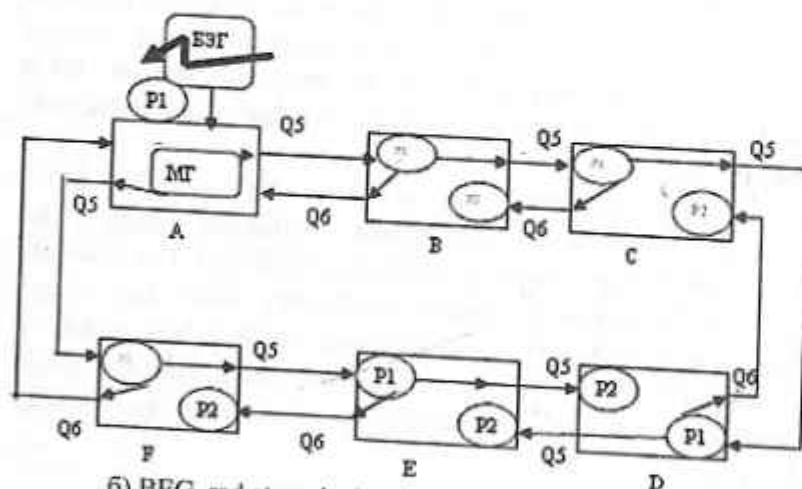
10.10.a – rasmda A-V-S-D va A-F-E yo'nalishi bo'yicha birlamchi etalon generatordan sinxronizatsiyalangan, A uzeldan tushuvchi sinxrosignalni uzatish sxemasi ko'rsatilgan.

Unda 4-uzel S uzeldan sinxrosignalni oladi, E uzel esa F dan oladi. Bunda sinxrosignal uzellaridan tushuvchi (birinchi va ikkinchi ustunlik (prioritet) larga mos keluvchi R1 va R2 indeksleri mos keluvchi ustunlik (prioritet)lar bilan ta'minlanadi. Birlamchi etalon generator yo'qolganda (10.10.b-rasm) A uzeldagi mahalliy generator kutish rejimiga o'tadi. Bu esa Q2 dan Q5 gacha ega bo'lgan uzellarning chiqishidagi oqimlarda sinxrosignalning sifat ko'rsatkichi mos holda kamayadi. Berilgan ushbu tarmoqda chastota beruvchi mahalliy generator sathidan (Q5) yuqori generator yo'q. Barcha tarmoq A uzeldan sinxronizatsiyalangan bo'yicha qoladi, lekin oldingi mahalliy chastota beruvchi generatordagi kabi birlamchi etalon generatordan emas.

Undan keyin bunday tarmoq bo'yicha uzatish sifati, sinxronizatsiya manbalarini almashishi natijasida juda kam o'zgaradi. Lekin bunday tarmoq, tashlab ketishlarni boshqarishni ta'minlovchi bufer qurilmasi orqali boshqalari bilan bog'langan bo'lsa, signal surilishlarining yuzaga kelishi zudlik bilan oshadi va $125 \cdot 10^{-6} / (1 \cdot 10^{-11} + 4,6 \cdot 10^{-6}) = 27$ s ni tashkil etadi. Bunday holda kutish rejimidagi mahalliy generatorming chastota nomotadilligi $4,6 \cdot 10^{-6}$ ga teng.



a) normal xolat



b) BEG rad etgandagi xolat

10.10- rasm. BEG rad etgandagi sinxronizatsiya tizimi

10.11-rasmda xuddi shu sinxronizatsiyani tarqalishiga ega bo'lgan, lekin A va B uzellari orasida liniya buzilgan holatdagi halqali transport tuzilish ko'rsatilgan. Sinxronizmni qayta tiklashning

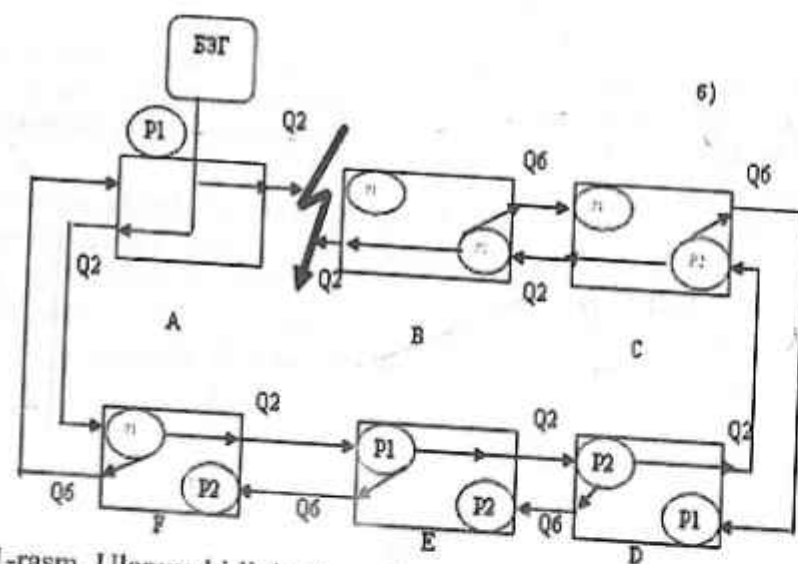
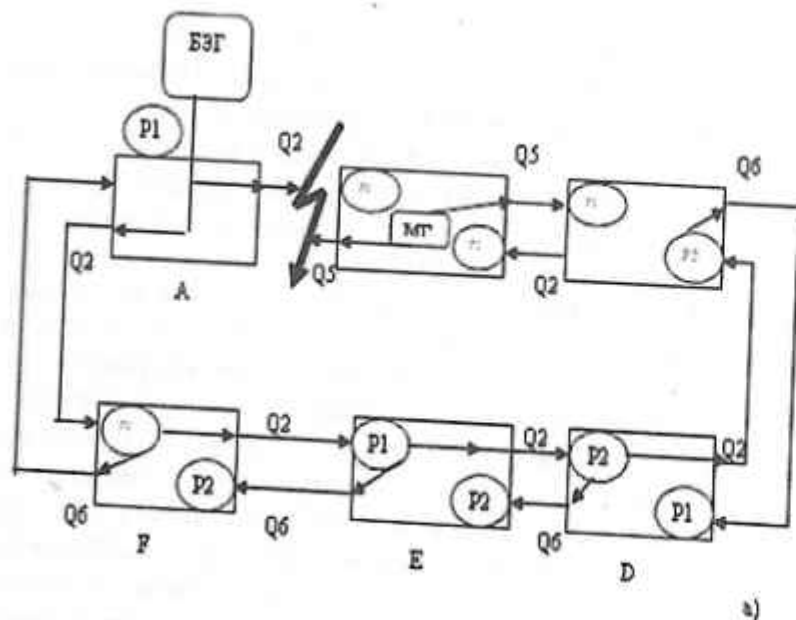
birinchi boqichida (10.11,a-rasm) V uzeldagi mahalliy generator kutish rejimiga o'tishi va S va D uzellaridagi Q5 sifat sathiga ega bo'lgan generatordan sinxrosignalni uzatish amalga oshadi.

Lekin D uzeligga Q2 sifat ko'rsatkichiga ega bo'lgan signal tushadi, uning mahalliy generatori sinxrosignalni ulanish qoidasiga mos holda yuqori sifatli signal bo'yicha sinxronizatsiyalanadi va S uzeligga, keyinchalik V uzeligga Q2 sifatiga, sinxrosignalga ega bo'lgan oqim bilan uzatiladi. Sinxronizatsiyani qayta tiklashning ikkinchi yakunlovchi bosqichida (10.11,b-rasm), V uzelinin mahalliy generatori kutish rejimidan chiqadi va S uzelidan tushuvchi, Q2 sifat ko'rsatkichiga ega bo'lgan signaldan sinxronizatsiyalanadi.

Shuni aytish mumkinki, sinxronizatsiya tarmoqlarini tuzishning aniq bir usuli mavjud emas. Shuning uchun ham har bir konkret holatda taklif qilinadigan sinxronizatsiya tarmoqlarini aniq va to'liq taxlil qilish zarur. Buning uchun tanlangan qurilmalarda sinxrosignalni ulanish xususiyatlarini hisobga olish lozim. Masalan, qurilmalarning ayrim turlarida reversiv va reversiv bo'lmagan ulanish usullaridan foydalaniladi.

Shulardan birinchisi yuqori sathli sinxrosignal manbalariga avtomatik qaytish amalga oshadi, shundan keyin uning ishi qayta tiklanadi. Bunda oldindan qayta tiklanish vaqtining kutish intervalini belgilash lozim.

Reversiv bo'lmagan ulanish usulida avariya holatida avtomatik ulanish xolatiga asoslangan. Bunda yuqori sifatli sinxronizatsiya manbasiga ulanish qo'lda amalga oshadi. Bunday usullar, bir xil sifatga va bir xil prioritetga ega bo'lgan holatlar yuzaga kelganda, nazorat qilish mumkin bo'lmagan hollarda amalga oshiriladi.



10.11-rasm. Ulanuvchi liniyalar rad etgandagi sinxronizatsiya tizimi
a) qayta tiklanishning boshlanishi b) qayta tiklanish xolati

Nazorat savollari

1. Sinxron raqamli tarmoqlarda sinxronizatsiya qanday ahamiyatga ega?
2. SDH sinxronizatsiya tarmog'ining arxitekturasining tuzilishini chizing va tushuntiring.
3. Sinxrosignal manbalarining qanday parametrlarini bilasiz?
4. Sinxrosignal tizimining qanday asosiy parametrlarini bilasiz?
5. Sinxronizatsiya parametrlari nima sababli buziladi?
6. TOATda sinxronizatsiya tizimi qanday tuzilgan?

OPTIK ALOQA TIZIMLARI VA TARMOQLARINING AXBOROT XAVFSIZLIGI

11.1. Umumiy qoidalar. Atamalar va ta'riflar

Aloqa tarmog'i, xizmatlardan foydalanuvchilarning ehtiyojlarini qanoatlantirib, global xarakterga ega bo'ladi, iqtisodiyotning barcha sektorlarida ularni jahon miqyosida birlashtirib, unumdorligini o'sishiga yordam beradi. Telekommunikatsiya infratuzulmasining yuqori samaradorligi bir qator standartlar, o'lchovlarning mavjudligiga asoslangan bo'lib, ularning xavfsiz ishlashini ta'minlashga qaratilgan. Biroq standartlar tarmoqning ehtiyojlariga javob bersa ham, ochiq interfeyslar va protokollar qo'llanilishining ortib borayotgan miqyoslari, ilovalar va platformalarning juda ham xilma-xilligi, shuningdek xar doim ham kerakli sinovdan o'tmagan mahsulotlarning xilma-xilligi aloqa vositalari va tarmoqlaridan yomon niyatda foydalanish ehtimollini oshiradi. Keyingi yillarda barcha global aloqa tarmoqlarida xavfsizlikning buzilish hollari (viruslar va saqlanayotgan ma'lumotlarning sir tutilishi kabi) keskin oshib borayotgani kuzatilmoqda. Shuning uchun uzatilayotgan axborotga xavf etkazmasdan turib, ochiq aloqa infratuzilmasini qanday qilib qullab-quvvatlash to'g'risidagi masala muhim bo'lib bormoqda. Aloqa infratuzilmasining barcha elementlarida – aloqa liniyasi, uzatish va kommutatsiya tizimlari, protokollar va ilovalarni detallashtirish, OKS №7 signalizatsiyasidan tortib to tarmoqlarni boshqarish jarayonigacha xavfsizlikka tahdidlar bilan kurashishga yo'naltirilgan, ishlab chiqilgan, ishlab chiqilayotgan standartlar, o'lchovlar va tadbirlar bu savolga to'liq javob beradi. Shunday qilib, xavfsizlikni ta'minlash, yaxshi o'ylab qilingan jarayon singari, boshidan boshlab hal etilishi kerak: tizimni rejalashtirishdan va loyihalashdan, uni amalga oshirishdan tortib, to bu tizimni ishga tushirish, foydalanish va qo'llanishgacha.

XEI-T X.805 tavsiyalarida [122], tarmoq ilovalarida uchlararo xavfsizlik muammosini hal qilish uchun ishlab chiqilgan arxitektura

elementlari va xavfsizlikning sakkizta parametrlarining sharhi – mahfiylik, ma'lumotlarning yashirinligi, autentifikatsiya, yaxlitlik, mualliflikni qayd etish, kirishni boshqarish, aloqaning xavfsizligi va tayyorlik keltirilgan. Xavfsizlik qatlamlari, xavfsizlik tikisliklari va har qanday qatlamning xar qanday tekislik bilan kombinatsiyasida qo'llaniladigan parametrlar asosiy elementlar hisoblanadi.

Xavfsizlik qatlamlari bevosita tarmoqni tashkil etuvchi tarmoq elementlari va tizimlariga nisbatan qo'llaniladigan talablarni bajarish bilan bog'liq. Talablarni qatlamlar bo'yicha taqsimlashda xar bir qatlamning xavfsizligini ta'minlash hisobiga uchlararo xavfsizlikka erishish maqsadida ierarxik yondashuv qo'llaniladi. Uchta qatlam quyidagilardir: infratuzilma qatlami, xizmatlar qatlami va ilovalar qatlami. Har bir qatlamning zaiflik darajasi turlicha va binobarin, qarshi ta'sir choralari har bir qatlam bajaradigan masalalardan kelib chiqqani holda aniqlanishi kerak. Infratuzilma qatlami, uzatishning tarmoq vositalarini, shuningdek tarmoqning alohida elementlarini tashkil etadi. Elementlar infratuzilmasi qatlamiga tegishli misollar tariqasida tolali optik aloqa liniyalari, uzatish tizimlari, marshrutizatorlar, kommunikatsion tizimlar va serverlar, shuningdek aloqa kanallari xizmat qilishi mumkin. Xizmatlar qatlami, tarmoq xizmatlari iste'molchilariga tavsiya etiladigan xavfsizlikni belgilaydi. Ular keng diapazonni tashkil etadi-bazaviy ulanish xizmatlaridan tortib (ajratilgan liniyalar xizmatlari kabi), to qo'shimcha servergacha, masalan, axborotni bir onda almashtirish. Ilovalar qatlami iste'molchilar foydalanadigan tarmoq ilovalariga qo'yilgan talablarning bajarilishini ta'minlaydi. Ilovalar elektron pochta kabi sodda, yoki guruhviy vizuallashtirish kabi murakkab bo'lishi mumkin, unda neftni izlash ishlarini olib borish yoki avtomobillarni loyihalash uchun video axborotni o'ta yuqori unumli uzatkichlardan foydalaniladi va h. k.

Tuzilmaning ikkinchi tashkil etuvchisi, tarmoq muhitida amalga oshiriladigan faoliyatning xavfsizlikning uchta tekisligi aniqlanadi, ular tarmoq muhitida bo'lishi mumkin bo'lgan, himoyalangan faoliyatning uch turini aks ettiradi. Quyidagilar xavfsizlik tekisliklari bo'ladi:

- ma'muriy boshqaruv tekisligi;
- tezkor boshqaruv tekisligi;
- chetki foydalanuvchi tekisligi.

Ma'muriy boshqaruv tekisligi foydalanish, ma'murlashtirish, texnik xizmat ko'rsatish va foydalanuvchini yoki tarmoqni ta'minlash va h.k. bilan bog'liq.



11.1 – rasm. XEI-T X.805 Tavsiyalariga muvofiq, xavfsizlik arxitekturasini elementlari

Tezkor boshqaruv tekisligi tarmoqda foydalaniladigan texnologiya va uzatish muhitiga bog'liq bo'lmagan holda tarmoq bo'yicha uchlararo aloqani sozlash (modifikatsiyalash) uchun signalizatsiya masalalari bilan bog'liq.

Chetki foydalanuvchi tekisligi kirish va tarmoqdan iste'molchilar foydalanilishi xavfsizligini ta'minlaydi. Bu tekislik shuningdek chetki foydalanuvchining ma'lumotlari oqimlarini himoyalash uchun ham xizmat qiladi.

11.1-rasmda xavfsizlik arxitekturasining tekisliklari va parametrlari ko'rsatilgan.

Xavfsizlik parametrlarini ko'rib chiqamiz.

Yashirinlik tushunchasi xavfsizlikni ta'minlashning asosiy sababli omili hisoblanadi. Yashirinlik deganda odatda xususiy shaxsning unga tegishli bo'lgan axborotdan qaysinisi to'planishi va saqlab qo'yilishi mumkin bo'lganiga xuquqi, shuningdek bu axborotning mazmunini kim tomonidan va kimga ochilishi mumkinligi tushuniladi. Keng ma'noda yashirinlik, shuningdek ma'lum bir texnik vositalar (masalan, kriptografiya kabi) bilan

bog'lanib, ular bu axborotni ochish uchun ruxsat etilmagan shaxslar tomonidan ochishning mumkin emasligini ta'minlab, u ochish uchun aniq ruxsati bo'lganlarga kirishi mumkinligini ko'rsatadi.

XEI-T X.805 tavsiyalarida yashirinlik deganda foydalanuvchilarning identifikatsion axborotining assotsiatsiyasini va ular bajaradigan amallarni himoya qilish tushuniladi (onlayn rejimida xaridlar qilishni amalga oshirishning qabul qilingan tartibi, internetning kiriladigan saytlari va h.k.). Mahfiylik deganda ma'lumotlar mazmuniga ruxsat etilmagan holda kirishdan himoya qilish tushuniladi. Ma'lumotlarning mahfiyligini ta'minlash uchun, odatda, shifrlash uslublaridan, kirishni boshqarish va faylga kirish xuquqidan foydalaniladi.

Autentifikatsiya deb, mazkur ob'ektning taqdim etilgan identifikatsion axboroti aniq ekanining isbotini ta'minlashga aytiladi. Ob'ekt deganda-foydalanuvchilar, qurilmalar, xizmatlari va ilovalar tushuniladi. Autentifikatsiyaning ikki turi mavjud: ma'lumotlar manbai autentifikatsiyasi (ya'ni assotsiatsiyada aloqa o'rnatish bilan so'ralgan autentifikatsiya) va teng kuchli ob'ektning autentifikatsiyasi (ya'ni aloqa o'rnatmasdan assotsiatsiyada autentifikatsiya).

Autentifikatsiya odatda identifikatsiyadan keyin keladi. Identifikatsiyalash autentifikatsiyalash va avtorizatsiyalash uchun foydalaniladigan axborotni himoya qilishni aloqa tarmog'i amalga oshirish kerak.

Ma'lumotlarning butunligi-bu ruxsat etilmagan yo'llar bilan ma'lumotlarning o'zgartirilmaganligi ko'rsatkichidir. Yanada keng ma'noda ma'lumotlarning butunligi shuningdek, axborot o'zgartirish, olib tashlash, yaratish, takrorlash uchun ruxsat etilmagan xarakterlarni kafolatlaydi, shuningdek, bunday ruxsat etilmagan xarakterlarni amalga oshirishga urinishlarni indikatsiyalashni ta'minlaydi.

Mualliflikni qayd etish – bu foydalanuvchining o'zi bajargan xarakterlarni tan olishdan voz kechishining oldini olish qobiliyatidir. Quydagilar ana shunday xarakterlar hisoblanadi: kontentni yaratish, uzatish, qabul qilish va etkazib berish, masalan, xabarlarini jo'natish, chaqirishlarni o'rnatish yoki qabul qilish; audio va video konferensiyalarda ishtiroq etish va h.k.

Mualliflikni qayd etishni ta'minlashga talablar jo'natuvchining adresat tomonidan xabarni olganligini qonuniy xabar qilishdan yoki

inkor qilishdan voz kechishga yo'l qo'ymaslik uchun ma'lumotlarni jo'natish va/yoki qabul qilinganligi xolatining shak-shubhasiz isbotining taqdim etilishini nazarda tutadi. Aloqa tarmog'i bitta yoki ikkita quyidagi rejimni ta'minlashi mumkin: yoki ma'lumotlarni qabul qilish ma'lumotlar manbaini tekshirish bilan amalga oshiriladi, bu jo'natuvchining ma'lumotlar uzatishidan yoki ularning kontentidan nokonuniy voz kechishiga xar qanday urinishlaridan himoya qiladi, yoki jo'natuvchi ma'lumotlar etkazib berilganini tasdiqlovchi vositalarga ega bo'ladi, xullas oluvchi oqibatda ma'lumotlarni yoki kontentlarni qabul qilib olganligi xolatini inkor qila olmaydi.

Xavfsizlik parametri kirishni boshqarish tarmoq resuslarini ruxsat etilmagan foydalanish uchun xizmat qiladi.

Xavfsizlik parametri aloqa XEI-T X.805 tavsiyalarida aniqlangan yangi parametr bo'lib, u mediaoqimlarni faqat tegishli vakolotlarga ega bo'lgan chetki nuktalar orasida uzatishni ta'minlash uchun xizmat qiladi.

Bu paramatr trafikni qayta adreslashdan va olib qo'yishdan himoyalashga yo'naltirilgan, aloqa tarmog'ida trafik oqimlarini boshqarish choralari kiradi.

Xavfsizlik parametri tayyorlik tarmoqlardagi tanaffuslar oqibatida tarmoq elementlariga, saqlanayotgan axborotga, mediaoqimlariga, xizmatlarga va ilovalarga ruxsat etilgan kirishdan voz kechishning bo'lmasligini ta'minlash uchun foydalaniladi. Bu toifaga aloqa tarmog'ini dastlabki holatiga qaytarish va avariya dan keyin tiklash bo'yicha choralar kiradi.

Zaiflik, tahdidlar va tavakkallar (risklar).

Ko'pchilik telekommunikatsiya operatorlari hujum qilishga urinishlarning yo'qligi taxdidning yo'qligini anglatadi degan xato fikrga ega.

Xavfsizlikning zaifligi muammosini standartlashtirilgan protokollar darajasida hal etish mumkin.

Xavfsizlikning zaifligi bu loyihani amalga oshirishning yoki telekommunikatsiya vositalari va tarmoqlaridan foydalanishning ishlanmaganligi yoki kamchiliklari bo'lib, ular umuman telekommunikatsiya tizimi xavfsizligining buzilishiga olib kelishi mumkin. Xavfsizlikning zaifligi tavakkal, taxdid yoki xujum bo'lmaydi.

Zaiflik to'rt turga bo'linadi. Bo'lajak taxdidlarni oldindan bilishning murakkabligi bilan bog'liq taxdid modelining zaifligi (masalan, OKSN⁷ signalizatsiya tizimi). Protokolni mohiyati jixatidan zaif qiladigan protokolni ishlab chiqishda xatoliklar, yangilashlar oqibati bo'lgan loyihaning va spetsifikatsiyaning zaifligi. Amalga oshirishdan zaiflik protokolni amalga oshirishda xatoliklar bilan kiritiladigan zaiflikni ifodalaydi. Foydalanishdagi zaiflik opsiyalardan tegishli foydalanmaslik yoki joriy etishning samarasiz siyosati natijasida vujudga keladi (masalan, aloqa tarmog'i ma'muri tamonidan nobarqaror oqimli shifri tanlash).

XEI-T X.800 Tavsiyasiga muvofiq xavfsizlikning imkoniyati buzilishi, u aktiv (tizimning xolati o'zgarishi mumkin bo'lganda) va passiv (tizim xolatini o'zgartirmasdan turib axbotot mazmunini ruxsat etilmagan holda ochish) bo'lishi mumkin. Aktiv tahdidlarga misol tariqasida vakolatli ob'ekt tarzida noqonuniy kirib olish yoki xizmat ko'rsatishdan voz kechish, passiv tahdidga misol tariqasida shifrlanmagan parolni ushlab olish maqsadida yashirincha quloq solishni keltirish mumkin. Tahdidlar xakkerlar, bosqinchilar, vaxshiylar, uyushgan jinoyatchilar guruhi tomonidan amalga oshirilishi mumkin, lekin ko'pgina xollarda tahdidlarning manbai muassasaning o'zida bo'ladi.

Xavfsizlikni buzish xavfi xavfsizlikning zaifligini va xavfsizlik tahdidlarini birgalikda qo'shish natijasida vujudga keladi. Masalan, operatsion tizimdagi ilovada toshib ketish nuqsoni (ya'ni tahdid) mavjudligi birgalikda Web-serverga xujum xavfining vujudga kelishiga olib kelishi mumkin. Xavfsizlikni buzish xavfining oqibatlari ma'lumotlarni yo'qotish, ma'lumotlarning buzilishi, maxfiylikning yo'qolishi, aldash, to'xtab qolish va foydalanuvchilar hamjamiyati ishonchining yo'qolishi bo'ladi.

Taxdidlar vaqt o'tishi bilan o'zgarishi mumkin, xavfsizlikning zaiflashuvi protokoldan foydalanishning butun muddati davomida mavjud. Protokollarga bog'liq xavfsizlikni buzish xavflari juda muhim va miqyosiga ko'ra global bo'lishi mumkin. Shuning uchun protokollarning zaifligini tushinish va aniqlash muhimdir.

11.2. Xavfsizlik tizimining tuzilishiga talablar

Tarmoq xavfsizligining umumiy tuzilishiga talablar turli xil omillar yig'indisiga bog'liq:

1. Iste'molchi/abonentlarga taklif etilayotgan tarmoqlar va aloqa xizmatlariga ishonch xissini sizishlari zarur, bunga yirik falokatlar (terroristik tahdidlar) sharoitida xizmatlarning (ayniqsa tezkor xizmat ko'rsatishning) tayyorligi.

2. Davlat boshqaruv va tartibga soluv organlari xavfsizlikka talablar qo'yib, buyruqlar chiqarishadi va qonunchilikdan foydalanishadi, bu bilan xizmatlarning tayyorligi, oqilona raqobat va xususiy hayotni himoya qilish ta'minlanadi.

3. Aloqa tarmoqlari operatorlari va xizmatlarni etkazib beruvchilar o'zlari ekspluatatsion (foydalanish) va tijoriy manfaatlarini himoya qilish va iste'molchilar xamda aholi oldidagi o'z majburiyatlarini bajarishlari uchun xavfsizlikni ta'minlashga muxtojlik sezadilar.

Telekommunikatsiya tarmoqlari va aloqa xizmatlari xavfsizligiga talablar asosan xalqaro darajada kelishilgan xavfsizlik standartlariga asoslanishlari kerak, chunki bu funksional moslashuvchanlik darajasini oshiradi, shuningdek turli mamlakatlar xarakterlarining takrorlanishi oldini olishga imkon beradi. Xavfsizlikni ta'minlovchi xizmatlar va mexanizmlarni taqdim etish va foydalanish himoyalangan tranzaksiyalar qiymatiga nisbatan qimmat bo'lishi mumkin. Xavfsizlikni ta'minlash choralarining qiymati bilan xavfsizlikni buzishning kelib chiqishi mumkin bo'lgan moliyaviy oqibatlarining nisbatini tahlil qilish zarur. SHunday qilib himoyalani kerak bo'lgan xizmatlarga muvofiq xavfsizlik parametrlarini aniqlash imkoniyati muhim omil hisoblanadi. Xavfsizlikni ta'minlash vazifalarining bo'lishi mumkin bo'ladigan qo'shilishlari soni katta bo'lishini hisobga olib, aloqa tarmoqlari xizmatlarining keng diapazonini qamrab oluvchi xavfsizlik yo'nalishlariga ega bo'lish maqsadga muvofiqdir.

Telekommunikatsiya tarmoqlarida yoki xizmatlarni etkazib beruvchilar tomonidan foydalaniladigan xavfsizlikni ta'minlash uslublari va mexanizmlari xizmat ko'rsatishdan bosh tortish, yashirincha eshitib turish, ulanishni imitatsiya qilish, ma'lumotlarni buzish (o'zgartirish, tutib qolish, yo'qotish, qo'yish, tutib qolingani

xabarni qayta uzatish, qayta marshrutlashtirish, noto'g'ri marshrutlash yoki xabarlarni ketma ketligi tartibini o'zgartirish), mualliflikdan voz kechish yoki soxtalashtirish kabi aniq xujumlardan himoyalani vositalariga kiradi. Himoyalani shga ogohlantirish, xujumdan so'ng to'plash va tiklash, tabiiy xodisalar (ob-xavo sharoitlari va x.k) oqibatida xizmat ko'rsatishdagi uzilishlarning oldini olish bo'yicha chora tadbirlar, shuningdek axborotning xavfsizligi bilan bog'liq boshqarish kiradi. Vakolatli organlar tomonidan talab bo'yicha ruxsat etilgan tutib qolishga imkon beruvchi sharoitlar belgilab qo'yilishi kerak.

11.3. Aloqa tarmog'i xavfsizligi

Xavfsizlik tuzilmasiga talablarda belgilab o'tilganidek, boshqarish trafigini himoya qilish zaruriy shart bo'lib, u telekommunikatsiya tarmog'i monitoringi va uni boshqarish uchun foydalaniladi. Odatda boshqarish trafigi toifasi rad etishlar, konfiguratsiyalar, sifat, faoliyat ko'rsatish hisob kitoblar va xavfsizlikni, ishlov berishni boshqarish vazifalarini bajarish uchun zarur axborotni o'tkazishda belgilanadi. Xavfsizlikni boshqarishning ta'sir sohasi, axborot xavfsizligini boshqarish kabi xavfsizlik arxitekturasini tashkil etuvchi uchta tekislik va xavfsizlikning uchta qatlami bilan bog'langan.

Aloqa tarmog'ida boshqarish trafigi an'anaviy ravishda ma'lum bir tarmoq orqali uzatilib, u boshqarish trafigini tarmoq tomonidan faqat ko'chirish uchun mo'ljallangan va u bo'yicha foydalanuvchi trafik uzatilmaydi.

Bunday tarmoq - telekommunikatsiyalarni boshqarish tarmog'i (TMN) deyiladi, u XEI-T M.3010 Tavsiyalarida tavsiflangan. TMN umumiy foydalanishdagi tarmoq infratuzilmasidan alohida va izolyasiya qilingandir, shuning uchun umumiy foydalanishdagi tarmoqda chetki foydalanuvchi tekisligida xavfsizlikka taxdid oqibatida vujudga keladigan biror xil aloqa uzilishlari TMN ga aloqador bo'lmaydi. Bunday bo'linish (taqsimlanish) tufayli boshqarish tarmog'i trafigini himoya qilishni ta'minlash nisbatan oddiy, chunki bu tekislikka kirish tarmoq ma'murining vakolatlari bilan cheklangan, trafik esa ruxsat etilgan boshqarish jarayonlari bilan cheklangan. Keyingi avlod tarmoqlari (NGN) ning kiritilishi

bilan chetki foydalanuvchilar ilovalarining trafigi ba'zan boshqarish trafigi bilan almashishi mumkin. Bunday yondashish faqat yagona integratsiyalangan (qo'shilgan) tarmoq infratuzilmasini yaratish zarurligi hisobiga xarakatlarni minimallashtirishiga qaramay, u xavfsizlikni ta'minlash bilan bog'liq juda ko'p yangi muammolarni keltirib chiqaradi. Chetki foydalanuvchi tekisligidagi tahdidlar bunday yondashishda ma'muriy va tezkor boshqarish tekisliklari uchun tahdidlar bo'lib qoldi. Ma'muriy boshqarish tekisligi juda ko'p sonidagi chetki foydalanuvchilar uchun qulay bo'lib qoladi, juda ko'p xilma xil yomon niyatli xarakatlarni amalga oshirish imkoniyati vujudga keladi.

To'liq bevosita tuzilmani ta'minlash uchun barcha xavfsizlik choralari (masalan, kirishni boshqarish, autentifikatsiya) tarmoqda amalga oshirilayotgan jarayonlarning har bir turi uchun (ya'ni ma'muriy boshqaruv tekisligidagi, tezkor boshqarish tekisligidagi, chetki foydalanuvchi tekisligidagi jarayonlar) tarmoq infratuzilmasiga, tarmoq xizmatlari va tarmoq ilovalariga nisbatan qo'llanilishi kerak.

Boshqarish turiga, shuningdek muxit bilan bog'liq yana bir muammo toalluqli bo'lib, unda geografik chegaralarni kesib o'tuvchi abonentlar uchun yoki favqulodda hodisalarning oqibatlarini bartaraf etish sharoitida reglamentlar yoki davlat muassaslari uchun ajratilgan liniyalar kabi abonentlararo turdagi xizmatlarni taqdim etish maqsadida turli xil xizmatlarni etkazib beruvchilar o'zaro aloqa qilishlari kerak.

11.4. Xavfsizlikni boshqarishning umumiy xizmatlari

Xalqaro elektr aloqa ittifoqi umumiy boshqaruvchi axborotni uzatish protokoli interfeysida foydalanishda ma'muriy boshqarish tekisligining ko'rib chiqilgan uchta yacheykasi uchun qo'llaniladigan umumiy xizmatlar tavsiflarini o'z ichiga olgan quyidagi - XEI-T X.736, X.740 va X.741 Tavsiyalarini chiqardi. X.736 Tavsiyalarida shuningdek xavfsizlikning tabiiy (fizik) buzilishi, shu turdagi hodisalar natijasida keladigan avariya signallari, boshqarish tizimlariga uzatiladigan axborot belgilangan. Bu ma'muriy boshqarish jarayoni bo'lib, u agar vakolatga ega bo'lgan foydalanuvchi tarmoq elementlarida initsiallashtirish vazifalariga

kirishga ruxsat olgan holda yoki pochta qutilariga kirishga ro'yxatdan o'tkazish xolida xavfsizlikning buzilishi to'g'risida xabar berish uchun foydalanilishi mumkin. XEI-T X.740 Tavsiyalarida belgilangan taftish vazifasi xavfsizlikni buzish hollarining qayd etilishini anglatadi va barcha uch darajada qo'llanilishi mumkin. XEI-T X.741 Tavsiyalarda maqsadli ob'ektga bog'liq bo'lmagan boshqaruvchi jarayonlarga kirishni boshqarish vakolotlarini taqsimlashning juda umumlashtirilgan to'liq modeli keltirilgan. Model maqsadli ob'ektlar atributlari mayda tuzilmaviy birliklari darajasida vakolotlarni taqsimlash imkoniyatlari hisobiga juda ko'p vazifalarga ega.

11.5. Tolali optik uzatish liniyalarining zaiifligi

Zamonaviy aloqa tizimlari va tarmoqlariga qo'yiladigan muhim talablardan biri axborotni uzatishning yashirinligi va mahfiyligini ta'minlash hisoblanadi. Zamonaviy telekommunikatsiya tizimlariga qo'yiladigan yuqori talablar (axborotni uzatish yuqori tezlikda bo'lishi, ishonchlilik, ruxsat etilmagan kirishdan himoyalanganlik), tolali optik aloqa liniyalarining (TOAL) shubhasiz afzalligini anglashga olib keldi.

Mahfiy axborotni uzatish uchun mo'ljallangan TOAL da axborotni himoya qilishning barcha mumkin bo'lgan vositalari va usullaridan foydalangan holda ishonchli, himoyalangan infratuzilma shakllangan bo'lishi kerak. Tarmoq ob'ektlari va aloqa liniyalarining axborot xavfsizligi quyidagilarni o'z ichiga oladi:

- qoida buzarning tasodifiy ta'sirlaridan himoyalanganlik;
- qoida buzarning (buzg'unchining) atayin ta'sirlaridan himoyalanganlik;
- havfsizlik tahdidlaridan himoyalanganlik.

Telekommunikatsiya tarmog'i ob'ektlarida ssirkulyasiyalanuvchi ma'lumotlar (xabarlar) va tarmoqni boshqarish axborotlari himoyalaniishi kerak.

TOAL biror boshqa aloqa liniyalaridan ko'ra axborotni ruxsat etilmagan kirishdan ancha yuqori darajada himoyalangan bo'lib, bu optik tolada elektromagnit to'lqin tarqalishining fizik prinsiplari bilan bog'liq. Optik tolada elektromagnit nurlanish optik tolaga tashqi

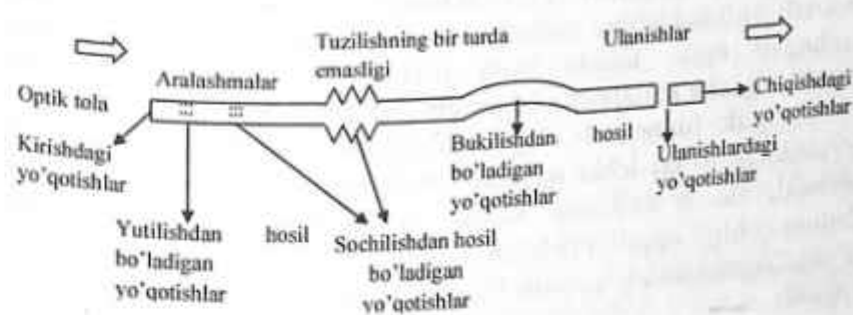
ta'sir bo'lmaganda tola chegarasidan tashqariga to'lqin uzunligidan optik bo'lmagan masofaga chiqadi.

Tolali optik uzatish liniyasi (TOUL) tushunchasi to'plovchi hisoblanadi. U o'z ichiga tolali optik kabellarni, qabul qilgichlarini, optik signallar uzatkichini, regeneratlarni va boshqa qurilmalarni oladi. Komponentlardan har biri u orqali ruxsat etilmagan ta'sirni o'tkazish manbai bo'lishi mumkin. TOUL bo'yicha uzatiladigan optik signal to'liq ichki qaytish qonuniga muvofiq tarqaladi, shuning uchun TOUL yuqori darajada himoyalanganlikka ega. Shu bilan birga optik tola (OT) butun bir qator sabablarga ko'ra vujudga kelgan so'nishga ega: frenel akslanishi, xususiy yutilish, OH ionlarda yutilish, mikro- va makro- egilishlarda nurlanish va boshq. (11.2 - rasm).

Bu hollarni o'z maqsadlarida foydalanib, yomon niyatli odam uzatilayotgan axborotga ruxsat etilmagan ta'sirlarning turli xil ko'rinishlarini amalga oshirishi mumkin.

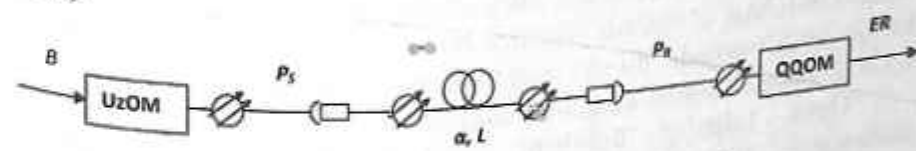
Makroegilish hisobiga yo'naltiriluvchi modalarning oqib chiquvchiga almashtirilishiga erishish mumkin, bu optik tola quvvati qismining qobiq chegarasidan tashqariga chiqishga olib keladi. Shu bilan jinoyatchi signalga ruxsat etilmagan kirishga ega bo'ladi. Bunday tashqari, OT larning o'zaro yoki optik tarmoqlanish bilan tutashish joyida oqib chiquvchi modalardan foydalanish xavfi bor. Bu TOAL uchun quvvatning shunday tanlanishi modalarning "tabiiy" oqib chiqishi natijasida sezilmasligiga asoslangan. Mikroegilishni yaratish uchun OT qobig'iga fotodetektirlovchi elementlarning joriy qilinishi yoki OT ga mexanik va termik usullarning ta'siridan foydalanish OT dan quvvatning bir qismi tarmoqlanishiga olib keladi.

Optik tolada elektromagnit energiyaning tarqalishi xususiyatlariga ko'ra TOAL yuqori darajada yashirinchilikka ega. Buning sababi shundaki, axborot tashuvchi bo'lib hisoblangan optik nurlanish OT da to'liq ichki qaytishi qonuniga muvofiq tarqaladi, OT dan tashqarida esa elektromagnit nurlanish eksponensial ravishda pasayadi. Elektromagnit nurlanishning oqib chiqishi va axborotning ruxsat etilmagan olinadigan qismlari nisbatan kam sonli, "klassik" radiotexnik usullari bilan (qabul qiluvchi apparatura, regeneratsion punktlar) o'rganilgan loqallashtirilgan. Shu sababga ko'ra bu qismlar nazorat ostiga nisbatan osongina olinishi mumkin.



11.2 - rasm. Optik tolada nurlanish va sochilish sabablari

TOUL ni va uning asosiy parametrlarini ko'rib chiqamiz (11.3 - rasm).



11.3 - rasm TOUL ning tuzilmaviy sxemasi

TOUL tarkibiga quyidagilar kiradi: chiqish quvvati P_s bo'lgan optik quvvat uzatkichi (OQU), P_R kirish optik quvvatda xatolik koeffitsienti (XK) berilgan optik signalni qabul qilishni va almashtirishni ta'minlovchi optik quvvat qabul qilgichi (OQQ) va L uzunlikka va α so'nishga ega bo'lgan tolali optik kabel. Qabulqilgich - uzatuvchi juftlik (OQU-OQQ) E energetik potensialga ega bo'lib, u OQU ning quvvatiga, shovqinning spektral zichligiga, OQQ ning sezgirligiga va uzatish tezligi V ga bog'liq. Berilgan E energetik potensial tolali optik trakt L uzunligini cheklaydi, uning so'nishi (ekspluatatsion zahirani hisobga olgan holda) E energetik potensialdan oshmasligi kerak.

To'liq ichki akslantirishning quyidagi qoida buzilishlari mumkin:

1. Tushish burchagini o'zgartirish. Tushish burchagini to'liq ichki qaytish kuzatila boshlaganda chegaraviy tushish burchagining kichik qiymatigacha kamaytirish uchun tashqi ta'sirdan foydalanish.

2. Qobiq sindirish ko'rsatkichining optik tola o'zagining sindirish ko'rsatkichiga nisbatining o'zgarishi. To'liq ichki qaytish burchagini optik tolada katta o'ziga xos tushish burchaglari qiymatlarigacha kattalashtirish uchun tashqi ta'sirdan foydalanish.

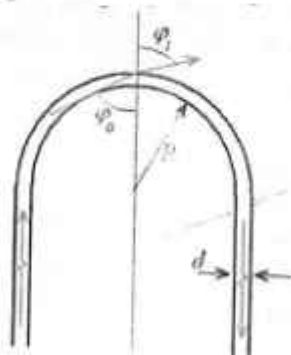
3. Optik tunnellash. Optik tunnellash nurlanishning sindirish ko'rsatkichi to'liq ichki qaytish burchagidan katta bo'lgan tushish burchaklarida o'zinikidan kichik sindirish ko'rsatkichida optik tolaning qobig'i orqali o'tishdan iborat.

OT dan signallarning sirqishi kanallarining shakllantirilishini ko'rib chiqamiz.

A) Optik tola shakllarining o'zgartirishlarida sirqish kanallarining shakllanishi [113].

Tushish burchagining o'zgartirilishiga optik tolaga mexanik ta'sir yo'li bilan, masalan, uni bukish bilan erishilishi mumkin. Optik to'liq bukilganda o'zak-qobiq chegarasida elektromagnit to'lqinning tushish burchagi o'zgaradi. Tushish burchagi chegaraviy burchakdan kichik bo'lib qoladi, bu esa elektromagnit nurlanishning bir qismi optik to'lqindan chiqib ketganini anglatadi (11.4 - rasm).

Optik tolaning bukilishi bukilish joyida kuchli chetki nurlanishga olib keladi, bu lokallashtirilgan sohada axborotni ruxsat etilmagan holda olib qo'yishga imkoniyat yaratadi.



11.4-rasm. O'zagining diametri d bo'lgan optik tolani R radiusli bukishda sirqish kanalining shakllanish, φ_0 -tushish burchagi, φ_1 -sinish burchagi

To'liq ichki qaytishning buzilishi bilan bog'liq o'zagining diametri d bo'lgan yorug'lik eltgichning bukilish nuqtasida

qo'shimcha nurlanish kuzatiladigan maksimal bukilish radiusi R ni baholaymiz. Maksimal radius ushbu ifoda bilan aniqlanadi:

$$R \leq d \frac{n_2}{n_1 - n_2}, \quad (11.1)$$

bunda n_1, n_2 - mos ravishda optik tola o'zagining va qobig'ining sinish ko'rsatkichlari.

Bukilish nuqtasida OT dan chiqayotgan elektromagnit to'lqin intensivligi mos ravishda r- va s- qutblanishlar uchun frenel formulalari bo'yicha aniqlanadi:

$$I_p = I_0 \frac{\sin 2\varphi_0 \sin 2\varphi_1}{\sin^2(\varphi_0 + \varphi_1) \cos^2(\varphi_0 - \varphi_1)}, \quad (11.2)$$

$$I_s = I_0 \frac{\sin 2\varphi_0 \sin 2\varphi_1}{\sin^2(\varphi_0 + \varphi_1)}, \quad (11.3)$$

bu erda I_0 - tushayotgan nurlanishning intensivligi, va I_p, I_s lar p- va s- qutblanishlar uchun o'tib ketgan nurlanish intensivliklari. O'zagining diametri $d=50\text{mkm}$ va optik qobig'ining diametri $D=125\text{mkm}$ ($n_1=1,481, n_2=1,476$), bo'lgan ko'p modali tola uchun bukilish radiusini baholashning ko'rsatishicha, $R \leq 3,5\text{ sm}$ bo'lganda bukilish nuqtasida nurlanishning kuchli o'tishi kuzatila boshlaydi (OT dagi asosiy yorug'lik oqimi intensivligining 80% gacha qiymati). SHuni aytib o'tish kerakli, bukilishni baholashda yorug'lik oqimining shakli, sindiruvchi sirtningsilindrik shakli va optik tolaning sinish ko'rsatkichini o'zgartiruvchi boshqa effektlar, masalan, fotoelastik effekt hisobga olinmadi. Ularning hissasi ancha kichik.

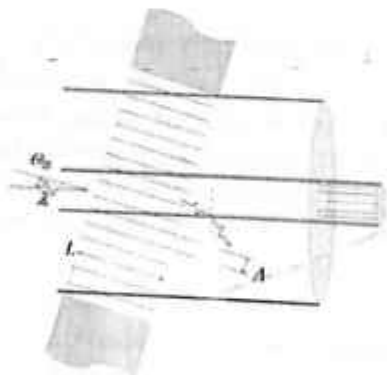
Mexanik ta'sirda to'liq ichki qaytishning buzilishi faqat OT ning bukilishidagina emas, balki optik tolaga maxalliy bosim berilganda ham mumkindir, bu hal deformatsiya nuqtasida nazorat qilib bo'lmaydigan sochilishni (bukilishdan farqli holda) vujudga keltiradi.

B) Sindirish ko'rsatkichlari nisbatlarining o'zgarishi natijasida vujudga keladigan tashqi ta'sirdan sirqish kanallarining shakllanishi. Tushish burchagini mexanik ta'sirda faqat optik tola shaklini

o'zgartirish bilangina emas, balki optik tolaga akustik ta'sir ko'rsatish bilan o'zgartirish mumkin. OT ning o'zagida sindirish ko'rsatkichini davriy o'zgartiruvchi difraksion panjara yaratiladi, u tovush tulqinining ta'sirida vujudga kelgan. Elektromagnit to'lqin o'zining dastlabki yo'nalishidan og'adi va uning bir qismi tarqalish kanali chegarasidan tashqariga chiqadi. Qo'yilgan masalani echish mumkin bo'ladigan fizik hodisa yuqori chastotali tovushdagi ($f > 10$ MGs) Bregg difraksiyasi hisoblanadi, uning A to'lqin uzunligi quyidagi shartni qanoatlantiradi

$$(\lambda L / A^2) > 1, \quad (11.4)$$

bu erda λ - elektromagnit nurlanishning to'lqin uzunligi, L - tovush to'lqinining tarqalish sohasining kengligi. Elastik to'lqin vujudga keltiradigan deformatsiyalar difraksion panjara bo'lib hisoblanuvchi yorug'lik uchun OT ichida sindirish ko'rsatkichining davriy o'zgarishini shakllantiradi (11.5-rasm).



11.5-rasm. Optik tola o'zagida difraksion panjaraning tovush bilan shakllantirilishi

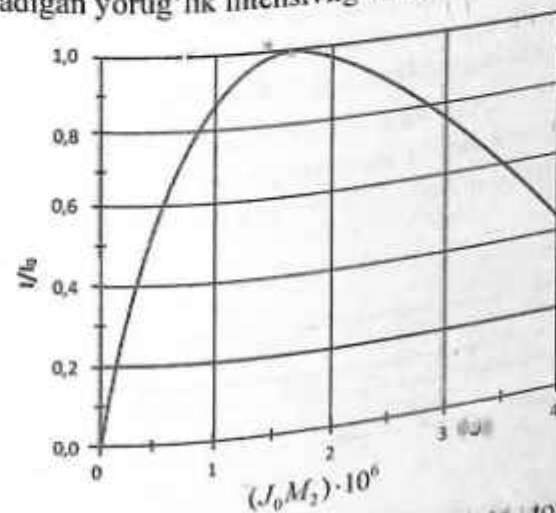
Yagona kuzatiladigan difraksion maksimumning maksimal og'ishi ikkita Bregg burchagiga teng ($2 \Theta_V$). Og'gan elektromagnit to'lqinning chastotasi asosiy axborot oqimi chastotasiga teng.

Difraksion maksimumning intensivligi quyidagi formula bilan aniqlanishi mumkin:

$$I = I_0 \sin^2 \left(\frac{\pi}{2} \sqrt{J_0 M_2} \frac{L}{\lambda} \right), \quad (11.5)$$

bu erda J_0 - tovush to'lqinining intensivligi, $M_2 = 1,51 \cdot 10^{-15}$ sek³/kg - kvartsning akustooptik sifati.

Hisoblashlarning ko'rsatishicha, parametrlari $(d/D) = (50/125)$ bo'lgan ko'p modali OT uchun tovush to'lqini uzunligi $A = 10$ mkm va o'zaro ta'sirlashuv uzunligi $L = 10^{-3}$ m bo'lganda dastlabki tarqalish yo'nalishidan maksimal og'ish burchagi 5 gradusni tashkil etadi. Birinchi difraksion maksimumning tovush to'lqini intensivligiga bog'liqligi grafigi 11.6-rasmda keltirilgan. Grafikdan ko'rinishicha, tovush to'lqinlarining hatto uncha yuqori bo'lmagan intensivliklarida ham chiqarilayotgan elektromagnit nurlanish uni zamonaviy fotoqabulqilgichlar bilan qayd etish uchun etarlicha kattadir. Tovushning qayd etilgan intensivligida L tovush chiqarish sohasini o'zgartirish yo'li bilan difraksion maksimumda intensivlikning maksimal qiymatiga erishish mumkin, bu bilan sirqish kanaliga yo'naltiriladigan yorug'lik intensivligini oshirish mumkin.



11.6-rasm. Difraksion maksimum intensivligining tovush to'lqini intensivligiga bog'liqligi

Qobiqning sildirish ko'rsatkichining OT o'zagining sildirish ko'rsatkichiga nisbati (n_1/n_2) ni o'zgartiruvchi boshqa tashqi ta'sir OT ning shaklini o'zgartirmasdan mexanik ta'sir, ya'ni cho'zilish hisoblanadi.

Optik tolani cho'zishda optik tolaning o'zagi va qobig'ining sildirish ko'rsatkichlarining Δn_1 va Δn_2 ga o'zgarishi yuz beradi. Bunda to'liq ichki qaytish burchagining qiymati φ_r dan φ_r' gacha ortadi.

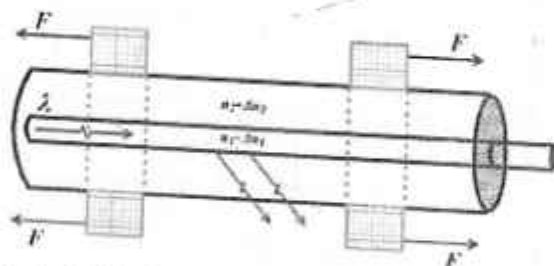
Burchaklarning qiymatlari quyidagi ifoda bilan bog'langan:

$$\sin \varphi_r' \approx (1 - \frac{\Delta n_1}{n_1} + \frac{\Delta n_2}{n_2}) \sin \varphi_r \quad (11.6)$$

($\Delta n/n$) nisbat uchun ifoda fotoelastik effekt bilan aniqlanadi, shuning uchun:

$$\frac{\Delta n}{n} = -\frac{1}{2} n^2 p \varepsilon, \quad (11.7)$$

bu erda, p, ε – fotoelastiklik va diformatsiya tenzorlarining effektiv tashkil etuvchilari, bu optik tolaning cho'zilishda xosil bo'ladigan anizotropiyasi bilan bog'liq. Eritilgan kvars katta kuchlanishlarga (ideal xolatda 10^6 Pa gacha) bardosh berishini hisobga olib, OT ga katta mexanik kuchlanishlarni qo'yib, chegaraviy burchakni $\varphi_r' - \varphi_r \approx 2 \cdot 10^{-6} \sin \varphi_r$ kattalikka o'zgartirishga erishish mumkin, bu kattalik asosiy axborot oqimi intensivligining bir qismini optik tola tashqarisiga chiqarishi uchun etarli bo'lishi mumkin (11.7-rasm).



11.7-rasm. Tashqi F kuch ta'sir qilganda optik tolani cho'zish bilan sirqish kanalini shakllantirish

Qobiqning sildirish ko'rsatkichining OT o'zagi sildirish ko'rsatkichiga nisbatining o'zgarishini mexanik kuchlanish yo'li bilan vujudga keltiruvchi usullarga, shuningdek optik tolni burash ham kiradi.

(n_2/n_1) nisbat o'zgarishining kontaktsiz usullariga barqaror elektr maydonlarning ta'sirini kiritish mumkin, ular o'zak va qobiqning sildirish ko'rsatkichini Δn_1 va Δn_2 ga o'zgartiradi. ($\Delta n/n$) nisbat uchun ifoda teskari p'ezoelektr effekt uchun va fotoelastiklik tenglamadan aniqlanadi:

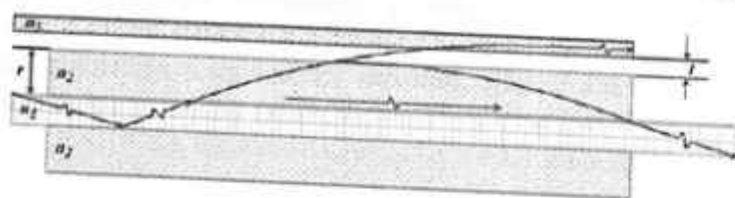
$$\frac{\Delta n}{n} = -\frac{1}{2} n^2 p b E, \quad (11.8)$$

bu erda b-p'ezoelektr effekt moduli; E-elektr maydon kuchlanganligi. Agar baxolash uchun ideal eritilgan kvarsni teshishi uchun elektr maydon kuchlanganligi (10^8 V/m) qiymatini qabul qilsak, to'liq ichki qaytishning yangi burchagi ($\Delta n_1 > 0$ va $\Delta n_2 > 0$), u holda barqaror elektr maydon ta'siri bilan chegaraviy burchakni $\varphi_r' - \varphi_r \approx 2 \cdot 10^{-8} \sin \varphi_r$ kattalikka o'zgarishiga erishishi mumkin.

Shuni ta'kidlab o'tish kerakki, mexanik kuchlanishlar bilan elektr maydon bilan ham vujudga keltiriladigan chegaraviy burchak qiymatlarining o'zgarishlari juda kam bo'lishiga qaramay, boshqa usullar bilan birga majmuaviy ta'sir ko'rsatish sirqish kanali shakllanishining samarali uslubiga olib kelishi mumkin. Yuqorida ko'rib chiqilgan uslublar bitta kamchilikka ega bo'lib, u bu uslublar asosida yaratilgan sirqish kanallarini oson qayd etishga imkon beradi. Bu sirqish kanallarining joylarida yorug'likning juda katta teskari sochilishi bilan belgilanadi. Teskari sochilgan yorug'lik refleksometriyasi yordamida bunday ulanishlar yuqori darajada fazoviy va vaqtli ajratish bilan oson aniqlanadi.

Sirqish kanallarini optik tunnellash uslubi bilan shakllantirish, qo'shimcha yo'qotishlarni va teskari sochilishni kiritmasdan, qo'shimcha OT bilan axborot optik tolaning o'zagi chegarasidan tashqariga chiquvchi elektromagnit nurlanishning bir qismini qamrab olishga imkon beruvchi usul optik tunnellash hisoblanadi [118,119].

Optik tunnelling xodisasi optik nurlanishning sindirish ko'rsatgichi n_1 bo'lgan muxitda, sindirish ko'rsatgichi n_1 dan kichik bo'lgan n_2 qatlam orqali tushish burchagi to'liq ichki qaytish burchagidan katta burchaklarda n_3 sindirish ko'rsatgichli muhitga o'tishdan iboratdir.



11.8-rasm. Optik tunnelling bilan sirqish kanalini shakllantirish

Integral va tolali optikada optik tunnelling qonun-qoidalar asosida optik tarmoqlagich, optofonlar, fizik kattaliklarning tolali optik datchiklari yaratiladi. n_1 , n_2 – optik tolaning o'zagi va qobig'ining sindirish ko'rsatgichlari, n_3 – qo'shimcha optotolaning sindirish ko'rsatgichi.

Optik tolada yorug'lik tarmoqlanganda yorug'lik oqimining bir qismi OT o'zagini chegarasidan tashqarigi chiqadi. OT o'zagidan qobig'iga $r=(D-d)/2$ masofaga chiqqan nurlanishning intensivligi o'zak-qobig' chegarasida φ tushish burchagiga bog'liq holda quyidagi ifoda bilan aniqlanadi

$$I = I_0 \cdot \exp(-4\pi n_1 (r/\lambda) \sqrt{\sin^2 \varphi - \sin^2 \varphi_r}) \quad (11.9)$$

Bu shunga olib keladiki, optik tolni tayyorlashda qobiq ancha katta qismni egallaydi. Bunda bir modali tolada qobiq ko'p modaliga qaraganda ancha katta xajmni egallaydi. Bu yorug'likning o'zakdan qobiqqa singib o'tishining keltirilgan formulasidan kelib chiqadi.

φ - tushish burchagining to'liq qaytish φ_r burchagiga yaqinlashganda eksponenta darajasining ko'rsatgichi nol qiymatga intiladi. Yorug'lik tolaning butun tuzilishi bo'ylab, o'zagi va qobig'i bo'yicha tarqaladi. Bu xol intensivlikning bir qismi asosiy OT dan qo'shimcha OT ga o'tishi mumkinligiga olib keladi (11.16-rasm). Qo'shimcha to'lqin eltuvchi (tashuvchi) ga o'tuvchi nurlanishning intensivligi quyidagi ifoda bilan aniqlanadi

$$I = I_0 \sin^2(k \cdot S), \quad (11.10)$$

bunda k - optik tolalarning aloqa koeffitsenti, S - ikkita tola optik kontakti uzunligi.

Aloqa koeffitsentining maksimum qiymatiga qobiq va qo'shimcha OT orasidagi masofa 0 ga teng bo'lganda va qo'shimcha tolaning sindirish ko'rsatgichi $n_3 = n_1$, bo'lganda erishiladi. Ifodadan ko'rinadiki, nurlanish asosiy optik toladan qo'shimcha OT ga optik kontakt uzunligining ma'lum bir $S=\pi/2k$ qiymatida o'tadi. Optik kontakt uzunligi yanada orttirilganda teskari jarayon yuz beradi. SHunday qilib, nurlanish davriy ravishda bir OTdan boshqasiga o'tadi, bunda yutilishga, sochilishga yo'qotishlar o'zgartirilmaydi.

Optik tunnellingning o'ziga xos xususiyatlari teskari sochilgan nurlanishning yo'qligidir, bu aloqa kanaliga ruxsat etilmagan kirishni aniqlashni qiyinlashtiradi. Axborot olishning bu uslubi eng yashirindir.

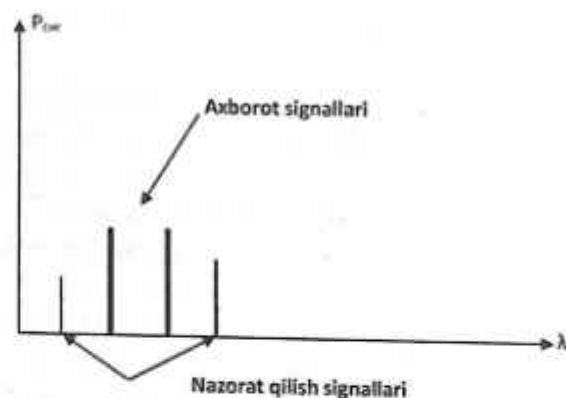
11.5.1. Optik aloqa tizimlari va tarmoqlarining axborot xavfsizligini ta'minlash uslublari va vositalari

Mavjud tizimlarning optik aloqa tarmoqlarida ruxsat etilmagan ta'sirlarni tashhislash va nazorat qilishning qo'llanilish imkoniyatlarini ko'rib chiqamiz. Ruxsat etilmagan ta'sirlarni kuzatishning zamonaviy texnologiyalarini shartli ravishda 2 sohaga ajratish mumkin, ularning har birida yo'qotishni statistik tahlil qilish uslubi (masalan, signallar spektrini yoki qabul qilishda signallarning quvvatini tadqiq qilish), yoki tashhislash maqsadlari uchun mahsus signallardan foydalanuvchi uslub (masalan, nazorat qiluvchi signallar yoki optik reflektometrlar).

11.5.2. Nazorat signallari uslublari va qo'llanish soxalari

Nazorat signallari - bu axborot signallari tarqaladigan yo'nalishlar bo'yicha va o'sha bo'g'inlar bo'yicha o'tadigan signallar bo'lib, ulardan o'zining asosiy vazifasi aloqadagi muammolarni va ulanishlardagi qoida buzishlarni aniqlash bilan farq qiladi (11.9-

rasm). Bu erda, P_{sig} - optik signal quvvati; λ - optik signal to'liqini uzunligi.



11.9-rasm. Nazorat qilish signallari uslubi

Nazorat signallari, odatda, boshqa chastotalarda ishlaydi. TDMA - tizimlarda bunday signallar umumiy axborot signalidan uzatiladigan vaqtincha slot bo'yicha ajratilishi mumkin. SDMA - tizimlarida nazorat signallari o'zining kodlanishi hisobiga ajralishi mumkin, WDM-tizimlarda esa axborot signallarini uzatish polosasi ichida uzatilishi mumkin bo'lib, ular WDM kanallari orasidagi oraliqlarda yoki axborot signallarini uzatish polosasi tashqarisida joylashishlari mumkin.

Agar nazorat signallari axborot signallarini uzatishining chastota soxasida va ulardan bevosita yaqin joyda joylashgan bo'lsa, u holda ular chastotasi multipleksirlovchi signallar guruhiga kiradi (Super-carrier Multiplexed Signals, SCM). Bunday SCM - signallar axborot signallari kabi o'sha optik tashuvchidan foydalanib, tarmoq yoki axborot signallarini uzatadilar. Shuni ta'kidlash zarurki, nazorat signallari xar doim ham vaqt bo'yicha doimiy tavsiflarga ega bo'la olmaydilar, balki ma'lum bir qonun bo'yicha dinamik o'zgaradi va axborot signallaridan katta yoki kichik chastota bilan farq qiladi.

Ruxsat etilmagan ta'sirlarni aniqlashning bu uslubi, agar "yopib qo'yishlar" nazorat signallari ishlayotgan to'liq uzunliklariga ta'sir qilgan holdagina samarali bo'lishi mumkin.

Keng polosali signal bilan ruxsat etilmagan ta'sirda mazkur uslubning qo'llanilishi o'zini oqlaydi, chunki jinoyatchining signali

nazorat signallariga ham tegishli bo'ladi. Agar nazorat signallari real tizimi xolidagi kabi, aloqa mavjudligini nazorat qilish uchun foydalanilsa, u holda mazkur uslub "yashirincha eshitib turish" dan himoyani ta'minlay olmaydi. Nazorat signali ruxsat etilmagan ta'sirni faqat uzatish kanali tavsiflari yomonlashgandagina sezishi mumkin.

Nazorat SCM signallar boshqa to'liq uzunliklarida ishlovchi nazorat signallariga qaraganda "o'girib qo'yishi" ni aniqlashda kattaroq imkoniyatga ega, lekin shu bilan birga ular axborot signallari uchun buzg'unchi bo'lishi mumkin bo'lgan ayrim "o'chirib qo'yishi" ni kuzata olmaydi. SCM signal ajratadigan filtrning tavsiflarini bilgan jinoyatchi ta'sirni shunday amalga oshirishi mumkin, bunda uning natajalari filtrning o'tkazish polosalariga tushmaydi va nazorat signaliga ta'sir qilmaydi. Bulardan tashqari nazorat signallarining o'zi ham foydali signalni o'chirishi mumkin.

11.5.3. Tolali optik liniya traktlarining xavfsizligini ta'minlash uslublari

Misollar ko'rib chiqamiz.

Axborotni ruxsatsiz olishni (ARO) amalga oshirish uchun TOUL ning tolasigacha borib etish va α x yo'qotishlarni kiritib, hamda bunda aloqa kanalining ishlashini buzmasdan turib (11.10-rasm) [112], P_x quvvatli nuqtada optik tarmoqlantirgich (OT_r) orqali P_{rx} quvvatning bir qismini olib tashlab, axborotni biror tarzda sanab chiqish zarur.

Possiv lokal (maxalliy) ruxsat etilmagan kirishda (REK) axborot olish uchun TOAL parametrlariga ta'sirni ko'rib chiqamiz. Quyidagi belgilarni kiritamiz: P_s , P_r , P_x , P_{rx} - mos ravishda UOM ning chiqishda (TOAL ning boshida), QQOM ning kirishda (TOAL ning oxirida), axborotni e'tib olish joyida, va QQOM REK ga kirishdagi optik signallar quvvati, α [dB/km] - TOAL ning so'nishi, E-TOAL qabul qilgich - uzatkichining energetik potentsiali.

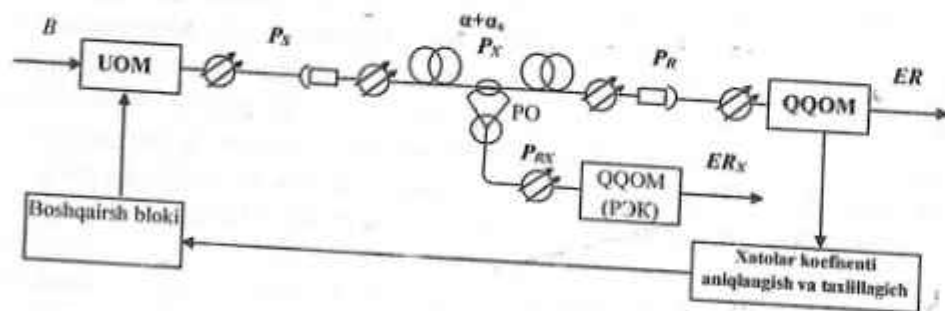
axborot signali bilan aralashishi bo'yicha namoyon bo'ladi. REK ning o'rni reflektometr yordamida yuqori aniqlikda aniqlanadi.

Bu yo'nalishdagi ishlarning ikkinchi guruhi "issiq" tolalar monitoringi va OT_R ning chiqishida optik signallar va OT_R ning kirishidagi qaytgan optik signallar parametrlarini nazorat qilishining turli qurilmalarini ishlab chiqish bilan bog'liq.

REK ni qayd etish tizimining asosi xolatni diagnostika qilish tizimi (XDQT) TOAL holatini tashxislash tizimi hisoblanadi. XDQT ni yoki TOAL orqali o'tgan signalni, yoki qaytgan signal (reflektometrik XDQT) ni taxlil qilib qo'rish mumkin.

O'tgan signalni taxlil qilish bilan XDQT eng oddiy tashxislash tizimi hisoblanadi. TOAL ning qabul qilinuvchi qismida o'tgan signal tahlil qilinadi. REK da signalning o'zgarishi yuz beradi, bu o'zgarish qayd etiladi va TOAL ning boshqarish blokiga uzatiladi.

TOAL ning qabul qilish modulida xatolar koefitsientining taxlillagichidan foydalanilganda (11.11-rasm) XDQT TOAL apparaturasining minimal o'zgarishlarida amalga oshiriladi, chunki barcha zarur modullar TOAL apparaturasi tarkibida mavjud bo'ladi. Signalning o'zgarishiga nisbatan juda past sezgirlik uning kamchiligi hisoblanadi.



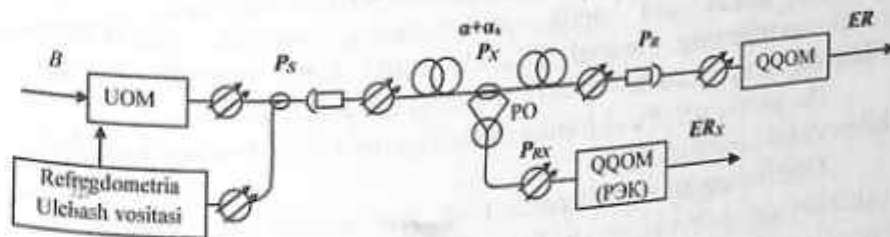
11.11-rasm. Xatolar koefitsientini tahlil qilish bo'yicha tashxislash tizimi bo'lgan TOAL

O'tgan signalni taxlil qilish bilan XDQT ning asosiy kamchiligi paydo bo'lgan nobirjinslilikning koordinatasi to'g'risidagi axborotning mavjud emasligi hisoblanadi, bu hol TOAL nig ishlash rejimlaridagi o'zgarishlarni yanada nozikroq tahlil qilishga imkon

bermaydi (ARO qayd etish tizimining yolg'on ishlashlarini olib tashlash uchun).

Qaytgan signalni taxlil qilish bilan XDQT (reflektometrik XDQT) TOAL ning ishonchliligini eng ko'p darajada oshirishga imkon beradi.

OT_R da teskari sochilish signalining quvvati kattaligini nazorat qilish uchun hozirgi vaqtda reflektometrlarning barcha namunalarida qo'llaniladigan impulsli zondlash usulidan foydalaniladi (11.12-rasm).



11.12-rasm. TOAL holatini tashxislashning reflektometrik tizimli TOAL lar

Uning mohiyati shundan iboratki, bunda tadqiq etilayotgan OT_R ga kuchli qisqa impuls kiritiladi va keyin shu uchning o'zida turli nobirjinsliliklarda teskari yo'nalishda sochilgan nurlanish qayd etiladi, uning intensivligiga ko'ra optik tola da uning uzunligi bo'yicha 100-120 km gacha masofaga taqsimlangan yo'qotishlar to'g'risida hukm yuritish mumkin. Bunday reflektometr sifatida tegishli dasturiy ta'minotga ega bo'lgan IBM oilasidagi shaxsiy kompyuter asosida ishlangan optik reflektometrlari kompyuter mumkin. Chiziqning boshlang'ich reflektometrlari dinamik parametrlarida xotirasida zondlovchi signalning turlicha dinamik parametrlarida qayd etiladi va tegishli joriy reflektogrammalar bilan taqqoslanadi. Reflektogrammaning 0,1 dB dan ortiq mahalliy og'ishi optik tola ga ruxsat etilmagan kirishga urinish ehtimoli to'g'risida dalolat beradi. Qaytgan signalni tahlil qilish bilan XDQT ning impulsli reflektometriya uslubi asosidagi asosiy kamchiliklari quyidagilar hisoblanadi:

A) TOAL uzunligi bo'yicha ajratish yuqori bo'lganda (bu REK ni qayd etish lokal nobirjinsliliklarni aniqlash uchun muhim ahamiyatga ega) reflektometrlarning dinamik diapazoni ancha pasayadi va TOAL ning nazorat qilinadigan qismi kamayadi;

V) kuchli zondlovchi impuls axborotni uzatish vaqtida TOAL nazoratini o'tkazishni qiyinlashtiradi, bu esa XDQT ning imkoniyatlarini pasaytiradi yoki diagnostika tizimini yo murakkablashtiradi va qimmatlashtiradi;

S) kuchli zondlovchi impulslarning manbalari TOAL ni uzoq uzluksiz nazorat qilish uchun etarli bo'lmagan resursga ega;

D) zondlovchi optik nurlanishning maxsus manbalari, reflektometrlarning qabul qiluvchi bloki keng polosali va tez ishlaydigan apparaturasi XDQT ni ancha qimmatlashtiradi.

Bu guruh uslublari himoyalashning juda ko'p boshqa uslublari bilan yaxshi qo'shilishadi.

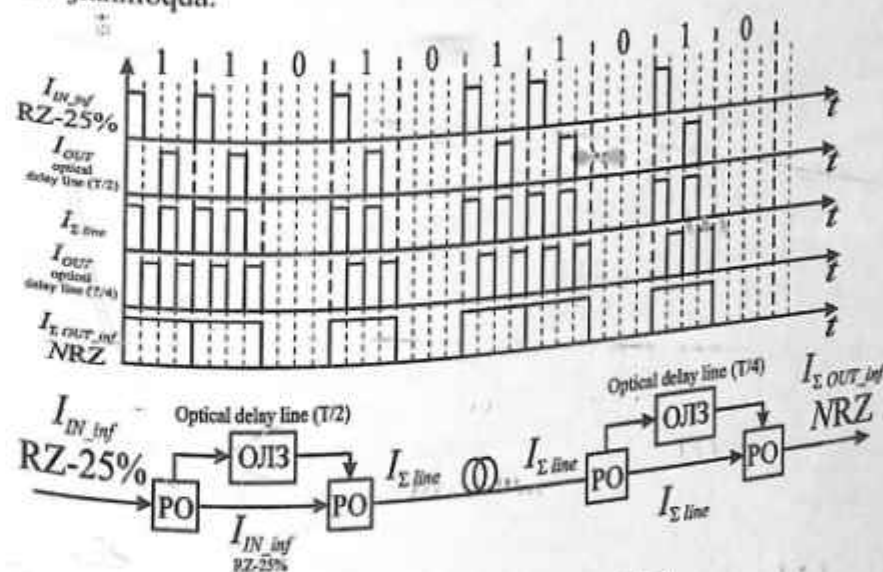
Uzatilayotgan signallarning kodli shovqinlarni ishga asoslangan uslublari qiziqish uyg'otadi. Bu uslubni amalga oshirishga muvofiq maxsus tanlangan xatolarni ko'paytiruvchi kodlar qo'llaniladi. Optik tolaga axborotni olish qurilmasini ulash bilan vujudga kelgan optik quvvatning xatto biroz pasaytirishida ham TOAL ning chiqishidagi raqamli signalda xatolar koeffitsienti keskin o'zgaradi, buni TOAL ni nazorat qilish vositalari bilan qayd etish ancha oson. SHuningdek, TOAL ga turli ishorali dispersiya kompensatorlari juftidan foydalanishga asoslangan uslub ham qiziqarlidir. Birinchi kompensator liniyaga dispersiyalangan signalni kiritadi, qabul qiluvchi uchda esa kompensator uzatilgan signalning shaklini tiklaydi. Axborot signalini niqoblashdan foydalanishda kanallarning to'liq bo'linishidan foydalanuvchi tizim qo'llanishi mumkin.

Optik traktida chiziqli kodni niqoblash uchun RZ turidagi koddan foydalanishda optik tutilish liniyasini (OTL) qo'llanish mumkin, u optik traktning kirishida 11.23-rasmga muvofiq optik tarmoqlagichlar (OT) yordamida ulanadi. Tutilish vaqtining kattaligi RZ kod turiga bog'liq va RZ uchun 25% ni $T/2$ tashkil etadi, bu erda T -taktli intervalning uzunligi.

Qabul qiluvchi uchda signalni ajratish uchun ikkita optik tolaga ulangan o'xshash OLZ dan foydalanish mumkin. Bunda TOAL ning chiqishida axborot kilish signaliga mos keluvchi NRZ turidagi koddagi signalni olamiz. SHuningdek, dinamik (determinantlangan)

xaos rejimidan foydalanish ham istiqbolli hisoblanadi, u eltuvchi (tashuvchi) ning psevdoxoptik o'zgaruvchi chastotasi va amplitudali axborotning uzatilishini ta'minlashga imkon beradi. Natijada chiqish signali tashqi jihatdan shovqinsimon bo'ladi, bu shifrnı ochishni qiyinlashtiradi.

Fan va texnikaning rivojlanishi bilan kriptografik fan yutuqlarini kvant mexanikasi va kvant statistikasi bilan birlashtirish imkoniyati paydo bo'ldi. Bu erda diskret matematikaning (kriptografiyasi) va fizik jarayonlarning diskret (kvant) mexanikasi bilan tabiiy aloqasi vujudga kelishi mumkin. Bu ulanishda yangi istiqbolli yo'nalish- kvant kriptografiyasi paydo bo'ldi va rivojlanmoqda.



11.13-rasm. Liniya kodini niqoblash

Kvant kriptografiya uslublari aloqa liniyasida ma'lumotlarni aloxida fotonlar ko'rinishida uzatish hisobiga axborotni tutib qolishdan himoyalashning yuqori darajasi ta'minlaydi, chunki aloqa kanalida ularning kvant holatlarini qaroqchi tamoni dan buzmaydigan o'lchashning iloji bo'lmaydi, kanaldan fotonlarni olib qolish (o'g'irlash) holati fotonlar ketma-ketligining ehtimoliy tavsiflarining o'zgarishi bo'yicha darhol aniqlanishi mumkin.

Nazorat savollari

1. Optik tizimlar va aloqa tarmoqlarining axborot xavfsizligini ta'minlash deganda nima tushuniladi?
2. Qancha xavfsizlik parametrlari mavjud va ularning ahamiyati nimada?
3. Xavfsizlikning nechta sathi mavjud?
4. Maxfiylik tushunchasini tushuntiring.
5. Autentifikatsiya tushunchasini tushuntiring.

XII-BOB

OPTIK ALOQA TIZIMLARI VA TARMOQLARINI LOYIHALASH

12.1. Tizim va uzatish liniyalarini loyihalashga tizimli yondoshish asoslari

Loyihalashga tizimli yondashuv, yakuniy maqsadlarga erishishga juda ham sezilarli ta'sir etuvchi, alohida qismlarning o'zaro ta'sirini hisobga olgan holda, muayyan sharoitlarda aniq funksiyalarni bajaruvchi, to'liqligicha yagona ob'ekt sifatida tizim va uning ishlashini o'rganishni ko'zlaydi. Bunda sistemologiya, sistemotexnika, operatsiyalarni tadqiq etish nazariyasi va matematik dasturlash nazariyasi kabi tizimli fanlarning metodologiyasi va matematik apparati muvaffaqiyatli ishlatilishi mumkin.

Tizimli yondashuv turli loyihalash bosqichlari (dastlabki effekt, texnik loyiha, ilmiy tadqiqot ishi va b.q.) da amalga oshirilishi mumkin, biroq eng samarali effektga tizimning tuzilish sxemasi tanlanadigan va uning asosiy parametrlari baholanadigan, dastlabki loyihalash bosqichida erishiladi.

Optimal loyihalashga tizimli yondashuvning asosiy prinsiplarini quyidagicha ifodalash mumkin:

1. Optimal qismdan tarkib topgan tizim, umumiy holda optimal hisoblanmaydi. To'liq holda tizimni optimallashtirish, qismlar bo'yicha optimallashtirish bilan almashtirilganda, ko'pincha xato xulosalarga olib kelishi mumkin. Qismlar bo'yicha optimallashtirish to'liq optimallashtirishdagidek natijalarga olib keladi, faqatgina shu holdaki, qachonki tizimning bir qismining parametrlari boshqa qismining parametrlarini tanlashga ta'sir etmasa, bu amaliyotda nisbatan kam uchraydi.

2. Tizimni optimallashtirish son bo'yicha aniq va yagona optimallashtirish maqsadini matematik ko'rinishda aks ettiruvchi, mezon bo'yicha olib borilishi kerak. Tizimning optimallashtiriladigan parametrlarining funksiyasi ko'rinishida namoyon bo'lgan, optimallik mezoni maqsad funksiyasi deb ataladi.

Qoida bo'yicha u yoki bu usullar bilan o'zaro bog'liq, bir necha optimallik mezonlarining mavjudligi, jarayonni logik tugaguncha etkazishga imkon bermaydi, son bo'yicha aniq mezonning mavjud emasligi ishlab chiqaruvchi tomonidan uning oldiga qo'yilgan vazifani etarlicha tushinmasligi xaqida dalolat beradi.

3. Tizim optimallashtirilishi kerak, qachonki optimallashtiriladigan parametrlarga sonli aniq chegaralar berilsa. Optimallashtirish sharoitlariga bog'liq bo'lgani uchun tizimning optimalligi doimo nisbiy, shartli. Shuning uchun optimallashtirish sharoitlari real sharoitlar bilan etarlicha aniq mos kelishi kerak.

Optimal tizimlarni loyihalash matematik usullar bilan amalga oshiriladi, bunda tizimning matematik ifodasiga, ya'ni uning matematik modelini ishlab chiqishga zaruriyat yuzaga keladi. Matematik model asosini tizimning tashqi va ichki parametrlari o'rtasidagi analitik nisbatlar (aloqa tenglamalari) tashkil etadi. Tashqi parametrlar tizimni foydalanuvchi nuqtai nazaridan ta'riflaydi. Xususan, bunday parametrlar xalaqitlarga bardoshlilik, kanallar soni, o'tkazish qobiliyati, ishonchlilik, narxi, gabarit o'lchami, og'irligi va b.q. bo'lishi mumkin. Ichki parametrlar tizimni ishlab chiqaruvchi nuqtai nazaridan ta'riflaydi. Uzatish tizimlari uchun bunday parametrlar quyidagilar hisoblanadi: modulyasiya turi, kod turi, o'zgartirish pog'onalarining soni, qo'llaniladigan elementlarning turi va b.q. Keyingi boblarda keng ishlatiladigan, analitik ko'rinishdagi tizimning tashqi va ichki parametrlari o'rtasidagi aloqa tenglamalari quyidagi natijalardan olinishi mumkin:

- nazariy tadqiqotlar (masalan, xalaqitga bardoshlilik, o'tkazish qobiliyati, ishonchlilik va b.q. uchun aloqa tenglamalari),
- texnik - iqtisodiy hisoblashlar (masalan, narx - navo, keltirilgan xarajatlar va b.q. uchun aloqa tenglamalari),
- eksperimental bog'liqliklar yoki empirik ma'lumot approksimatsiyasi (masalan, xatolik ehtimolligi, nutq signallarining aniqligi va b.q. uchun aloqa tenglamalari),
- tizim yoki uning kichik tizimlarini EHM da imitatsion modellashtirish natijasida (masalan, qo'llaniladigan kod turiga bog'liq holda xalaqitlardan himoyalanganlik yoki xatoliklar xarakteriga bog'liq holda sinxronizatsiya tizimi parametrlari uchun aloqa tenglamalari).

Aloqa tenglamalaridan ba'zilar ehtimolli xarakterga ega, chunki signal, kanal va xalaqitlarning statistik xarakteristikalarini e'tiborga oladi.

Optimallashtirish masalasini echishda birinchi bosqichda ro'yxat tuziladi, ya'ni e'tiborga olish kerak bo'lgan omillar tanlanadi. Bu omillarni ishlatishning ruxsat etilgan chegaralarini aniqlash kerak. Bundan kelib chiqib, mumkin bo'lgan ruxsat etilgan echimlar doirasi aniqlanadi. Keyingi bosqichda mezon va chegaralar tanlanadi. Maqsad (maqsadlar) loyihalashtiriladigan tizimning istalgan (maqsad etilgan) xolati sifatida, ya'ni rivojlantiruvchi natija sifatida aniqlanadi. Aytib o'tilgandek, maqsadga erishish ko'pgina xolatlarda, tizimning tashqi va ichki parametrlarining qiymati kabi ehtimolli xarakterga ega va nimani bajarish mumkin bo'lishidan ajralmaydi. Shu tarzda, maqsadlar ularga erishish vositalaridan ajralmagan, bu maqsadlarga erishish doimo chegaralangan. Natijada, qoida bo'yicha, maqsadlar ierarxiyasi shakllanadi, ulardan biri (asosiylari) mezonlar vazifasida, boshqalari chegara vazifasida namoyon bo'lishi mumkin. Bunda ularni qarama - qarshi qo'yish mumkin emas, oldin mezon bo'lganlar, keyinchalik chegara bo'lishi mumkin va aksincha.

Mezon - qaror qabul qilishning tanlangan variantining maqsadga muvofiqligini baholash imkonini beruvchi ko'rsatkich. Mezonning matematik ta'rifi - mezonli yoki maqsadli, funksiya.

Chegara - ko'riladigan variantlar sonini chegaralovchi, omillar. Agar analitik ifoda yordamida u yoki bu Z masalaning maqsadini va unga erishish vositalari x_i ni bog'lashga erishilsa, unda maqsadli yoki mezonli, W funksiya olinadi:

$$Z = W(X, T),$$

bu erda, X - boshqariluvchi o'zgaruvchilar (maqsadga erishish vositalari);

T - chegara (yo'naltirilgan o'zgaruvchilar).

Minimum yoki maksimum Z - optimallashtirish mezonini, qabul qilingan qaror samarasining chegaraviy o'lchovini sonli ifodalovchi:

$$Z_{\min(\max)} = W^*(x_1^*, x_2^*, \dots, x_n^*, T),$$

bu erda, x_i^* - T chegaralarda boshqariluvchi o'zgaruvchilarning optimal qiymatlari, $i = 1, m$.

Optimallashtirish masalalarini to'g'ri va teskari tashkil etish usullari farqlanadi. Masalan, to'g'ri tashkil etishda mezon sifatida S xarajatlar (kapital, ekspluatatsion va b.q.) birinchi o'rinda turadi, lekin E qaror (ishonchlilik, xalaqitbardoshlilik, o'tkazish qobiliyati, regeneratsiyalash uchastkasi uzunligi va b.q.) ning effekt yoki samaradorligi chegara hisoblanadi:

$$S_{\min} = \min (S_1, S_2, \dots, S_m), E \geq E_{te},$$

bu erda, E_{te} - effektning talab etiladigan qiymati (masalan, tayyorlik koeffitsienti).

Masalani teskari tashkil etishda mezon sifatida effekt (qaror samaradorligi) birinchi o'rinda turadi, xarajatlar esa chegara hisoblanadi:

$$E_{\max} = \max (E_1, E_2, E_m), C < S_{re},$$

bu erda, S_{re} - ruxsat etilgan xarajatlar.

Axborotlashtirilganligiga bog'liq holda optimallashtirish masalasi quyidagi sharoitlarda echilishi mumkin:

- aniqlilik, qachonki tizimning tashqi va ichki parametrlari bir qiymatli aniqlanganda;
- stoxastik (tavakkal, xavfli sharoitlarda), qachonki parametrlar qiymati tasodifiy xarakterga ega bo'lsa, lekin ehtimolli xarakteristikalar bilan aniqlanishi mumkin;
- noaniqlilik, qachonki parametrlar qiymati noma'lum bo'lsa, ya'ni xattoki ularning ehtimollik xarakteristikalari mavjud bo'lmaydi.

Optimallashtirish masalalarini echish uchun qo'llaniladigan, eng keng tarqalgan matematik metodlarga, aniqlilik sharoitlarida chiziqli va dinamik dasturlash usullari kiradi, tavakkal va xavfli sharoitlarda - statistik sinash usullari (Monte - Karlo usuli), noaniqlilik sharoitlarida - ierarxialarni taxlil qilish usullari kiradi [123].

Loyihalashga boshlang'ich ma'lumotlar. Asosiy loyiha xujjatlari

Telekommunikatsiya tarmoqlarining uzatish liniyalarini loyihalash va qurish haqida qaror regionlararo kompaniyalarni va operatorlarning aloqa tarmoqlarini, ularning magistral, zonaviy va mahalliy birlamchi tarmoqlarini va texnologik aloqa tarmoqlarini rivojlantirish sxemalari asosida, shuningdek iqtisodiy maqsadga muvofiqlilik, xo'jalik, ijtimoiy va xavfsizlik zaruriyatlari asosida qabul qilinadi. Loyihalash uchun boshlang'ich ma'lumotlar quyidagilar hisoblanadi:

- aloqani tashkil etish sxemasi;
- turli ishlab chiqaruvchilarning apparatura va kabellari texnik xarakteristikalariga qo'yiladigan talablar, ishonchlilik va narx navoni qo'shib;
- uzatish liniyalarining talab etiladigan o'tkazish qobiliyati, shuningdek rivojlanish istiqbolini e'tiborga olgan holda;
- aloqa operatorining ta'sir doirasida talab etiladigan ishonchlilik ko'rsatkichlari va b.q.

Loyihalash bosqichida aniqlash kerak bo'lgan, tarmoqning asosiy xarakteristikalari quyidagilar hisoblanadi: ishonchlilik, asosiy va rezerv o'tkazish qobiliyatlari kattaliklarining nisbati, boshqariluvchanlik, moslashuvchanlik va masshtabga muvofiqlik. Bundan tashqari tarmoq iqtisodiy xarakteristikalariga ham ega, masalan, kapital xarajatlar va uning raqobatlilik qobiliyatini aniqlovchi, xarajatlarni oqlash vaqti.

Birlamchi telekommunikatsiya tarmoqlarini qurish va rekonstruksiya qilish raqamli uzatish tizimlaridan, raqamli kommutatsiya tizimlaridan va tolali optik aloqa liniyalaridan keng foydalanish asosida amalga oshiriladi. Birlamchi tarmoqning uzatish liniyalarini qurish va rekonstruksiya qilish bo'yicha ishlar faqatgina loyiha va smeta mavjud bo'lgandagina olib boriladi. Loyiha va smetalar qoida va tarkib, moslashish tartibi haqidagi boshqaruvchi materiallarga mos holda ishlab chiqiladi va bino, inshoot, korxonalarni qurish va rekonstruksiya qilishga loyiha - smeta xujjatlari tasdiqlanadi.

Birlamchi telekommunikatsiya tarmoqlarining faoliyatdagi uzatish liniyalarini qurish va rekonstruksiya qilishni loyihalashni asosan «Aloqa loyiha» Davlat Unitar korxonasi amalga oshiradi.

Bundan tashqari loyihalash bo'yicha ishlar aloqa tarmoqlari operatorlari tomonidan ham olib boriladi. Ularning tarkibiga aloqa inshootlarining faoliyat maydoni doirasida ularni qurish loyihalarini aniqlovchi va qurilish maydonlarini tanlashda ishtirok etuvchi va aloqa inshootlarini qurish va rekonstruksiya qilishga texnik sharoitlar (TSH) ni tuzuvchi loyiha bo'limlari (yoki ularga o'xshash xizmatlar) kiradi.

Loyihalash jarayonida ishchi muloqotga: aloqa inshootlarini qurishni rejalashtiruvchi buyurtmachi, (vazirlik, muassasa, aloqa operatori va b.q.) va loyiha ishini amalga oshiruvchi bosh loyihachi - loyiha tashkiloti kiradi, bunda maxsus loyiha tashkilotlari ham jalb etilishi mumkin. Loyiha tashkilotlari buyurtmachi bilan birgalikda texnik - iqtisodiy asoslashlar (TIA) ni ishlab chiqaradi. Bu loyiha xujjatida zaruriyatning texnik - iqtisodiy va sotsial asoslari va uzatish liniyalarini qurish va rekonstruksiya qilish tartibi beriladi. Bunda qurilish yoki rekonstruksiya qilish narxini, kapital qo'yilmalarning samaradorligini aniqlash va ularni optimallashtirish maqsadida kelgusi qurilish joylarida topografik, injener - geologik, gidrologik va boshqa izlanishlar bajariladi.

Loyiha qarorlari loyiha hujjatlari ko'rinishida rasmiylashtiriladi, ularning tarkibi va tuzilmasi loyihalashtirilayotgan aloqa inshootlarining yangiligi va murakkabligi, namunaviy yoki qayta qo'llaniladigan loyihalarning va b.q. ning mavjudligi bilan aniqlanadi.

Namunaviy yoki nisbatan murakkab bo'lmagan aloqa inshootlarini qurish bir bosqichda amalga oshadi (bir bosqichli loyihalash), uning uchun ishchi loyihaga loyihalashga topshiriq (LT) asosiy loyiha xujjati hisoblanadi.

Loyihalashga topshiriq bosh loyihachi bilan birgalikda buyurtmachi tomonidan tuziladi, zaruriyat bo'yicha esa texnik - iqtisodiy asoslash (TIA) ishlab chiqarilgan bosqichda qabul qilingan qarorlar negizida maxsus tashkilotlar tomonidan ham tuziladi.

Loyihalashga topshiriqda quyidagilar ko'rsatiladi:

- loyihalashtirilayotgan liniya nomi va uni loyihalash uchun asos va aloqaning yangi tarmoq tugunlarini qurish yoki mavjudlarini ishlatish;

- aloqa kanallari ajratilishi kerak bo'lgan, oxirgi tugun va oraliq punktlar belgilangan uzatish liniyasining yo'nalishi;

- turli ierarxiyalarning raqamli oqimlari yoki asosiy raqamli kanallari (ARK) ning tovush chastotali kanallari (TCHK) ning umumiy soniga keltirilgan, uzatiladigan axborotlarning turi va hajmi (telefon, telegraf va faksimil aloqa, ma'lumotlarni uzatish, Internet, elektron pochta, televidenie va ovoz eshittirishlari, mobil radioaloqa roumingi va b.q.);

- raqamli uzatish tizimlarini, kabel turini tanlash va ularni etkazib beruvchi manbalar bo'yicha dastlabki tavsiyalar;

- tarmoq topologiyasi bo'yicha tavsiyalar, uning elementi loyihalashtirilayotgan uzatish liniyasi bo'ladi;

- rekonstruksiyaning tugatish yoki loyiha quvvatini o'rganish davrida vaqtli aylanma aloqani va birlamchi tarmoqning bog'lovchi liniyalarini tashkil etish bo'yicha talablar;

- texnik va yordamchi binolarni qurish, manbalarni va elektr ta'minoti, issiqlik ta'minoti tarmoqlarini va ularga muhandislik kommunikatsiya xizmatlarini loyihalash kerakligi asoslari;

- uzatish liniyasining ishonchlilik ko'rsatkilariga talablar va ularni turli ta'sirlardan, shuningdek ruxsatsiz ulanishlardan himoyalash bo'yicha tadbirlarga talablar;

- uzatish liniyasining telekommunikatsiya tarmog'idagi boshqa inshootlari va ularning tarkiblari bilan o'zaro aloqasi;

- favqulodda holatlarga tadbirlar;

- uzatish liniyasidan foydalanishni tashkil etish, ekologiya va atrof muhitni muhofaza qilish bo'yicha talablar;

- seysmiklik, ekinli gruntlar guruhi, suvli va boshqa to'siqlar va va b.q. haqida dastlabki ma'lumotlar;

- kapital qo'yilmalarning o'lchamini belgilovchi qurilishning mehnat sig'imi, material sig'imi va kapital qo'yilmalar samaradorligining solishtirma ko'rsatkichlari;

- texnik-iqtisodiy ko'rsatkichlari va moliyalashtirish manbalari;

- uzatish liniyalarini qurish va rekonstruksiya qilishning boshlanish va tugatish muddatlari.

- loyiha variantlarini amalga oshirish samaradorligini texnik iqtisodiy baholash;

- telekommunikatsiya tarmoqlarining ekspluatatsiyasi va boshqarishning zamonaviy texnologiyalari;

- taktli tarmoq sinxronizatsiyasi va b.q.

Yangi telekommunikatsiya texnologiyalarini ishlatishda, namunaviy va bunga o'xshash loyihalar mavjud bo'lmaganda, aloqaning murakkab inshootlarini loyihalash ikki bosqichda olib boriladi (ikki bosqichli loyihalash). Bunda ishchi loyiha xujjati loyihaning muhim xujjati hisoblanadi.

Loyiha bir qator zarur bo'limlardan iborat:

- umumiy tushintirish yozuvi;
- ishlab chiqarish texnologiyasi;
- qurilish qarorlari;
- qurilishni tashkil etish;
- aholi turar joylarining qurilishi;
- ishchi xujjatlarni tutish va b.q.

«Umumiy tushintirish yozuvi» loyihalashga boshlang'ich ma'lumotlarni, texnik-iqtisodiy hisoblarning bajarilish natijalarini va ularni eng yaxshi an'anaviy va xorijiyliklarning ko'rsatkichlari bilan taqqosiy farqini ko'rsatadi. Bu bo'limda materiallar, yoqilg'i-energetik va mehnat resurslariga ehtiyoj va ularni ta'minlash yo'llari haqida ma'lumotlar; ob'ektning tarkibi, qurilish tarkibi, ishga tushirish komplekslari va asosiy ishlarning xajmi, muxandislik tarmoqlari bo'yicha qarorlar, ekologiya va atrof muhit himoyasi va favqulodda holatlar haqidagi ma'lumotlar bayon etiladi. Loyiha qarorlarining boshqa tashkilotlar bilan muvofiqlik masalalari va talab, norma, qoida, yo'riqnoma va standartlarning kelgusi qurilishning barcha jabhalarida rioya etilishi, albatta yoritilgan bo'lishi kerak. Bu xujjatga quyidagi asosiy chizma va sxemalar ilova qilinadi: mavjud va loyihalashtirilayotgan tashqi kommunikatsiyalar va muxandislik tarmoqlari ko'rsatilgan holat plani; mavjud, loyihalashtiriladigan yoki rekonstruksiya qilinadigan inshootlar, shuningdek chetlashtirish, olib tashlash lozim bo'lgan inshootlar va b.q. aks ettirilgan asosiy plan sxemasi, plani va trassaning bo'ylama profili.

«Ishlab chiqarish texnologiyasi» bo'limi ishlab chiqarish - hisob dasturiga, texnologik jarayonlarni avtomatlashtirish va mexanizatsiyalash va ishlab chiqarishni boshqarish bo'yicha qarorlarga ega. Loyihaning bu qismi, uzatish liniyalarining uskunalarini texnik ekspluatatsiyasini tashkil etishda axborot texnologiyalarining keng ko'llanilishi bo'yicha prinsipial, asosiy qarorlarni aks ettiradi. Bo'lim texnologik jarayonlarini

avtomatlashtirish va mexanizatsiyalashning asosiy, prinsipial sxemalari va energiya bilan ta'minlash va aloqani tashkil etishning tuzilish sxemalari bilan uzatib beriladi.

«Qurilish qarorlari» bo'limi asosiy qurilish qarorlarining qisqacha ta'rifi va asoslariga, ularning zamonaviy qurilish texnologiyalariga mosligiga, shuningdek elektr, portlash, yong'in xavfsizligi, inshootlarni turli xildagi korroziyalardan himoyalash bo'yicha, suv bilan ta'minlash, kanalizatsiya, issiqlik, xavoni ventilyatsiyasi - shamollatish bo'yicha tadbirlar ro'yxatiga, shuningdek favqulodda holatlar bo'yicha qarorlarga ega.

«Qurilishni tashkil etish» bo'limida loyiha xujjatlarining tarkibi, xajmi va tuzilishi, uning qurilishni tashkil etish loyihalarini va ishlab chiqarish loyihalarini tuzish bo'yicha yo'riqnomalarga mosligi ko'rsatiladi.

«Aholi turar joylarining qurilishi» bo'limida bu turdagi qurilishning xajmi va loyihalashtirilayotgan optik uzatish liniyasining ishga tushirish komplekslarini foydalanishga kiritishni ta'minlovchi, qurilish ketma-ketligi o'rnatilgan detalli rejalashtirish bo'yicha qarorlar asoslanadi.

Loyiha tugashida smeta xujjatlari va loyiha pasporti tuziladi, bunda aholi turar joylarining qurilishi chiqarib tashlanadi.

«Ishchi xujjatlar» bo'limi o'zida ikki bosqichli loyihalashda loyiha xujjatini namoyon etib, qurilish narxini aniqlash va smeta hisoblari to'plamini va smetani tuzish bo'yicha uslubiy ko'rsatmalar, yo'riqnomalar va standart talablariga mos holda bajarilgan, ishchi chizma va smetalarni o'z ichiga oladi. Ishchi xujjatga qurilish montaj ishlarini ishlab chiqish, texnologik, energetik, transport uskunalarini va ular bilan bog'liq kommunikatsiyalarni o'rnatish chizmalari ilova qilinadi.

Loyiha xujjatlarini tayyorlash, uzatish liniyasining kelgusi qurilish sharoitlarini va ularning uskunalarini foydalanishga tushirish sharoitlarini to'liq o'rganish maqsadida, izlanish ishlari majmuasini o'tkazishni talab etadi. Izlanish ishlari iqtisodiy va texnik ishlarga bo'linadi.

Iqtisodiy izlanishlar qurilish ko'zda tutiladigan joyning iqtisodiyotini, xom ashyo va yoqilg'i olish imkoniyatlarini o'rganish, qurilishni mahalliy materiallar bilan ta'minlash va bo'lajak korxonaning qurilishi va ekspluatatsiyasida ishlash uchun mahalliy

aholini jalb etish maqsadida olib boriladi. Iqtisodiy izlanishlar faoliyatdagi inshootlar haqidagi va ularni kengaytirish yoki rekonstruksiya qilish imkoniyatlari haqidagi axborotlarni beradi.

Texnik muxandislik izlanishlari bo'lajak qurilish rayonining topografiya, geologiya, metrologiya va boshqa sharoitlarini, ya'ni uning tabiiy sharoitlarini o'rganish uchun olib boriladi. Bu izlanishlar, bu ishlarni bajarish uchun litsenziyaga ega bo'lgan, maxsus izlovchi tashkilot tomonidan bajariladi.

Loyiha va ishchi loyiha tasdiqlangunga qadar, mos keluvchi institutlarga ekspertiza va himoyaga beriladi. Tasdiqlanish xujjatlari bilan birgalikda loyiha – smeta xujjatlarining to'liq majmuasi buyurtmachi va bosh loyihachida saqlanadi. Yangi tarmoqlarni yaratishda va mavjudlarini modernizatsiyalashtirishda kompyuterli loyihalash va modellashtirish usullaridan foydalanish, raqobatga qobiliyatli tarmoqlarni qurishga zamonaviy yondashuv hisoblanadi.

Boshlang'ich ma'lumotlarni o'zgartirishning soddaligi, grafik ko'rinishda tasvirlangan ma'lumot va natijalarning aniqligi, natijalarni olish tezligi, loyiha xujjatlarining olinadigan formalarining turliligi sababli loyihalashning zamonaviy kompyuterli usuli qo'lda bajarilgandagisidan foydaliligi va qulayligi bilan farqlanadi. Bundan tashqari, kompyuterli loyihalash optimallashtiruvchi algoritmarni ishlatish afzalliklari hisobiga loyiha qarorlarining optimallashtirishini ta'minlaydi.

Loyihalashning asosiy bosqichlari

Uzatish liniyasini loyihalashda quyidagi masalalar echiladi:

- uzatish liniyasining trassasini tanlash;
- oxirgi va oraliq punktlarning ijtimoiy-iqtisodiy xarakteristikalarini;
- talab etiladigan kanallar sonini asoslash va hisoblash;
- regeneratsiyalash punktlarini joylashtirish va boshqalar.

Uzatish liniyasining trassasini tanlash texnologik loyihalash normalariga muvofiq izlanish jarayonlarida amalga oshiriladi. Trassa uzunligi minimal bo'lishi kerak. Trassaning shaxardan tashqaridagi qismi avtomobil yo'llari bo'ylab, o'pirilish va cho'kish bo'lmazligi uchun qishloq xo'jaligi uchun mo'ljallanmagan erlar, shuningdek kemiruvchi xayvonlar bo'lmagan erlar bo'ylab o'tishi kerak. Loyihalashda turli xildagi er osti kommunikatsiyalarning, yuqori voltli liniyalarning va elektr temir yo'llarining joylashuvini hisobga

olish kerak. Trassaning mos keluvchi ob'ektlar bilan kesishuvi va yaqinlashuvini loyihalash normativ xujjatlarda aniqlanadi.

Aholi punktlarida trassa asosan mavjud yoki loyihalashtirilayotgan kabelli kanalizatsiya bo'ylab, tonnellarda va ayrim xollarda erda o'tishi kerak. Trassa bo'ylab punktlar orasidagi masofa izlanishlar jarayonida aniqlanadi. Bunda trassaning bir necha variantlari tanlanadi, ular eng afzal variant deb tanlangan uzatish liniyasining xolat plani ko'rinishida aks ettiriladi.

Elektrik hisoblashlar uchun punktlar orasidagi masofa, trassaning to'g'ri emasligini va ularni aylanib o'tishda kabel bukilishlarini hisobga oluvchi, kabel uzunligi bo'yicha aniqlanadi. Odatda kabellar uzunligi mos keluvchi trassa uchastkasi uzunligidan oshadi. Normativ zapaslar mos keluvchi uchastka uzunligidan o'rtacha 2% ni tashkil etadi.

Kabelli liniya trassasi shunday tanlanadiki, xamma punktlarni (loyihalash topshirig'ida ko'zda tutilgan) aloqa bilan ta'minlashda inshootlarga va uzatish liniyasining ekspluatatsiyasiga sarf etiladigan xarajatlar minimal bo'lishi kerak.

Trassaning optimal variantini tanlash quyidagi me'zonlar bo'yicha olib boriladi:

- qurilishga minimal kapital xarajatlari;
- minimal ekspluatatsiya xarajatlari;
- xizmat ko'rsatish qulayligi.

Ko'rsatilgan me'zonlarni qoniqtirish uchun trassa berilgan punktlar orasida eng qisqa masofa va qurilishni murakkablashtiruvchi va qimmatlashtiruvchi, to'siqlarning eng kam soniga ega bo'lishi kerak. Agar kabelni avtomobil yo'li bo'ylab yotqizish, trassani juda ham uzunlashtirib yuborsa, trassa kabelini to'g'rilashga ruxsat etiladi. Suvli to'siqlarni kesib o'tish uchun eng kichik kenglikka ega joy tanlanadi.

Ko'rilgan variantlarning qiyosiy taxlil natijalari jadval ko'rinishida rasmiylashtiriladi, tomonlar yo'nalishi va masshtab ko'rsatilgan kartadan nusxa olinadi va shartli belgilar qo'yiladi. Oxirgi va oraliq punktlarning ijtimoiy-iqtisodiy xarakteristikalarini, tanlangan oxirgi va trassada joylashgan oraliq punktlar orasida aloqaning tashkil etilishini asoslash uchun zarur.

Turli xildagi telekommunikatsiya xizmatlari bo'yicha tanlangan punktlarning bir-biriga intilishi, punktlarning ijtimoiy-iqtisodiy va ma'daniy rivojlanganlik darajasiga, birinchi navbatda aholi soniga bog'liq. Shuning uchun xarakteristikada oxirgi ro'yxatga olish ma'lumotlari bo'yicha aholi soni, og'ir va engil ishlab chiqarish korxonalari haqidagi moliyaviy-kredit va investitsiya muassasalari, ma'daniyat markazlari, ilmiy tadqiqot markazlari va o'quv yurtlari, transport va aloqa, savdo-sotiq va b.q. haqidagi ma'lumotlar keltiriladi.

Keltirilgan ma'lumotlar asosida belgilangan aholi punktlarining bir-biriga intilish darajasi haqida, ularni turli xildagi telekommunikatsiya xizmatlari bilan ta'minlash haqida xulosa qilinadi.

Berilgan aholi punktlarini bog'lovchi, kerakli kanallar sonini hisoblash va asoslash, bu punktlardagi aholining soniga va aholining ayrim guruhlarining o'zaro aloqa va turli xildagi xabarlar bilan almashinuviga qiziquvchanlik darajasiga bog'liq. Istalgan aholi punktidagi aholi soni oxirgi ro'yxatga olishning statistik ma'lumotlari asosida aniqlanishi mumkin. Istiqbolli loyihalashda aholining o'sishini e'tiborga olish kerak. Istiqbolli loyihalash yili hozirgi vaqtga nisbatan 5...10 yil oldinga qabul qilinadi.

Bir abonent hosil qiladigan solishtirma yuklamani, berilgan yo'qotishlar qayd etilgan ulanishlarni va loyihalashtirilayotgan magistralniig ma'lum punktlarida telefon zichligini hisobga olish bilan dastlabki telefon kanallarining soni aniqlanadi.

Turli vazifali telekommunikatsiyalarni (ovozli signallarni uzatish, telegraf aloqasi, ma'lumot signallarini uzatish, televidenie kanallari va mobil radio aloqa roumingini tashkil etish, internet tarmog'iga va h.k.) tashkil etish uchun zarur bo'lgan kanallar soni, ma'lum punktlarning telefon kanallari soni va telefon zichligi orqali ifodalanishi mumkin. Telekommunikatsiya kanallarining umumiy soni ARK-asosiy raqamli kanal yoki TCHK-tovush chastotali kanallarining ekvivalent sonidan kelib chiqadi.

Uzatish tizimi va kabel turini tanlash birlamchi telefoniya tarmog'ini quyidagi yo'nalishlar bo'yicha rivojlantirishni e'tiborga olgan holda amalga oshiriladi:

-kabel va raqamli uzatish tizimlarini qo'llash bilan yangi magistralarni qurish;

-mavjud magistralarni optik kabellarni va optik uzatish tizimlarini qo'llash bilan rekonstruksiya qilish.

RUT va kabel turini tanlash uchun loyihalashtirilayotgan raqamli uzatish liniyasining vazifasi, talab etiladigan aloqa masofasi, oxirgi va oraliq punktlar orasida talab etiladigan raqamli oqimlar soni haqidagi axborot kerak.

Rekonstruksiya qilish xolatida aloqani tashkil etishning variantini tanlash va turli tipdagi TOUT qo'llanilganda bir turdagi kabel uchun kapital va yillik ekspluatatsiya xarajatlarini taqqoslash asosida olib boriladi.

Kabel markasi trassadagi urning xarakteri, kabelni yotqizish usuliga bog'liq holda tanlanadi. Barcha hollarda RUT kanal va traktlarining zaruriy sifat ko'rsatkichlarining saqlanilganligi, raqamli uzatish liniyasining iqtisodiy samaradorligi eng asosiy shart hisoblanadi.

Regeneratsiyalash punktlarini joylashtirish quyidagi talablarni hisobga olgan holda amalga oshiriladi. Raqamli liniya trakti oxirgi punktlar (OP) ning uzatuvchi va qabul qiluvchi liniya trakti uskunolari (LTU) dan, xizmat talab qiladigan punktlari (XTQyRP) dan, talab qilmaydigan regeneratsiyalash punktlari (XTQyRP) dan, regeneratsiyalash uchastkalari (RU) dan va optik kuchaytirish punktlari (KU) dan tarkib topgan.

XTQyRP OP yoki XTQRP dan distansion manba bilan ta'minlanadi, shuning uchun ularni imkon qadar tejimli qilib tayyorlashga intilinadi.

XTQyRP ni ta'minlovchi OP va XTQRP orasidagi masofa distansion ta'minot (DT) masofasi deyiladi va har bir RUT ning pasport ma'lumotlaridan biri hisoblanadi.

OP-XTQyRP, XTQyRP-XTQyRP yoki XTQyRP-XTQRP orasidagi masofa regeneratsiyalash uchastkasi uzunligi deyiladi. RUT ning optik kabeli RU uzunligi uning energetik potensialiga, ya'ni maksimal qoplanadigan so'nish va optik kabel turiga bog'liq [123].

Dispersiya buzilishlari uncha katta bo'lmagan hollarda va to'liq uzunligi bo'yicha ajratilgan TOUTda kuchaytirish punktlarini qo'llash maqsadga muvofiq. Kuchaytirgichlarning soni shovqindan himoyalanganlik talablaridan kelib chiqqan holda chegaralanadi. Buzilishlar darajasi yuqori, shovqindan himoyalanganlik talab

doirasida bo'lmaganda liniya traktida kuchaytirish punktlari bilan birgalikda ma'lum masofalardan keyin regeneratsiyalash punktlarini ham joylashtirish zarur.

Tolali optik uzatish liniyalarini loyihalash bo'yicha asosiy qoidalar

Tolali optik uzatish liniyalari (TOUL) ni loyihalashda, istiqbolli loyihalash bilan bog'liq, ishonchlilikni oshirish, ekspluatatsiya va kapital xarajatlarni kamaytirish maqsadida, quyidagilarni ko'zda tutish tavsiya etiladi:

- xattoki kichik o'tkazish qobiliyatli tarmoq uchastkalarida ham faqat bir modali optik tolali (OT) optik kabellarni ishlatish;
- rezerv OTli optik kabellarini qo'llash;
- talab etilgan o'tkazish qobiliyatli qismda boshlang'ich ma'lumotlarga nisbatan, liniya traktining yuqoriroq tezlikli apparaturasini qo'llash.

Bir modali optik tolali optik kabellarning yaratilishi va kelgusi mukammallashuvi, B*L ifodaning chegaraviy qiymatini keskin oshirish imkonini yaratdi, bu erda V - uzatish tezligi, L - regeneratsiyalash uchastkasi uzunligi. Masalan, eng arzon OTli optik kabel uchun L=100 km uzunlikda chegaraviy uzatish tezligi STM-16 (30 ming ARK) sathga mos keladi.

Rezerv OTli optik kabellarni yotqizishning maqsadga muvofiqligi bir necha afzalliklarga ega. Birinchidan, bu axborotlarni fazaviy zichlashtirish deb ataluvchi, istiqbolli rivojlanishga TOUL ning o'tkazish qobiliyati bo'yicha zahirani ta'minlaydi. Bunda optik kabeldagi OTlar sonining 10 marta ortishi TOUL inshootlariga xarajatning atiga 20 % ga oshishiga olib keladi. Ikkinchidan, bu TOUL ning ishlash ishonchliligini oshirish uchun rezerv optik toladan samarali foydalanishni ta'minlaydi. Bunda rezerv OTlar ishlatilishi mumkin:

- ishchi OT o'rnini bosish uchun, agarda ishchi OT ning parametrlari kabelni yotqizish yoki ekspluatatsiya qilishda ruxsat etilgan chegaralar doirasidan chiqib ketgan bo'lsa;
- SRI TOUL uchun rezerv multipleksorlash ulanishini tashkil etish uchun;
- aloqani uzmasdan optik reflektometrni rezerv OT ga ulash yo'li bilan muntazam rivojlanuvchi rad etishlar sababini

aniqlash va lokalizatsiya qilish uchun, agar optik kabeldagi hamma OT lar uchun bu sabab umumiy hisoblangan (masalan, urning siljishidan optik kabelda bukilishlar yuzaga kelishida, ulovchi muftalar buzulganda va h.k.).

Talab etilgan o'tkazish qobiliyatiga nisbatan liniya traktining yuqori tezlikli, oxirgi apparatini qo'llash maqsadga muvofiq.

SRI TOUL loyihalashda ham yuqori o'tkazish qobiliyatli apparaturani qo'llashni ko'zda tutish maqsadga muvofiq. STM-16 sinxron multipleksor narxi STM-4 multipleksor narxidan 30-40 % ga qimmat, bu ham yana TOUL inshootlariga to'liq xarajatlarni bir necha foizgagina oshishiga olib keladi. Biroq SRI apparaturasining qo'shimcha o'tkazish qobiliyati, istiqbolli rivojlanishda uzatish tezligini oshirish zaruriyati talab etilgunga qadar, tarmoqda rezervlashlarni ishlatish hisobiga ishonchlilik ko'rsatkichlarini oshirish uchun samarali ishlatilishi mumkin.

Shuningdek, TOUL ni loyihalashda quyidagilarni nazarda tutish kerak:

- mahalliy birlamchi tarmoqlarda (bir kuchaytirish uchastkali) TOUL ni tashkil etish;
- regional va magistral birlamchi tarmoqlarda ikki qo'shni tarmoq tugunlari o'rtasida (bir kuchaytirish uchastkali) TOUL uchastkasini tashkil etish, buning uchun zaruriyat tug'ilganda optik kuchaytirgichlar (OK) ni qo'llash;
- imkoniyatlariga va vazifasiga bog'liq holda axborotlarni turli zichlashtirish usullarini to'liq uzunligi bo'yicha, vaqt bo'yicha va fazoviy zichlashtirish usullarini moslashuvchan ishlatish.

Darhaqiqat, TOUT komponentlarining zamonaviy darajasi, birinchi avlod (Fabri - Pero lazerlari) nurlanish manbalari qo'llanilgan, etarlicha arzon va kompakt liniya traktining oxirga apparaturalari (LTA) asosidagi mahalliy birlamchi tarmoqlarda bog'lovchi liniyalarni tashkil etishda, bir yoki bir necha shaffoflik darchalarida ishlashda barcha mumkin bo'lgan masofalarni bir kuchaytirish uchastkasi bilan qoplash imkonini beradi.

Bugungi kunda LTA ni ishlab chiqaruvchi ko'pgina kompaniyalar, aloqa vositalari bozorini ko'zda tutgan holda, qoida bo'yicha, qoplanadigan so'nishga bog'liq holda (regeneratsiyalash uchastkasi uzunligi 10 dan 150 km gacha), yagona konstruksiyada,

lekin turli narxlarda LTA ning butun bir oilasini ishlab chiqaradi, bu uning aloqa oeratorlari tomonidan tarmoqlarda qo'llanilishi bo'yicha yuqori moslashuvchanlikka olib keladi.

Optik kuchaytirgichlar (OK) ning yaratilishi va ularning LTA tarkibida qo'llanilishi regeneratsiyalash uchastkasining maksimal chegaraviy qiymatini oshirish imkonini berdi, ya'ni ko'pgina hollarda TOUL trassasini zona ichi – regional va magistral birlamchi tarmoqlarda xamroh tarmoq tugunlari orqali loyihalash imkoni yuzaga keldi.

OK ning kuyidagi uch turi aniqlangan:

OK₁ – to'yinish quvvatining katta qiymatiga ega uzatish OK, bevosita LTA ning optik uzatgichi (OUz) chiqishida signal quvvatining sathini oshirish uchun ishlatishga mo'ljallangan;

OK₂ – juda kichik shovqin sathiga ega qabul qilish OK, bevosita LTA ning optik qabul qilgichi (OQq) kirishida uning sezgirlikini oshirish uchun ishlatishga mo'ljallangan;

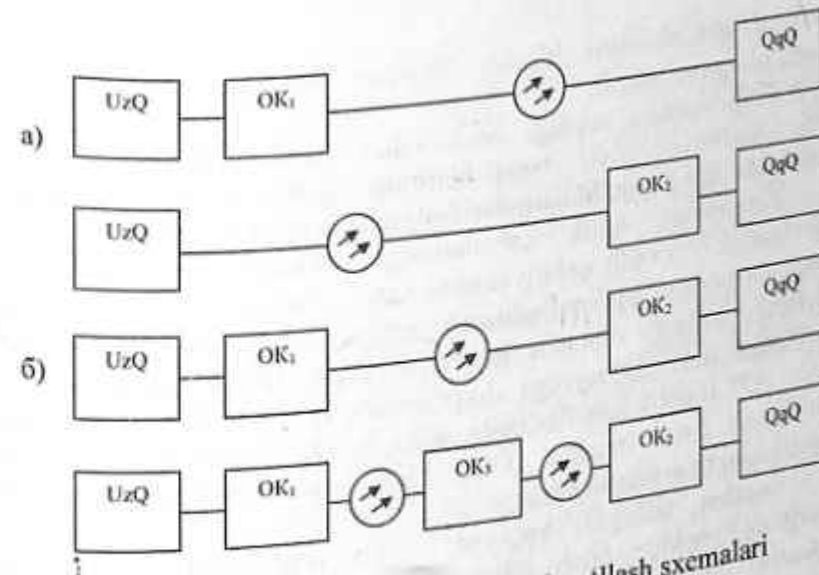
OK₃ - kichik shovqin sathiga ega oraliq OK, uni regeneratsiyalash uchastkasi uzunligini oshirish uchun passiv tolaning uchastkalari orasida o'rnatish tavsiya etiladi.

Turli OK ning qo'llash mumkin bo'lgan sxemalari 12.1-rasmda keltirilgan.

OK qo'llanilgan LTA ning optik ulanish joylari regeneratsiyalash uchastkasi uzunligining masofasi bo'yicha V (very – juda uzun) va U (ultra – eng katta uzunlikli) turdagi ulanish joylari tasniflangan. V turdagi ulanish joylari $UzOK + OK_1 + QqOK$ sxemasiga yoki $UzOK + OK_2 + QqOK$ sxemasiga U turdagi ulanish joylari esa $UzOK + OK_1 + OK_2 + QqOK$ sxemalariga mos keladi.

OK ni LTA tarkibida qo'llash imkoniyati TOUL xizmat talab qilmaydigan regeneratsiyalash punktlari (XTQyRP) ning elektr ta'minot muammolarini yuzaga kelmaslik imkonini beradi.

Yuqori tezlikli SRI TOUT ning birinchi avlodlarini tadbqiq etish malakasi ko'rsatgandek, TOUL ni loyihalashda va uni tashqi ruxsat etilmagan ulanishlardan himoyalash zaruriyatiga bog'liq holda imkon qadar XTQyRP inshootlarini qo'llamaslik ham maqsadga muvofiqdir.



12.1-rasm. Turli optik kuchaytirgichlarni qo'llash sxemalari

12.1-rasm. Turli optik kuchaytirgichlarni qo'llash

Regional va magistral birlamchi tarmoqlarda bir kanalli TOUT uchun OK₃ ni qo'llash ko'pgina xolatlarda maqsadga muvofiq. chunki XTQyRP ning elektr ta'minoti muammolarini xal etish imkonini bermaydi (12.2, v-rasmdagi sxemada masofa OK₃ kiritadigan qo'shimcha shovqin tufayli 12.2, g-rasmda xar doim bir kuchaytirish uchastkasiga ko'p). Boshqa tomondan, mavjudligi bo'yicha OK₂ + OK₁ zanjirni texnologik namoyon etuvchi OK₃ tan narxi bo'yicha STM-4 sathidagi SRI regeneratoring narxi bilan o'lganadigan darajadadir. Shu sababli juda past tezlikli tizimlar uchun (regeneratorli) XTQyRP ni tashkil etish, xizmat talab qilmaydigan (OK₃ li) kuchaytirish punkti (XTQyKP) ni tashkil etishga nisbatan iqtisodiy jihatdan ustun hisoblanadi.

Ushbu tashkil etish samaradorligi, ulardan xattoki bir tashkil etish punktlarida foydalanishda ya'ni barcha

Biroq, OK₃ ni ishlatish samaradorligi, ulardan xattoki bir kanalli TOUT uchun optik tarmoqqa ulanishlarda foydalanishda ya to'liq uzunligi bo'yicha zichlashtirilgan TOUT uchun barcha telekommunikatsiya tarmoqlari uchastkalarida keskin ortadi.

Aloqa tarmoqlarining kelgusi rivojlanishida loyihalashda (o'tkazish qobiliyati bo'yicha) an'anaviy tarzda butun rivojlanish davri rivojlanishning katta (liniya - kabeli inshootlarni almashtirish, ya'ni yangi uzatish liniyasini qurish) va kichik (LTA ni eng yuqori

tezlikka almashtirish) hisobiy davrlari deb ataladigan alohida bosqichlarga ajratiladi.

Vaqt omilini hisobga olish bilan texnik vositalar tarkibini optimallashtirish bu bosqichlarning har birida xarajatlar samaradorligining taxlil natijalari bo'yicha amalga oshiriladi.

Zamonaviy optik kabellarning imkoniyatlari TOUL ni jihozlashda o'tkazish qobiliyatining katta zahirasi ta'minlaydi, bu aloqa tarmog'ini optimallashtirish jarayonida rivojlanishning katta davrlarini hisobga olmaslik imkonini beradi. Boshqacha aytganda, rivojlanish davri mobayniga aloqa tarmog'ini loyihalashda shunday turdagi OT li optik kabellar tanlanadiki, bu OT loyihalashtirilayotgan rivojlanish davri oxiriga TOUL ning talab etiladigan o'tkazish qobiliyatini ta'minlashi kerak.

Bundan tashqari, yuqorida aytib o'tilgandek, rivojlanish davrining boshida talab etilgan o'tkazish qobiliyatiga nisbatan o'tkazish qobiliyatining katta zahirasi ega bo'lgan apparaturani qo'llash uchun iqtisodiy asoslangan, qator shart – sharoitlar mavjud.

Natijada zamonaviy TOUL asosidagi taomoqni loyihalashda butun rivojlanish davrida texnik vositalar tarkibini optimallashtirish jarayoni yuqori darajada soddalashadi, chunki vaqt omili hisobga olinmay, mohiyati bo'yicha kapital xarajatlarni optimallashtirish amalga oshiriladi. Vaqt omili rivojlanish jarayonida TOUL ning o'tkazish qobiliyatini bosqichma – bosqich oshirishda namoyon bo'ladi, bu TOUL ni qurishda boshlanishiga nisbatan kapital xarajatlari (va mos ravishda ekspluatatsiya xarajatlari) ning haqiqatdan juda kichik darajada ortishi bilan kuzatiladi.

Lekin, aynan ana shu istiqbolli rivojlanishga TOUL ni loyihalashda axborotlarni zichlashtirishning barcha mumkin bo'lgan usullaridan foydalanishni shartlaydi.

Mohiyati bo'yicha, zamonaviy TOUL uchun texnik vositalar tarkibini optimallashtirish bu birinchi navbatda

$$R_{opt} = n \cdot m \cdot B, \quad (12.1.)$$

ifoda bilan aniqlanuvchi, o'tkazish qobiliyati bo'yicha optik kabelning optimal resursini tanlashdir. Yuqoridagi munosabatda n – OT soni, shuningdek, rezerv tolalar soni ham; V – ma'lum L uzunlikli regeneratsiyalash uchastkasidagi chegaraviy uzatish tezligi

(OT turi, apparatura xarakteristikalarini va $B \cdot L$ ko'paytmani oshirish imkonini beruvchi boshqa imkoniyatlar bilan aniqlanadi); m – ma'lum B va L dagi optik kanallarning chegaraviy soni (OT turi, apparatura xarakteristikalarini va to'liq uzunligi bo'yicha ajratilgan TOUT uchun xarakterli bo'lgan nohiziqli effektlar ta'sirini kamaytiruvchi boshqa imkoniyatlar bilan aniqlanadi).

12.2. Uzatish aloqa liniyasi uchastkalarining uzunligini hisoblash va loyihalash

12.2.1. Tolali optik uzatish liniyasi uchastkasini hisoblash

Tolali-optik uzatish liniya (TOUL) li uchastkalar uzunliklarini XTQyRP sonini kamaytirish uchun iloji boricha katta tanlash kerak. Uchastkaning maksimal uzunligi ikki marta hisoblanadi: fizik uzatish muhitidagi yo'qotishlardan kelib chiqqan holda va bu muhitning dispersiya xususiyatlariga bog'liq holda.

Uzatish liniyalari ni loyihalashda ishlatiladigan, tolali optik kabellarning optik tolalari ning asosiy parametrlari 12.1-jadvalda keltirilgan, unda quyidagi belgilashlar qabul qilingan; α – OT ning so'nish koeffitsienti, dB/km; λ – optik nurlanishning to'liq uzunligi, mkm; τ – OT ning xromatik dispersiya koeffitsienti, ps/nm·km.

Apparaturaning texnik pasporti (sertifikati) da odatda quyidagi parametrlar ko'rsatilgan:

1. Optik signalning uzatish tezligi V , Mbit/s.
2. Nurlanish manbaini to'liq uzunligi λ , mkm.
3. Nurlanish manbai turi.
4. Nurlanish manbaini spektr kengligi $\Delta\lambda$, mkm.
5. Nurlanadigan quvvat sathi r_{uz} , dBq.
6. Qabul qilishning minimal sathi $r_{qz min}$, dBq.
7. Qabul qilishning maksimal sathi $r_{qz maks}$, dBq.
8. Optik traktning qo'shimcha yo'qotishlari ΔA , dB.

Nurlanadigan quvvat sathi ekspluatatsiya muddatining boshida qabul qiluvchi – uzatuvchi optik modul QqUzM chiqishidagi (10.2-rasm) o'rtacha quvvatga mos keladi. Vaqt o'tgan sari nurlanish manbai eskiradi, nurlanadigan quvvat kamayadi. Bu kamayish yoki qo'shimcha yo'qotishlar ΔA yoki minimal nurlanadigan quvvat sathi

($p_{uz} 0 \text{ min, dBq}$) ni (xizmat muddati oxirida) ko'rsatish bilan e'tiborga olinadi.

Qabul qilishning minimal sathi $p_{qq \text{ min}}$ regeneratordagi xatolik ko'effitsientining pasportda ko'rsatilgandan yuqori bo'lmagan miqdorini xarakterlaydi. Agar xatolik ko'effitsienti loyihalash jarayonida aniqlansa, $p_{qq \text{ min}}$ ni aniqlash kerak.

Qabul qilishning maksimal sathi $r_{qq \text{ maks}}$ qabul qilishning shunday sathiga mos keladiki, bu sathning oshishi fotoqabul qilgichning ortiqcha yuklanishiga va berilgan xatolik ko'effitsientining ortishiga olib keladi. Ba'zan $r_{qq \text{ maks}}$ o'rniga $QqUzM$ qabul qiluvchi optik modulining kuchayishni avtomatik rostlovi (KAR) ning chegaralari ΔA_{KAR} , dB ($QqUzM$ dinamik diapazoni) beriladi.

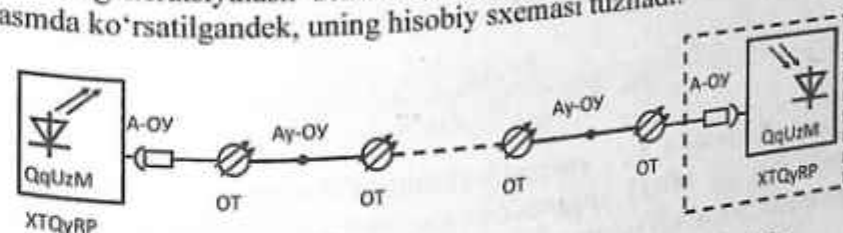
12.1-jadval

ITU-T tavsiyalariga javob beruvchi OT	λ_1 , mkm	α , dB/km	ΔF , MGs/km	τ , ps/nm·km
G.651	0,85	2,5...3,0	500	-
	1,31	0,5...0,7	800	
G.652	1,31	0,35...0,5	-	2,5...3,5
	1,55	0,22...0,25	-	17...19
G.653	1,31	0,35...0,5	-	17...19
	1,55	0,22...0,25	-	2,5...3,5
G.654	1,55	0,17...0,19	-	17...19
G.655	1,55	0,22...0,25	-	6...8

Uzatish sathi va qabul qilishning minimal sathi orasidagi farq tizimning energetik potentsiali deb ataladi

$$E = p_{uz} - p_{qq \text{ min}} \quad (10.1)$$

Regeneratsiyalash uchastkasi uzunligini aniqlash uchun 10.2-rasmda ko'rsatilgandek, uning hisobiy sxemasi tuziladi.



12.2-rasm. RTOUT regeneratsiyalash uchastkasining hisobiy sxemasi

Rasmda quyidagi belgilashlar qabul qilingan:
A-OY – ajraladigan optik ulagich; XTQyRP – xizmat talab qilmaydigan regeneratsiyalash punkti; QqUzM – qabul qiluvchi, uzatuvchi optik modul, optik signalni elektr signalga o'zgartiradi, elektr signalning parametrlarini qayta tiklaydi va uni optik signalga o'zgartiradi (optik traktning oxirgi apparaturasi); Ay-OY – ajralmaydigan optik ulagich; OT – optik tola. 12.2-rasm bo'yicha regeneratsiyalash uchastkasining so'nishi quyidagiga teng:

$$A_{\text{REG}} = 2 \cdot A_A + q \cdot A_{\text{AU}} + \alpha \cdot l_{\text{RU}} + A_t + A_v, \text{ dB}, \quad (12.2)$$

bu erda: l_{RU} – regeneratsiyalash uchastkasi uzunligi; A_A – ajraladigan optik ulagichning so'nishi, 0,5...1,5 dB ga teng; A_{AU} – ajralmaydigan optik ulagichning so'nishi, 0,05 dB ga teng; α – optik tolaning so'nish ko'effitsienti, dB/km; A_t – raqamli TOUT, shuningdek OT parametrlarining harorat o'zgarishlariga ruxsat etilgan qiymati, tipli raqamli TOUT (RTOUT) uchun 0,5...1,5 dB ga teng; A_v – vaqt o'tishi (eskirish, degradatsiya va b.q.) bilan RTOUT elementlari parametrlarining yomonlashuviga ruxsat etilgan qiymat, optik nurlanish manbai va qabul qilgichining turi va ularning kombinatsiyasiga bog'liq va $A_v = 2...6$ dB ga teng.

(10.2) da q – ajralmaydigan optik ulagichlar sonidan tashqari hamma kattaliklar ma'lum. q soni optik kabelning qurilish uzunliklari l_{qur} sonidan bittaga kam:

$$q = l_{\text{RU maks}} / l_{\text{qur}} - 1. \quad (12.3)$$

q qiymatni (10.2)ga qo'yib va murakkab bo'lmagan o'zgartirishlarni bajarib, quyidagiga ega bo'lamiz:

$$I_{py, max} = \frac{\mathcal{P} + A_{AB} - 2A_A - \mathcal{P}_2}{\alpha + A_{AB}/I_{exp}}, KM, \quad (12.4)$$

bu erda $E_e = A_t + A_v$ – energetik ekspluatatsion zahira, mos ravishda optik tola va TOUT apparaturasi elementlarining eskirish effektini kompensatsiyalash uchun zarur.

QqUzM ning qabul qiluvchi qurilmalari kuchayishni avtomatik rostdash KAR tizimlari bilan jihozlanadi. KAR rostdash chegarasiga ega bo'lib, u regeneratsiyalash uchastkasining minimal loyihaviy uzunligini aniqlaydi:

$$I_{py, min} = \frac{\mathcal{P} + A_{AB} - 2A_A - \mathcal{P}_2 - A_{dipV}}{\alpha + A_{AB}/I_{exp}}, KM, \quad (12.5)$$

Agar mahalliy sharoitlarga mos holda uchastka uzunligi minimal uzunlikdan qisqa bo'lishi kerak bo'lsa, QqUzM kirishida optik attenuator joylashtiriladi. Shuningdek loyihalashda optik toladagi dispersiya bo'yicha ham regeneratsiyalash uchastkasining chegaraviy uzunligi l_{rub} hisoblanishi kerak.

Ko'p modali (KM) optik tola (XEI G. 651 tavsiyalariga mos keluvchi) uchun l_{rub} optik tolaning keng polosaliligi ΔF va raqamli signallarni uzatish tezligi V (Mbit/s) bilan aniqlanadi:

$$l_{rub}^{km} \leq 2 \cdot \Delta F / B_{KM}, \quad (12.6)$$

Bir modali (BM) OT uchun l_{rub} nafaqat uzatish muhiti (OT) ning parametrlariga, balki apparatura (QqUzM) ning xarakteristikalariga ham bog'liq:

$$l_{rub}^{bm} \approx E \cdot 10^6 / \tau \cdot \Delta \lambda \cdot B, km, \quad (12.7)$$

bu erda τ – OT ning xromatik dispersiya koeffitsienti (9.1-jadval); $\Delta \lambda$ – optik nurlanish polosasining o'rtacha kvadratik kengligi, nm; yorug'lik diodlari (YOD) uchun 24... 40 nm ga va yarim o'tkazgichli lazer diolar (LD) uchun 0,2... 5 nm ga teng. E qiymati YOD va bir modali LD uchun 0,306; STM – 16 trakti uchun 0,491; ko'p modali LD uchun 0,115 deb olingan.

Agar spektr kengligi – 20 dB ($\Delta \lambda_{20}$) sathda aniqlangan bo'lsa, u holda o'rtacha kvadratik kenglik $\Delta \lambda = \Delta \lambda_{20} / 6,07$ singari aniqlanadi.

Raqamli tolali optik uzatish tizimining liniya trakti parametrlarini baholash

Optik nurlanishni qabul qilish sathi regeneratsiyalash uchastkasi uzunligi bo'ylab energetik potensialning taqsimlanishi, regeneratorning qaror qabul qilish nuqtasida signalni xalaqitlardan himoyalanganligi, QqUzM ning tezkorligi va sezgirlik chegarasi bilan aniqlanadi.

Regeneratsiyalash uchastkasi uzunligi bo'ylab energetik potensialning taqsimlanishini hisoblash. Liniya regeneratoring QqUzM kirishiga tushuvchi, optik quvvatning sathi TOUT ning energetik potensialiga, OTdagi quvvat yo'qotishlariga, ajraladigan va ajralmaydigan ulagichlarda optik nurlanish quvvatining yo'qotishlariga bog'liq.

No	Параметрлар	Belgilanishi	O'lchov birligi	Parametrning qiymati
1	Optik signalni uzatish quvvatining satxi	P_{yz}	dBq	-35
2	Optik nurlanishni kabul qilish quvvatining minimal satxi	P_{qa}	dBq	31
3	PTOUT ning energetik potentsiyali	$\mathcal{P}$	dB	24
4	Regeneratsiyalash uchastkasining uzunligi	l_{exp}	km	4
5	Optik kabelning Kurilishi uzunligi	l_{rub}	km	2
6	Ajraladigon ulashlar soni	q_{av}	-	0,5
7	Ajraladigon ulagishda optik signalni so'nishi	A_A	dB	7
8	Ajralmaydigon ulashlar soni	q	-	0,1
9	Ajralmaydigon ulagichlar optik signalning sunishi	A_{Ai}	dB	0,7
10	Оптический кабельный коэффициент	α	dB/km	0,7

Echish.

Misol. RTOUT uchun regeneratsiyalash uchastkasi uzunligi bo'ylab energetik potensialning taqsimlanishini hisoblash, uning texnik parametrlari 12.2-jadvalda keltirilgan.

1. Birinchi ajraladigan ulagichdan (A-OU) keyin optik signalning sathini aniqlaymiz:

$$P_{A1} = p_{uz} - A_A = -4 - 0,5 = -4,5 \text{ dBq.}$$

2. Stansiya optik kabelining birinchi ajralmaydigan ulagichi (Ay-OU) dan keyin uzatish sathini aniqlaymiz:

$$P_{Ay1} = P_{A1} - A_{Ay} = -4,5 - 0,1 = -4,6 \text{ dBq.}$$

3. So'ng signal qurilish uzunligi $l_{qr} = 4 \text{ km}$ va so'nish koeffitsienti $\alpha = 0,7 \text{ dB/km}$ bo'lgan liniya optik kabeli bo'ylab uzatiladi. Ikkinchisi Ay-OU kirishida signal sathi quyidagiga teng bo'ladi:

$$P_{Ay2kir} = P_{Ay1} - \alpha \cdot l_{qr} = -4,6 - 0,7 \cdot 4 = -7,4 \text{ dBq.}$$

Regeneratsiyalash uchastkasining barcha tashkil etuvchilari uchun shunday hisoblashlarni bajarib, ikkinchi A-OU kirishida oltinchi qurilish uzunligidan keyin signal sathi $r_{Ay7} = -22,0 \text{ dBq}$ ga teng bo'ladi.

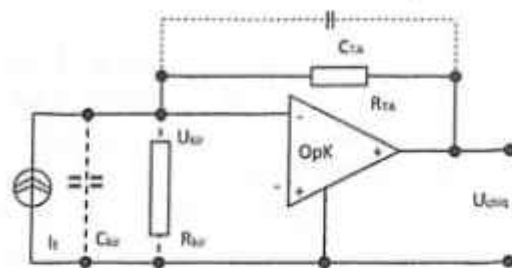
Qabul qilish sathi, ya'ni ikkinchi A-OU chiqishida optik nurlanish sathi quyidagiga teng:

$$P_{qq} = P_{Ay7} - A_A = -22,0 - 0,5 = -22,5 \text{ dBq.}$$

Regeneratsiyalash uchastkasining umumiy so'nishi:

$$A_{ru} = p_{uz} + P_{qq} = -4 - (-22,5) = 18,5 \text{ dB.}$$

Hisoblash natijasi bo'yicha xulosa qilish mumkinki, RTOUTning regeneratsiyalash uchastkasining so'nishi, $E = 31 \text{ dB}$ ga teng bo'lgan energetik potensialidan kichik. Eksploatatsion zahirani $E_z = A_t - A_v = 6 \text{ dB}$ ga teng deb qabul qilish mumkin.



12.4-rasm. Fotodetektor kuchaytirgichining tipli sxemasi

Optik traktning regeneratoring qaror qabul qilish nuqtasi (RQQN) da signalni halaqitlardan himoyalanganligini hisoblash.

QqUzM ning qabul qiluvchi optik modulida signalga asosan xususiy va drob xalaqitlari ta'sir etadi.

Xususiy xalaqitlar, fotodetektor kuchaytirgichi kirishiga ta'sir etuvchi issiqlik xalaqitlari va uning ichki xalaqitlari bilan aniqlanadi. Drob xalaqitlari fotodetektorda ro'y beradigan jarayonlarning kvant tabiati bilan tushintiriladi. Fotodetektor kuchaytirgichi sifatida odatda transimpedansli deb ataladigan kuchaytirgich ishlatiladi, u "tok - kuchlanish" o'zgartirgich hisoblanadi. Bunday kuchaytirgich kuchlanish bo'yicha kuchaytirishning katta koeffitsientiga ega operatsion kuchaytirgich (OpK) dan, va kirish va chiqish bo'yicha parallel, chuqur umumiy teskari aloqani hosil qiluvchi R_{TA} rezistoridan (10.4-rasm) tuzilgan. R_{kir} rezistori FQq diodining dinamik qarshiligini, uning siljish zanjirlarini va OpK kirish qarshiligini aks ettiradi. S_{kir} kondensator fotodetektorning yig'indi sig'imini, OpK ning kirish sig'imi va montajini, S_{TA} kondensatori esa $-R_{TA}$ ulanish nuqtalarida parazit sig'imni aks ettiradi. Odatda $R_{kir} > R_{TA}$, $S_{kir} > S_{TA}$. Aytib o'tilgan shartlar bajarilganda quyidagilarni yozish mumkin: $U_{chiq} \approx I_f \cdot Z_{TA}$, quyi chastotalarda $U_{chiq} \approx I_f \cdot R_{TA}$, chegaraviy chastota $-f_{cheg} = (2\pi R_{TA} \cdot S_{TA})^{-1}$ dan yuqorida uzatish

shartni qanoatlantirishi kerak.

Issiqlik xalaqitlari tokining ta'sir etuvchi qiymatini Naykvist formulasi bo'yicha aniqlash mumkin:

$$I_{ix,x} \approx (4kTf_v / R)^{1/2},$$

bu erda $k=1.38 \cdot 10^{-23}$, Dj/grad - Bolsman doimiysi; T - Kelvin graduslaridagi temperatura; f_v , G_s - xalaqitlar toki aniqlanadigan chastota polosasi; R , O_m - xalaqitlar tokini hosil qiluvchi rezistorning qarshiligi.

Ushbu xolatda $f_v = f_i$ va $R = R_{TA}$ deb taxmin qilish mumkin. Kuchaytirgichning ichki xalaqitlarini uning xalaqitlar koeffitsienti F_{kuch} yordamida hisobga olish qulay. F_{kuch} bu kuchaytirgich orqali o'tuvchi signalning xalaqitdan himoyalanganligi qanchaga kamayishini ko'rsatadi. Shu tarzda, kuchaytirgich kirishidagi xususiy xalaqitlarning toki

$$I_{xx} = (4kTF_{kuch} \cdot 0.7f_i / R_{TA})^{1/2} \quad (12.9)$$

ga teng bo'ladi.

Fotodetektor kuchaytirgichi kirishida drob xalaqitlari tokining ta'sir etuvchi qiymati SHotki formulasi bo'yicha aniqlanadi

$$I_{dx} = (2qI_f M^{(2+\alpha)} f_v)^{1/2}, \quad (12.10)$$

bu erda $q = 1.6 \cdot 10^{-19}$, K - elektron zaryadi; I_f - fototokning o'rtacha qiymati; M - ko'chkisimon ko'payish koeffitsienti; f_v - drob toki aniqlanadigan chastota polosasi; α - fotodiod materialining xususiyatlariga bog'liq bo'lgan koeffitsient (kremniy diodlari uchun $\alpha \approx 0.2 \dots 0.4$; germaniy diodlari uchun $\alpha \approx 1.0$; indiy fosfadi va $\alpha \approx 0.8$).

shartni qanoatlantirishi kerak.

Issqlik xalaqtlari tokining ta'sir etuvchi qiymatini Naykvist formulasi bo'yicha aniqlash mumkin:

$$I_{is.x} \approx (4kTf_v / R)^{1/2},$$

bu erda $k=1,38 \cdot 10^{-23}$, Dj/grad - Bolsman doimiysi; T - Kelvin graduslaridagi temperatura; f_v , G_s - xalaqtlar toki aniqlanadigan chastota polosasi; R , Om - xalaqtlar tokini hosil qiluvchi rezistorning qarshiligi.

Ushbu xolatda $f_v = f_i$ va $R = R_{TA}$ deb taxmin qilish mumkin. Kuchaytirgichning ichki xalaqtlarini uning xalaqtlar koeffitsienti F_{kuch} yordamida hisobga olish qulay. F_{kuch} bu kuchaytirgich orqali o'tuvchi signalning xalaqitdan himoyalanganligi qanchaga kamayishini ko'rsatadi. Shu tarzda, kuchaytirgich kirishidagi xususiy xalaqitlarning toki

$$I_{xx} = (4kTF_{kuch} \cdot 0,7f_i / R_{TA})^{1/2} \quad (12.9)$$

ga teng bo'ladi.

Fotodetektor kuchaytirgichi kirishida drob xalaqtlari tokining ta'sir etuvchi qiymati SHottki formulasi bo'yicha aniqlanadi

$$I_{dx} = (2qI_r M^{(2+\alpha)} f_v)^{1/2}, \quad (12.10)$$

bu erda $q = 1,6 \cdot 10^{-19}$, K - elektron zaryadi; I_r - fototokning o'rtacha qiymati; M - ko'payish koeffitsienti; f_v - drob toki fotodiod materialining xarakteristiklari uchun

$(4kTF_{kuch}/R_{TA})^{1/2} = i_{esh}$, $A / \sqrt{f_v}$ kattaligi ekvivalent shovqin toki deyiladi va odatda r-i-n diod asosidagi fotodetektor kuchaytirgichlari parametrlarini ko'rsatadi. Bu holda

$$Q = I_f / (i_{esh} \sqrt{f_s}).$$

Misol. Uchinchi sinxron ierarxiya pog'onasi (STM-16, $f_r=2,5$ GGs) uchun xalaqitlardan himoyalanganlikni aniqlaymiz. Uzatgichning to'liq uzunligi $\lambda=1,55$ mkm, agar kirish signalining sathi $r_{kir} = -28$ dBq bo'lsa, fotoqabul qilgich bir xolat uchun r-i-n fotodiod, boshqasida esa KFD asosida tayyorlangan. KFD materiali - indiy fosfadi, ikkala holda kvant samaradorligi $\eta = 0,85$. Kuchaytirgich xona temperaturasi $T = 293^\circ$ K da ishlaydi, teskari aloqa zanjirida parazit sig'im $S_{TA} = 0,12$ pF.

(12.8) munosabatdan R_{TA} ning maksimal ruxsat etilgan qiymatini aniqlaymiz:

$$R_{TA} = (2\pi \cdot 2,5 \cdot 10^9 \cdot 0,12 \cdot 10^{-12})^{-1} \approx 530 \text{ Om}$$

Fotoqabul qilgich kirishida o'rtacha kirish optik quvvat quyidagiga teng:

$$P_{kir} = 1 \cdot 10^{0,1 \cdot r_{kir}} = 1 \cdot 10^{0,1 \cdot (-28)} = 1,585 \cdot 10^{-3} \text{ mVt} = 1,585 \cdot 10^{-6} \text{ Vt}$$

Monoxromatik tok sezgirligi (10.10) $S_i = 1,55 \cdot 0,85/1,24 = 1,06$ A/Vt ga teng, bundan fototokning o'rtacha qiymati

$$I_f = S_i \cdot P_{kir} = 1,06 \cdot 1,585 \cdot 10^{-6} = 1,68 \cdot 10^{-6} \text{ A.}$$

(12.13) munosabatdan p-i-n fotodiod qo'llanilgan holda signal-xalaqit munosabatini aniqlaymiz

$$Q = [(1,68 \cdot 10^{-6})^2 \cdot 530 / (4 \cdot 1,38 \cdot 10^{-23} \cdot 293 \cdot 2 \cdot 0,7 \cdot 2,5 \cdot 10^9)]^{1/2} = 5,14$$

shu tariqa, bu holda $A_{x,him} = 20 \lg 5,14 = 14,22$ dB. KFD qo'llanilganda ko'payishning optimal koeffitsienti (10.13) munosabatdan aniqlanadi

$$M_{opt} = [4 \cdot 1,38 \cdot 10^{-23} \cdot 293 \cdot 2 / (530 \cdot 1,6 \cdot 10^{-19} \cdot 0,8 \cdot 1,68 \cdot 10^{-6})]^{1/(2+0,8)} = 7,52.$$

Bu qiymatni (10.12) ga qo'yib, RQQN da signal xalaqit nisbatiga ega bo'lamiz, u quyidagiga teng

$$Q = \frac{1,68 \cdot 10^6 \cdot 7,52}{[(2 \cdot 1,6 \cdot 10^9 \cdot 1,68 \cdot 10^6 \cdot 7,52^{2+0,8}) + 4 \cdot 1,38 \cdot 10^{-23} \cdot 293 \cdot 2 / 530 \cdot 0,7 \cdot 2,5 \cdot 10]^{1/2}} = 20,7.$$

bu RQQN da xalaqitlardan himoyalanganlikka $A_{x,him} = 20 \lg 20,7 = 26,3$ dB ga mos keladi, u holda r-i-n fotodiod asosidagi fotoqabul qilgichga nisbatan taxminan 12 dB yutuq mavjud.

Xususi va drob xalaqitlari (uning ko'chkisimon ko'payish sharoitida) oniy qiymatlarning gaussov taqsimlanishiga ega, bu regeneratorning xatolik koeffitsientini bu holatlarda etarlicha oson baholash imkonini beradi.

Ko'pincha testkari vazifani echish talab etiladi: Q_{te} talab etiladigan xalaqitlardan himoyalanganlik bo'yicha, u regeneratorning ruxsat etiladigan xatolik koeffitsienti va ekspluatatsion zahira bilan aniqlanadi, masalan,

$$A_{jk} = 4,63 + 11,42 \lg(1/p_r) + 20 \lg(m_j - 1) + \Delta A_{dsk}, \text{ dB},$$

dan fotoqabul qilgichning mos keluvchi (minimal) sezgirligi p_{min} ni aniqlash. Minimal sezgirlik uning kirishida optik signalning minimal o'rtacha quvvatiga mos keladi.

$$P_{min} = 10^{(0,1 p_{min})} \cdot 10^{-3} \cdot V_t.$$

$$P_{min} = Q_{te} \cdot i_{esh} \cdot \frac{\sqrt{f_s}}{S_i f_v} \quad (12.14a)$$

Fotoqabul qilgichning minimal sezgirligi

$$P_{min} = 10 \lg(P_{min}/1), \text{ mBt, dBq}$$

ni tashkil etadi.

Misol. Yuqoridagi ko'rilgan xolat uchun p-i-n fotoqabul qilgichning minimal sezgirligini aniqlaymiz, RQQN da talab etiladigan halaqitlardan himoyalanganlik $A_{te,him}$ 27 dB dan kichik bo'lmashligi kerak.

$$Q_{te} = 10^{(27/20)} = 22,4.$$

$$P_{min} = (22,4/1,06) \cdot (4 \cdot 1,38 \cdot 10^{-23} \cdot 293 \cdot 2 \cdot 0,7 \cdot 2,5 \cdot 10^9 / 530)^{1/2} = 6,91 \cdot 10^{-6} \text{ Vt},$$

$$P_{min} = 10 \lg(6,91 \cdot 10^{-3}) = -21,6 \text{ dBq}.$$

Shunga o'xshash topshiriq KFD li fotoqabul qilgich uchun bir muncha murakkabroq echiladi. Buning uchun (12.12) formulaga (12.13) formuladan aniqlangan, ko'chkisimon ko'payish koeffitsientining optimal qiymatini qo'yish kerak. Shuningdek shuni e'tiborga olish kerakki, optimal ko'payish koeffitsientida drob va xususi halaqitlarning quvvatlarining nisbati $2/\alpha$ ga teng, ya'ni $U_{sk}^2 = 2^* U_{xx}^2/\alpha$. Bundan fotoqabul qilgich kirishidagi optik signalning minimal o'rtacha quvvati quyidagicha ifodalanadi:

$$P_{min} = S_{11}/Q_{te}^2 \cdot (1+2/\alpha) \cdot f_s / ((4kT F_{kuch}/R_{TA})^{\alpha/(2+\alpha)} \cdot (q \cdot \alpha)^{\alpha}) \quad (12.15)$$

$$M_{opt} = [4 \cdot 1,38 \cdot 10^{-23} \cdot 293 \cdot 2 / (530 \cdot 1,6 \cdot 10^{-19} \cdot 0,8 \cdot 1,68 \cdot 10^{-6})]^{1/(2+0,8)} = 7,52.$$

Bu qiymatni (10.12) ga qo'yib, RQQN da signal xalaqit nisbatiga ega bo'lamiz, u quyidagiga teng

$$Q = \frac{1,68 \cdot 10^6 \cdot 7,52}{[(2 \cdot 1,6 \cdot 10^{19} \cdot 1,68 \cdot 10^6 \cdot 7,52^{2+0,8}) + 4 \cdot 1,38 \cdot 10^{-23} \cdot 293 \cdot 2 / 530 \cdot 0,7 \cdot 2,5 \cdot 10^{-6}]^{1/2}} = 20,7.$$

bu RQQN da xalaqitlardan himoyalanganlikka $A_{x,him} = 20 \lg 20,7 = 26,3$ dB ga mos keladi, u holda r-i-n fotodiod asosidagi fotoqabul qilgichga nisbatan taxminan 12 dB yutuq mavjud.

Xususi va drob xalaqitlari (uning ko'chkisimon ko'payish sharoitida) oniy qiymatlarning gaussov taqsimlanishiga ega, bu regeneratoring xatolik koeffitsientini bu holatlarda etarlicha oson baholash imkonini beradi.

Ko'pincha teskari vazifani echish talab etiladi: Q_{te} talab etiladigan xalaqitlardan himoyalanganlik bo'yicha, u regeneratoring ruxsat etiladigan xatolik koeffitsienti va ekspluatatsion zahira bilan aniqlanadi, masalan,

$$A_{xk} = 4,63 + 11,42 \lg \lg(1/p_x) + 20 \lg(m_y - 1) + \Delta A_{dax}, \text{ dB},$$

dan fotoqabul qilgichning mos keluvchi (minimal) sezgirligi p_{min} ni aniqlash. Minimal sezgirligi p_{min} ni

$$P_{min} = Q_{te} \cdot i_{esh} \cdot \frac{f_n}{S_i \cdot f_v} \quad (12.14a)$$

Fotoqabul qilgichning minimal sezgirligi

$$P_{min} = 10 \lg(P_{min}/1), \text{ mBt, dBq}$$

ni tashkil etadi.

Misol. Yuqoridagi ko'rilgan xolat uchun p-i-n fotoqabul qilgichning minimal sezgirligini aniqlaymiz, RQQN da talab etiladigan halaqitlardan himoyalanganlik $A_{x,him}$ 27 dB dan kichik bo'lmasligi kerak.

$$Q_{te} = 10^{(27/20)} = 22,4.$$

$$P_{min} = (22,4/1,06) \cdot (4 \cdot 1,38 \cdot 10^{-23} \cdot 293 \cdot 2 \cdot 0,7 \cdot 2,5 \cdot 10^9 / 530)^{1/2} = 6,91 \cdot 10^{-6} \text{ Vt},$$

$$P_{min} = 10 \lg(6,91 \cdot 10^{-3}) = -21,6 \text{ dBq}.$$

Shunga o'xshash topshiriq KFD li fotoqabul qilgich uchun bir muncha murakkabroq echiladi. Buning uchun (12.12) formulaga (12.13) formuladan aniqlangan ko'chkisimon ko'payish koeffitsientining optimal qiymatini qo'yish kerak. Shuningdek shuni e'tiborga olish kerakki, optimal ko'payish koeffitsientida drob va xususiyatlarining nisbati $2/c$ ga teng, ya'ni $U^2_{dk} =$ kirishidagi optik signalning

$$M_{opt} = [4 \cdot 1,38 \cdot 10^{-23} \cdot 293 \cdot 2 / (530 \cdot 1,6 \cdot 10^{-19} \cdot 0,8 \cdot 1,68 \cdot 10^{-6})]^{1/(2+0,8)} = 7,52.$$

Bu qiymatni (10.12) ga qo'yib, RQQN da signal xalaqit nisbatiga ega bo'lamiz, u quyidagiga teng

$$Q = \frac{1,68 \cdot 10^{-6} \cdot 7,52}{[(2 \cdot 1,6 \cdot 10^{-9} \cdot 1,68 \cdot 10^{-6} \cdot 7,52^{2+0,8}) + 4 \cdot 1,38 \cdot 10^{-23} \cdot 293 \cdot 2 / 530 \cdot 0,7 \cdot 2,5 \cdot 10^{-10}]^{1/2}} = 20,7.$$

bu RQQN da xalaqitlardan himoyalanganlikka $A_{x,him} = 20 \lg 20,7 = 26,3$ dB ga mos keladi, u holda r-i-n fotodiod asosidagi fotoqabul qilgichga nisbatan taxminan 12 dB yutuq mavjud.

Xususiy va drob xalaqitlari (uning ko'chkisimon ko'payish sharoitida) oniy qiymatlarning gaussov taqsimlanishiga ega, bu regeneratorning xatolik koeffitsientini bu holatlarda etarlicha oson baholash imkonini beradi.

Ko'pincha teskari vazifani echish talab etiladi: Q_{te} talab etiladigan xalaqitlardan himoyalanganlik bo'yicha, u regeneratorning ruxsat etiladigan xatolik koeffitsienti va ekspluatatsion zahira bilan aniqlanadi, masalan,

$$A_{xc} = 4,63 + 11,42 \lg \lg(1/p_x) + 20 \lg(m_p - 1) + \Delta A_{aar}, \text{ dB},$$

dan fotoqabul qilgichning mos keluvchi (minimal) sezgirligi p_{min} ni aniqlash. Minimal sezgirlik uning kirishida optik signalning minimal o'rtacha quvvatiga mos keladi.

$$P_{min} = 10^{(0,1 p_{min})} \cdot 10^{-3}, \text{ Vt}.$$

p-i-n FD asosidagi fotoqabul qilgich uchun (12.11) va (12.13a) munosabatlaridan quyidagi kelib chiqadi

$$P_{min} = (Q_{te}/S_i) \cdot (4kT \cdot F_{kuch} \cdot f_B/R_{TA})^{1/2}. \quad (12.14)$$

Agar ekvivalent shovqin toki i_{esh} berilgan bo'lsa, unda bu ifoda soddalashadi

$$P_{min} = Q_{te} \cdot i_{esh} \cdot \frac{f_B}{S_i} \cdot f_v \quad (12.14a)$$

Fotoqabul qilgichning minimal sezgirligi

$$P_{min} = 10 \lg(P_{min}/1), \text{ mBt, dBq}$$

ni tashkil etadi.

Misol. Yuqoridagi ko'rilgan xolat uchun p-i-n fotoqabul qilgichning minimal sezgirligini aniqlaymiz, RQQN da talab etiladigan xalaqitlardan himoyalanganlik $A_{x,him}$ 27 dB dan kichik bo'lmasligi kerak.

$$Q_{te} = 10^{(27/20)} = 22,4.$$

$$P_{min} = (22,4/1,06) \cdot (4 \cdot 1,38 \cdot 10^{-23} \cdot 293 \cdot 2 \cdot 0,7 \cdot 2,5 \cdot 10^9/530)^{1/2} = 6,91 \cdot 10^{-6} \text{ Vt},$$

$$P_{min} = 10 \lg(6,91 \cdot 10^{-6}) = -21,6 \text{ dBq}.$$

Shunga o'xshash topshiriq KFD li fotoqabul qilgich uchun bir muncha murakkabroq echiladi. Buning uchun (12.12) formulaga (12.13) formuladan aniqlangan, ko'chkisimon ko'payish koeffitsientining optimal qiymatini qo'yish kerak. Shuningdek shuni e'tiborga olish kerakki, optimal ko'payish koeffitsientida drob va xususiy xalaqitlarning quvvatlarining nisbati $2/\alpha$ ga teng, ya'ni $U_{ds}^2 = 2 \cdot U_{xx}^2/\alpha$. Bundan fotoqabul qilgich kirishidagi optik signalning minimal o'rtacha quvvati quyidagicha ifodalanadi:

$$P_{min} = S_i \cdot [(Q_{te}^2(1+2/\alpha) \cdot f_v) / ((4kTF_{kuch}/R_{TA})^{\alpha/(2+\alpha)} \cdot (q \cdot \alpha)^{2/(2+\alpha)})]^{(2+\alpha)/(2(1+\alpha))}. \quad (12.15)$$

(10.15) munosabat haqiqiy bo'lishi uchun signal sathiga bog'liq bo'lmasligi kerak. Bu p-i-n FD uchun xarakterli, chunki unda xalaqitlarning drob tashkil etuvchisini hisobga olmasa ham bo'ladi. Impulslar uzatilganda xalaqitlarning ortishi va drob tashkil etuvchi

hisobiga pauzalar o'tishida xalaqitlarning kamayishi KFD li fotoqabul qilgich uchun xarakterli. Malaka shuni ko'rsatadiki, (12.15) munosabat ana shu xolatda ishlatilishi mumkin, lekin regeneratorda qaror qabul qilish chegarasi signal kuchlanishining o'rtacha qiymatidan bir muncha kichik qiymatda qabul qilinishi kerak. Misol: yuqoridagi misollarda ko'rsatilgan sharoitlarda KFD asosidagi fotoqabul qilgichning minimal sezgirligini aniqlaymiz. Qabul qilishda minimal o'rtacha quvvatni (12.15) formula orqali aniqlaymiz:

$$P_{\min} = 1,06^{-1} \left[\frac{22,4^2 (1 + 2/0,8) \cdot 0,7 \cdot 2,5 \cdot 10^9}{(4 \cdot 1,38 \cdot 10^{-23} \cdot 293 \cdot 2/530)^{-0,8(2+0,8)} \cdot (1,6 \cdot 10^{-19} \cdot 0,8)^{-2(2+0,8)}} \right]^{\frac{2+0,8}{2(1+0,8)}} = 1,895 \cdot 10^{-6} \text{ Bm}$$

U holda fotoqabul qilgichning minimal sezgirligi $P_{\min} = 10 \lg(1,895 \cdot 10^{-3}) = -27,2 \text{ dBq}$ bo'ladi, ya'ni oldingi xolatga nisbatan taxminan 6 dB yutuqqa ega.

Tolali optik uzatish liniyasining tezkorligini hisoblash.

Tolali optik uzatish liniyasi (TOUL) ning tezkorligi QqUzM elementlarining inertligi va OTning dispersiya xususiyatlari bilan aniqlanadi. Tezkorlikni aniqlash va ularni taqqoslash kerak.

Raqamli TOUL ning ruxsat etiladigan tezkorligi uzatiladigan signalning xarakteriga raqamli liniya signalining uzatish tezligiga bog'liq va

$$t_{re} = \beta / B, \text{ ns} \quad (12.16)$$

munosabatdan aniqlanadi, bu erda β raqamli liniya signalining liniya kodi xarakterini hisobga oluvchi koeffitsient va NRZ kodi uchun 0,7 ga va qolgan hamma kodlar uchun 0,35 ga teng; V - raqamli liniya signalining uzatish tezligi.

TOUL ning kutiladigan tezkorligi (tolali-optik uzatish tizimi va optik kabel majmuasi sifatida) quyidagiga teng:

$$t_{\text{tol}} = \sqrt{t_{ys}^2 + t_{re}^2 + t_{OT}^2}, \text{ ns}, \quad (12.17)$$

bu erda t_{re} - uzatuvchi optik modul (UzOM) ning tezkorligi, u raqamli liniya signalining uzatish tezligiga va nurlanish manbaining turiga bog'liq; t_{OT} - QqOM tezkorligi bo'lib, raqamli liniya signalining uzatish tezligi va fotodetektor turi bilan aniqlanadi; t_{OT} - optik nurlanish impulsning regeneratsiyalash uchastkasining optik tolali kabeli bo'ylab o'tgandagi uning kengayishi, ko'p modali OT uchun u quyidagiga teng:

$$t_{OT} = 10^{-3} \cdot l_p / \Delta F, \text{ ns}, \quad (12.18)$$

bu erda ΔF - OT ning nisbiy o'tkazish polosasi, MGs/km, bir modali optik tola uchun esa:

$$t_{OT} = 10^{-3} \cdot r \cdot \Delta \lambda \cdot l_p, \text{ ns}, \quad (12.19)$$

bu erda r - optik tolaning xromatik dispersiya koeffitsienti, ps/nm·km; $\Delta \lambda$ - optik nurlanish polosasining o'rtacha kvadratik kengligi, nm; yorug'lik diodlari uchun 24...40 nm va yarim o'tkazgichli lader diodlar uchun 0,2...5 nm ga teng.

UzOM va QqOM larning tezkorligi tipli uzatish tezliklari uchun 12.3-jadvalda keltirilgan.

Agar $t_{kut} < t_{re}$ bo'lsa, kabel turini va regeneratsiyalash uchastkasi uzunligini tanlash to'g'ri bajarilgan bo'ladi.

$t_{re} - t_{kut} = \Delta t$ - kattalik tezkorlik bo'yicha zahira. Uning etarlicha katta qiymatida TOUL komponentlariga talabni kamaytirish mumkin. Agar $t_{kut} > t_{re}$ bo'lsa, boshqa parametrlari UzOM, QqOM va optik kabellarni tanlash kerak.

12.3-jadval

QqUzM tezkorligi	Raqamli oqimning uzatish tezligi, Mbit/s						
	8	34	140	565	155	622	2500
$t_{uz}, \text{ ns}$	5	3	0,5	0,15	1	0,1	0,05
$t_{qz}, \text{ ns}$	4	2,5	0,4	0,1	0,8	0,08	0,04

Misol. XEI ning G.652 tavsiyalariga javob beruvchi OT bo'ylab $\lambda = 1,55$ mkm to'lqin uzunligida ishlovchi, regeneratsiyalash uchastkasi uzunligi $l_{ru} = 80$ km, xromatik dispersiya koeffitsienti $\tau = 18,2$ ps/nm·km, $\Delta\lambda = 0,5$ nm ga teng TOUL ning tezkorligini aniqlash. Axborot oqimining uzatish tezligi $V = 140$ Mbit/s, liniya kodining turi 10V1R1R.

Echish.

1. $V = 140$ Mbit/s va 10V1R1R turdagi kod qo'llanilganligi uchun (12.16) munosabatga $\beta = 0,35$ ni qo'yib, ruxsat etiladigan tezkorlik t_{re} qiymatini aniqlaymiz:

$$t_{re} = \beta / V = 0,35 / 140 \cdot 10^6 = 2,5 \text{ ns.}$$

2. (12.19) munosabatga $l_{ru} = 80$ km qiymatni qo'yib, regeneratsiyalash uchastkasi bo'ylab tarqalishdagi impulsning kengayish miqdorini topamiz

$$t_{OT} = 10^{-3} \cdot \tau \cdot \Delta\lambda \cdot l_{ru} = 18,2 \cdot 0,5 \cdot 10^{-3} \cdot 80 = 0,728 \text{ ns.}$$

3. (12.17) munosabat orqali unga 10.3-jadvaldan olingan $t_{uz} = 0,5$ ns va

$t_{qq} = 0,4$ ns qiymatlarini va $t_{ot} = 0,728$ qiymatini qo'yib, kutiladigan tezkorlik t_{kut} miqdorini aniqlaymiz

$$t_{kut} = \sqrt{t_{uz}^2 + t_{qq}^2 + t_{OT}^2} = 0,5 + 0,4 + 0,728 = 1,628 \text{ ns.}$$

Olingan qiymatlarni taqqoslash shuni ko'rsatmoqdaki, $t_{kut} < t_{re}$ shart bajarildi, ya'ni TOUL va uning komponentlarining asosiy parametrlari to'g'ri tanlangan.

Tezkorlik bo'yicha QqUzM ning sezgirlik chegarasini hisoblash. QqUzM ning asosiy parametrlaridan biri bu uning sezgirligi, ya'ni QqUzM fotodetektorida barqaror tutiladigan, $\tau = 1/V$ davomiylikka ega optik signalning minimal detektorlanadigan quvvati (MDQ) hisoblanadi.

Taxminan MDQ sathi r_{min} quyidagi munosabat orqali aniqlanishi mumkin:

$$p-i-n \text{ fotodiod uchun - } P_{ei} = \begin{cases} -55 + 11 \lg B, \text{ agar } B \leq 50 \text{ Mbit/s,} \\ -55 + 10 \lg B, \text{ agar } B > 50 \text{ Mbit/s} \end{cases} \quad (12.20)$$

$$\text{va Ko'chkili fotodiod uchun - } P_{ei} = \begin{cases} -70 + 10,5 \lg B, \text{ agar } B \leq 50 \text{ Mbit/s,} \\ -70 + 10 \lg B, \text{ agar } B > 50 \text{ Mbit/s} \end{cases} \quad (12.21)$$

ko'chkisimon fotodiod uchun.

P_{min} MDQ ning absolyut sathini va QqUzM ning uzatish sathlarini bilgan holda, texkorlik bo'yicha TOUT ning energetik potensialini olish mumkin:

$$E_t = p_{uz} - p_{min}, \text{ dB.} \quad (12.22)$$

Misol. Raqamli liniya signallarining uzatish tezligi $V = 41,242$ Mbit/s ga teng va uzatish sathi $p_{uz} = -4$ dB bo'lgan RTOUT uchun tezkorlik bo'yicha energetik potensial va P_{min} MDQ sathini aniqlash. Fotodetektor KFD asosida ishlab chiqarilgan.

Echish. Mos keluvchi (10.22) formulaga $B = 41,242$ Mbit/s ni qo'yib, quyidagiga ega bo'lamiz:

$$P_{min} = -70 + 10,5 \lg B = -70 + 10,5 \lg 41,242 = -53 \text{ dBq.}$$

Tezkorlik bo'yicha energetik potensialning taqribiy qiymati (10.22)

$$E_t = p_{uz} - p_{min} = -4 - (-53) = 49 \text{ dB}$$

ga teng bo'ladi.

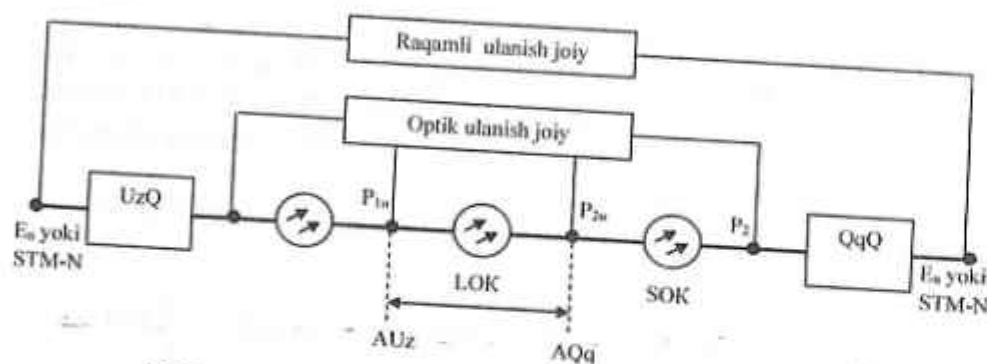
Energetik potensialning olingan qiymati tezkorlik bo'yicha ushbu RTOUT ning imkoniyatlariga mos keladi.

12.2.2. SRI/SDH asosidagi TOUL ni loyihalash xususiyatlari

SRI uzatish tizimlari 2 bo'limda ko'rib chiqilgan. SRI uzatish tizimlari asosida TOUL ni loyihalash masalalarini ko'rib chiqamiz.

Qo'shni oraliq punktlar o'rtasidagi TOUT liniya trakti uchastkasining (uzatishning bir yo'nalishi uchun) tipli tuzilish sxemasi 12.5-rasmda ko'rsatilgan. Turli tipdagi TOUT uchun bu sxema quyidagi bloklarning ketma-ket bog'lanishini namoyon etadi: optik liniya trakti oxirgi apparaturasi (LTA) ning uzatuvchi qurilma (UzQ) si – stansiya optik kabeli (SOK) – liniya optik kabeli (LOK) – SOK – LTA ning qabul qiluvchi qurilma (QqQ) si.

SRI TOUT uchun LTA o'zida STM-N sinxron multipleksor apparaturasi tarkibidagi optik ulanish joyi platosini namoyon etadi, uning raqamli ulanish joyida parametrlari T-XEI ning G.707.Y.1322 tavsiyalarida aniqlangan. SRI ning N-nchi sathi ($N = 1, 4, 16, 64, 256$) STM-N raqamli elektrik signallari shakllanadi.



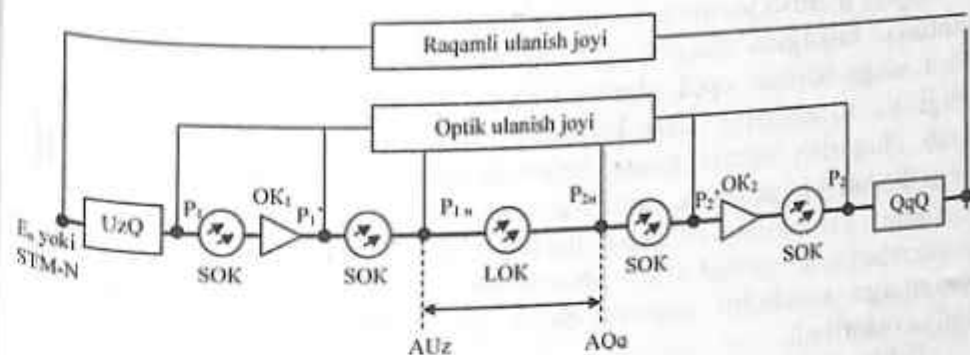
12.5-rasm. TOUT liniya trakti uchastkasining sxemasi

12.5-rasmdan ko'rsatilganidek, optik ulanish joyining parametrlari bevosita LTA ning ajraladigan optik ulagichlarida (R_1 – UzQ chiqishidagi optik nurlanish quvvatining sathi, R_2 – QqQ kirishidagi optik nurlanish quvvatining sathi), yoki uzatish Uz va qabul qilish Qq da SOK va LOK o'rtasidagi ulanish nuqtasida o'lchanishi mumkin.

Optik ulanish joyining parametrlarini normaga solish aynan Uz optik trakt nuqtasida (R_{1n} – quvvatning normaga solinadigan sathi) va Qq optik trakt nuqtasida (R_{2n} – quvvatning normaga solinadigan sathi) amalga oshirilishi kerak.

12.6-rasmda zamonaviy SRI TOUT ($N \geq 4$) uchun xarakterli bo'lgan, optik kuchaytirgichlar qo'llanilganda TOUT liniya trakti uchastkasining (uzatishning bir yo'nalishi uchun) tuzilish sxemasi

ko'rsatilgan. OK_1 – uzatishdagi optik kuchaytirgich, OK_2 – qabul qilishdagi optik kuchaytirgich.



12.6-rasm. Optik kuchaytirgichlar qo'llanilgan TOUT liniya trakti uchastkasining tuzilish sxemasi

OK_1 va OK_2 TOUT liniya qurilmasining alohida konstruktiv elementlari (optik kuchaytirgichlar platosi) sifatida qo'llanilishi mumkin yoki optik ulanish joyi platosining tarkibiga konstruktiv kirishi mumkin. Birinchi holatda optik trakt uchastkasining tuzilish sxemasi UzQ – SOK – OK_1 – SOK – LOK – SOK – OK_2 – SOK – QqQ ketma-ket bog'lanishini namoyon etadi, shuki optik ulanish joyining parametrlarini yoki bevosita UzQ chiqishida (R_1 – quvvat sathi) va QqQ kirishida (R_2 – quvvat sathi) yoki SOK va LOK ulanish nuqtalarida BUz uzatishda (R_{1n} – quvvatning normaga solinadigan sathi) va BQq qabul qilishda (R_{2n} – quvvatning normaga solinadigan sathi) o'lchash mumkin.

Ikkinchi holatda optik trakt uchastkasining tuzilish sxemasi UzOK – SOK – LOK – SOK – QqOK ketma-ket bog'lanishini namoyon etadi, optik ulanish joyining parametrlarini yoki bevosita UzOK chiqishida (R'_1 – quvvat sathi) va QqOK kirishida (R'_2 – quvvat sathi) yoki AUz va AQq nuqtalarida o'lchash mumkin.

Optik ulanish joyining parametrlarini normaga solish ikkala holatda AUz va AQq nuqtalarida amalga oshirilishi kerak. AUz va AQq nuqtalari orasidagi optik trakt uchastkasi, 10.6-rasmdan farqli ravishda, asosiy optik trakt deb ataladi (optik ulanish joyining parametrlarini normaga solish nuqtai nazaridan). Qo'shni LTA lari

orasidagi, OK₁ va OK₂ dan tarkib topgan, optik trakt uchastkasining qirqimlari yordamchi trakt deb ataladi, ular normaga solish uchun aniqlovchi hisoblanmaydi.

Optik ulanish joyining parametrlarini normaga solish xususiyati shundaki, faqatgina raqamli tarmoq ulanish joylarigina normaga solish ostiga olinadi, optik ulanish joyi parametrlari (aloqa masofasi, tezligi va uzatishning sifat ko'rsatkichlari bilan birgalikda LTA ishlab chiqarish narxi) bozor so'rovlariga taxminiy hisoblanadi. Lekin ishlab chiqarishda, sertifikatli sinovlarda, foydalanishga kiritishda va ta'mirlash-tiklash ishlarida optik ulanish joyining asosiy parametrlarining miqdorini apparatura xujjatlarida keltirilgan qiymatlarga mosligini nazorat qilish maqsadida ularni o'lchash amalga oshiriladi.

Ushbu asosiy parametrlarga quyidagilar kiradi:

- uzatishda optik nurlanish quvvatining sathi R_1 ;
- qabul qilgichning sezgirlik sathi $R_{2 \text{ min}}$;
- qabul qilgichning yuklanish sathi $R_{2 \text{ maks}}$;
- qoplanadigan so'nish.

Juda katta universal imkoniyatli SRI TOUT uchun transport tarmog'ini qurish uchun ko'ndalang moslashuvni, ya'ni optik trakt uchastkasining oxirida turli ishlab chiqaruvchilarning LTA ishlatish imkonini ta'minlash talab etiladi. Bu talab optik ulanish joylarini qo'llanish kodi bo'yicha tasniflanishiga olib keldi.

Bundan tashqari, SRI TOUT ni o'tkazish qobiliyatini oshirishga va optik trakt uchastkasini uzaytirishga intilish, har bir qo'llanish kodi doirasida optik ulanish joyining ko'plab parametrlarini normaga solish kerakligiga olib keldi.

Optik ulanish joylarining asosiy parametrlari:

- to'lqin uzunligining ishchi diapazoni.
- Uzatgich [Uz (S) nuqtasi]:
- nurlanish manbaini turi;
- spektral xarakteristikalar;
- nurlanadigan quvvat sathi;
- so'ndirish koeffitsienti;
- uzatishda optik signal xarakteristikalar.

Optik trakt (S va R nuqtalar orasida):

- qoplanuvchi so'nish diapazoni;
- yig'indi dispersiya;

- kabel qurilmalarining aks etish so'nishi;
- S va R nuqtalar orasida diskret aks etish koeffitsienti.

Qabul qilgich [Qq (R) nuqtasi]:

- qabul qilgichning sezgirlik sathi;
- qabul qiluvchi qurilmaning yuklanish sathi;
- optik traktning qo'shimcha yo'qotishlari;
- qabul qilgichning aks etish koeffitsienti;
- uzatishda optik signalning fazali titrashi;
- qabul qilishda optik signalning ruxsat etilgan fazali titrashi;
- fazali titrashlarning uzatish koeffitsienti.

OK siz bir kanalli SRI TOUT ning STM-1, STM-4, STM-16 ga mos keladigan uzatish tezliklari uchun, qo'llanish kodi bo'yicha optik ulanish joylarining tasnifi va optik ulanish joylarining parametrlarini normaga solish kerak.

OK qo'llanilganda va uzatish tezligi STM-64 ga mos keluvchi, yuqori tezlikli SRI TOUT da qo'shimcha kodlarni kiritish va qo'shimcha parametrlarni normaga solish zaruriyati yuzaga keladi, chunki bu holatda optik trakt uchastkasining masofasini chegaralovchi, yangi omillar o'zini namoyon eta boshlaydi. Har bir qo'llanish kodi optik ulanish joyi platasining aniq turiga mos keladi. Kodlarning tasniflari 12.4-jadvalda keltirilgan.

Qo'llanish kodini belgilash qo'llanish belgisi turidan, keyin, tire orqali STM-N sathining belgisidan, nurlanish manbaini to'lqin uzunligini va qo'llaniladigan optik kabel turini anglatuvchi, keltirilgan raqamli simvolni nuqta bilan ajratilgan belgilashlardan tuzilgan. Shu tarzda qo'llanish kodi quyidagi ko'rinishga ega:

«QO'LLANISH TURI - STM SATHI - RAQAMLI SIMVOL»

Qo'llanish turi:

- V (I) - ob'ekt ichi aloqasi uchun (intra);
- K (S) - qisqa stansiyalararo aloqa uchun (short);
- D (L) - uzun stansiyalararo aloqa uchun (long);
- O (V) - juda uzun stansiyalararo aloqa uchun (very);
- S (U) - o'ta uzun stansiyalararo aloqa uchun (ultra).

STM sathi: $N = 1, 4, 16, 64$

Raqamli simvolning mavjud emasligi nurlanish manbaini nominal to'lqin uzunligini 1310 nm va OT li kabel turini - ob'ekt ichi aloqasi uchun SMF turdagi OT li kabel ekanligini bildiradi.

12.4-jadval

To'liq uzunligi, nm	Kabel turi	STM sathi	Ob'ekt ichi aloqasi, V (I)	Stansiyalararo aloqa			
				Qisqa K (S)	Uzun D (L)	Juda uzun O (V)	O'ta uzun S (U)
1310	1	STM-1	V-1 (I-1)	K-1.1 (S-1.1)	D-1.1 (L-1.1)	-	-
		STM-4	V-4 (I-4)	K-4.1 (S-4.1)	D-4.1 (L-4.1)	-	-
		STM-16	V-16 (I-16)	K-16.1 (S-16.1)	D-16.1 (L-16.1)	-	-
		STM-64	-	K-64.1 (S-64.1)	D-64.1 (L-64.1)	-	-
1550	1	STM-1	-	K-1.2 (S-1.2)	D-1.2 (L-1.2)	-	-
		STM-4	-	K-4.2 (S-4.2)	D-4.2 (L-4.2)	O-4.2 (V-4.2)	S-4.2 (U-4.2)
		STM-16	-	K-16.2 (S-16.2)	D-16.2 (L-16.2)	O-16.2 (V-16.2)	S-16.2 (U-16.2)
		STM-64	-	K-64.2 (S-64.2)	D-64.2 (L-64.2)	O-64.2 (V-64.2)	-
1550	2	STM-1	-	-	D-1.3 (L-1.3)	-	-
		STM-4	-	-	D-4.3 (L-4.3)	O-4.3 (V-4.3)	S-4.3 (U-4.3)
		STM-16	-	-	D-16.3 (L-16.3)	O-16.3 (V-16.3)	S-16.3 (U-16.3)
		STM-64	-	-	D-64.1 (L-64.1)	O-64.3 (V-64.3)	-
	3	STM-1	-	-	D-1.2 (L-1.2)	-	-
		STM-4	-	-	D-4.2 (L-4.2)	-	-
		STM-16	-	-	D-16.2 (L-16.2)	-	-

Eslatma:

Kabel turi:

- 1 - SMF OT (XEL-T ning G.652 tavsiyasi);
 2 - SMF OT (XEL-T ning G.654 tavsiyasi);
 3 - DSSMF OT (XEL-T ning G.653 tavsiyasi).

Raqamli simvol:

1 - nurlanish manbaini nominal to'liq uzunligi 1310 nm va OT li kabel turi - SMF;

2 - nurlanish manbaini nominal to'liq uzunligi 1550 nm va OT li kabel turi - SMF;

3 - nurlanish manbaini nominal to'liq uzunligi 1550 nm va OT li kabel turi - DSSMF.

Nurlanish manbai to'liq uzunligining ishchi diapazoni har bir qo'llanish kodi uchun optik kabel turidan, nurlanish manbai xarakteristikalaridan, Uz (S) va Qq (R) nuqtalari o'rtasida optik traktning yig'indi so'nish va yig'indi dispersiyasidan kelib chiqqan holda tanlanadi.

Nurlanish manbaini turi qo'llanish kodiga, tolaning so'nish va dispersiya xarakteristikalariga bog'liq holda tanlanadi. Nurlanish manbaini quyidagi turlari qo'llanish topgan: yorug'lik diodi (YOD), ko'plab bo'ylama modalarni nurlantiruvchi lazer diodi (KMLD) va bitta bo'ylama modani nurlantiruvchi lazer diodi (BMLD).

BMLD uchun spektr kengligi, nurlanish manbaini markaziy to'liq uzunligiga mos keluvchi, spektr tashkil etuvchining amplitudasidan 20 dB ga kichik sath bo'yicha o'lchangan, spektr kengligi bilan aniqlanadi.

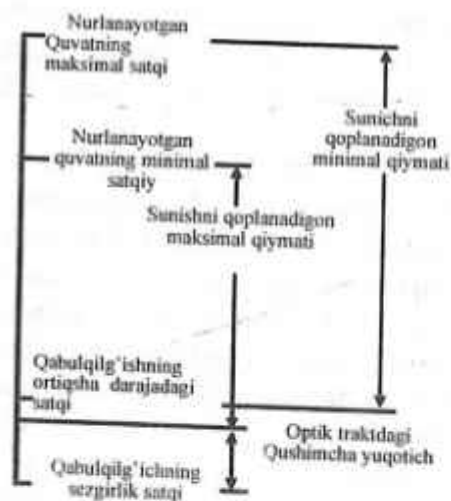
Nurlanadigan quvvat sathi Uz (S) nuqtada o'lchangan, optik signalning o'rtacha quvvati sifatida aniqlanadi. Bunda optik nurlanish quvvatining maksimal va minimal sathlari aniqlanadi, ular orasidagi farq ekspluatatsiyaning normal sharoitlarida ishlash uchun ruxsatlarni, optik uzatgich degradatsiyasini, o'lchash noaniqligini va eskirish jarayonini nazarga oladi. Qoplanadigan so'nish diapazoni Uz (S) va Qq (R) nuqtalar o'rtasida optik trakt so'nishning maksimal va minimal qiymatlari o'rtasidagi oraliq - diapazon sifatida aniqlanadi. Qoplanadigan so'nishning maksimal qiymati optik nurlanish quvvatining minimal sathi va qabul qilgichning sezgirligi o'rtasidagi farq sifatida aniqlanadi, bunda optik trakt Uz (S) va Qq (R) nuqtalar o'rtasida o'rnatilgan payvandlangan ulanishlar, ulagichlar va boshqa passiv optik qurilmalar kiritadigan yig'indi yo'qotishlarning eng yomon qiymati hisobga olinadi. Shuningdek, kabelda yo'qotishlarga zahira va optik trakt quvvatning qo'shimcha yo'qotishlari ham e'tiborga olinadi. Optik trakt

quvvatning qo'shimcha yo'qotishlari uzatish muhitidagi dispersiya tufayli qabul qilishda impuls amplitudasining kamayishi bilan aniqlanadi. Qoplanadigan so'nishning minimal qiymati uzatishda optik nurlanish quvvatining maksimal sathi va qabul qilgichning yuklanishi o'rtasidagi farq sifatida aniqlanadi. Uzatish va qabul qilishdagi optik nurlanish quvvatlari sathlarining nisbati, 12.7-rasmda tasvirlangan qoplanadigan so'nish diapazonini aniqlaydi.

Yig'indi dispersiya optik kabel tolalaridagi yig'indi (material va to'lqin uzatish bilan bog'liq) dispersiyaning ruxsat etilgan qiymati sifatida aniqlanadi, bunda turli qo'llanish kodlari uchun optik trakt masofasiga talablar qanoatlantiriladi.

Yig'indi dispersiya qiymati uzatgich turini va to'lqin uzunligining ishchi diapazonida qo'llaniladigan optik kabel tolasining dispersiya koeffitsientini tanlashda foydalaniladi.

Qabul qilgichning sezgirlik sathi Q_q (R) nuqtada optik nurlanish quvvati sathining minimal qiymati sifatida aniqlanadi, bunda 10.4-jadvalda 1×10^{-10} va 1×10^{-12} xatolik koeffitsienti ta'minlanadi.



12.7-rasm. Optik trakt uchastkasi sathlarining diagrammasi

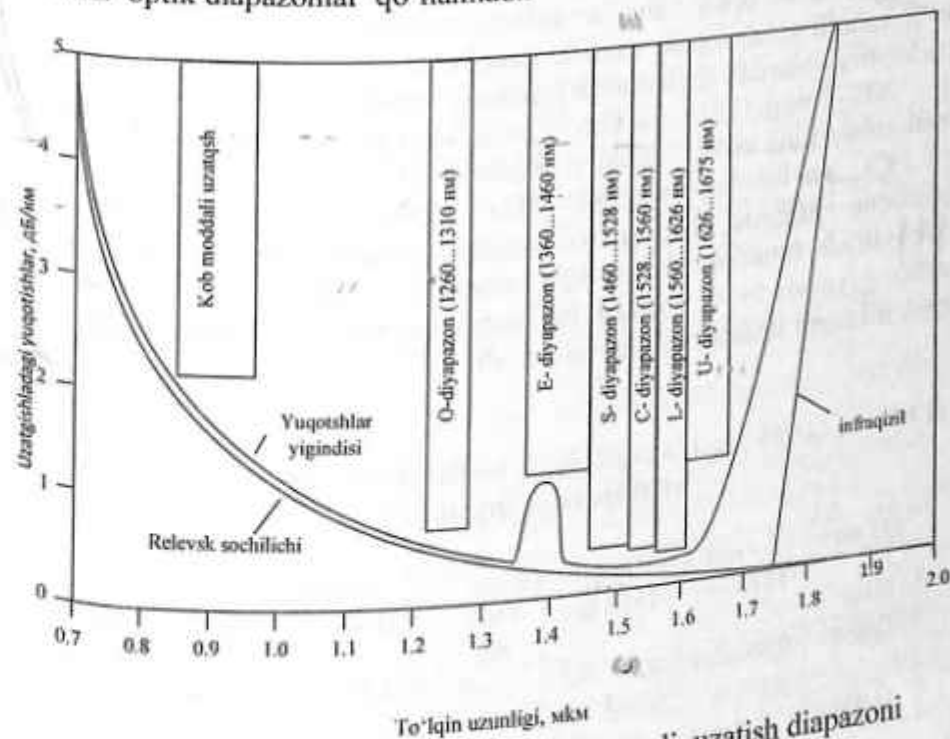
Qabul qilgichning yuklanish sathi Q_q (R) nuqtada qabul qilinadigan optik signal quvvatining maksimal ruxsat etiladigan sathi sifatida aniqlanadi, bunda xatolik koeffitsientining 1×10^{-10} (optik

kuchaytirgichlarsiz) va 1×10^{-12} (optik kuchaytirgichli) qiymatlari ta'minlanadi.

12.3. To'lqin uzunligi bo'yicha ajratilgan multipleksorlangan optik aloqa uzatish liniyalarini loyihalash xususiyatlari

12.3.1. To'lqin uzunligi bo'yicha multipleksorlangan optik aloqa tizimi va uzatish muhitining xarakteristikallari

To'lqin uzunligi bo'yicha ajratilgan (wavelength division multiplexing WDM) tolali optik uzatish tizimlari Xalqaro elektraloqa ittifoqining (XET-T) G.652 va G.655 standartlari tavsiyalariga mos keluvchi bir modali optik tola (OT) li kabellarda ishlaydi. Optik tolaning asosiy xarakteristikallari dispersiya va uzatishdagi yo'qotishlarning chastota xarakteristikallari hisoblanadi. WDM texnologiyasida 1,55 mkm to'lqin uzunlikli "shaffoflik darchasi" da yo'qotishlar qiymati kichik bo'lgan, 12.8-rasmda ko'rsatilgan S, C va L optik diapazonlar qo'llaniladi.



12.8-rasm. "Shaffoflik darchasi" va OT orqali uzatish diapazoni

To'lqin uzunligi bo'yicha zichlashtirish texnologiyasida yo'naltiruvchi muhitning chiziqligini talab etiladi.

To'lqin uzunligi bo'yicha ajratilgan tolali optik uzatish tizimlarida qo'llaniladigan OTning dispersiya qiymati kichik, noldan farqli bo'lishi kerak. Dispersiya qiymati nolga teng DSF tolasini to'lqin uzunligi bo'yicha zichlashtirish texnologiyasida qo'llab bo'lmaydi. Chunki nol dispersiya nochiziqli effektlarni hosil qiladi.

To'lqin uzunligi bo'yicha zichlashtirish texnologiyasida qo'llash uchun ko'p qatlamli qobiqqa ega, 1300...1650 nm to'lqin uzunligida dispersiya qiymati $D = 1-6 \text{ ps/nm}\cdot\text{km}$ bo'lgan nolga teng bo'lmagan siljigan dispersiyali bir modali NZDSF (Non-Zero Dispersion Shifted Fiber, G.655) optik tolalar yaratilgan. NZDSF tolasida dispersiya minimal, lekin noldan farqli. Optik tolada kichik qiymatli dispersiya mavjud bo'lganda impuls quvvatining vaqt bo'yicha taqsimlanishi ro'y beradi, bu muhit chiziqligini optik quvvatning yig'indi quvvati $0,5 V_t (+27\text{dBq sath})$ gacha saqlaydi. NZDSF tolalari optik kanallari to'lqin uzunligi bo'yicha ajratilgan ko'p kanalli tolali optik uzatish tizimlarini tuzish va bunda optik kuchaytirgichlardan foydalanish imkonini beradi.

XEI-Tning G.652 va G.655 tavsiyalari bo'yicha tayyorlangan optik tolalarning asosiy xarakteristikalarini 12.5- jadvalda keltirilgan.

C- va L- diapazonlarda G.652 optik tolaning dispersiya qiymatini maxsus dispersiya kompensatorlarini qo'llash orqali kamaytirish mumkin, bu to'lqin uzunligi bo'yicha zichlashtirish texnologiyasida avval yotqizib bo'lingan, mavjud standart bir modali optik tolalarni ishlatish imkonini beradi.

12.5- jadval

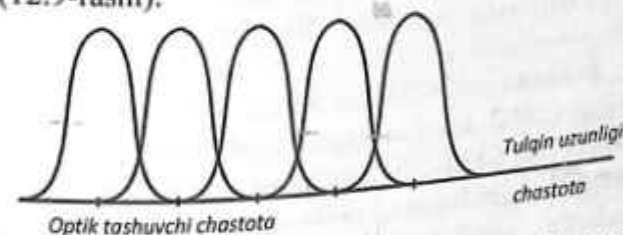
G.652 va G.655 tavsiya etgan optik tolalarning so'nish koeffitsienti va dispersiya qiymatlari

OT turi	So'nish koeffitsienti, dB/km			Dispersiya, ps/nm.km		
	1310 nm	1550 nm	1600 nm	1310 nm	1550 nm	1600 nm
G.652	0,35...0,4	0,21...0,2	-	3,5	18	-
		3				
G.655	-	0,22	-	-	2,6...6,0	4,0...8,6

Dispersiya kompensatorlarida dispersiya manfiy katta qiymatga ega bo'ladi. Dispersiya kompensatorlarini ishchi tolaga ulash natijasida dispersiya nolga yaqinlashadi, ya'ni kompensatsiyalanadi. Kompensatsiyalash samarali bo'lishi uchun ishchi tola bilan kompensatsiyalovchi tolaning diametri mos tushishi, montaj sifatli bo'lishi, ishchi tolaning umumiy dispersiya qiymatini va kompensatsiyalovchi tolaning dispersiya parametrini hisobga olish kerak. Dispersiya kompensatorlari uzatish tizimlarining ustunlariga yoki optik kuchaytirgichlarning 1- va 2-kaskadlari orasiga joylashtiriladi.

To'lqin uzunligi bo'yicha ajratilgan tolali optik uzatish tizimi apparaturasi tuzilish sxemasi

To'lqin uzunligi bo'yicha ajratilgan tolali optik uzatish tizimi bitta shaffoflik darchasida o'z optik tashuvchi chastotasiga ega bo'lgan ko'p miqdordagi yuqori tezlikli optik kanallarni tashkil qilish mumkin (12.9-rasm).



12.9-rasm. To'lqin uzunligi bo'yicha optik kanallarga ajratish

WDM texnologiyasi asosidagi optik uzatish tizimlari har bir kabelning bitta optik tolasida turli to'lqin uzunligidagi nurlanish manbalarini qo'llab, har bir signalni bir vaqtning o'zida qarama-qarshi tomonga va yuqori tezlikda uzatish imkonini beradi.

To'lqin uzunligi bo'yicha ajratilgan tolali optik uzatish tizimi apparaturasi tuzilish sxemasi 12.10-rasmda ko'rsatilgan.

To'lqin uzunligi bo'yicha ajratilgan tolali optik uzatish tizimining asosiy funksional tuguni WDM multipleksori va WDM demultipleksori hisoblanib, u mos ravishda uzatish va qabul qilishlarda optik kanallarni birlashtirish va ajratishni ta'minlaydi.

WDM DMUX ning detektor-qabul qilgichi kirishida qo'shimcha tarzda oraliq filtr ishlatilishi mumkin. Bu oraliq filtrlar kanallararo o'tish shovqinlarini kamaytirish va detektorlashning shovqindan himoyalanganligini oshirish maqsadida o'rnatiladi.

Guruhli signal sathini oshirish optik kuchaytirgichlar yordamida amalga oshiriladi: uzatishda quvvat kuchaytirgichlari (booster amplifier),

qabul qilishda dastlabki kuchaytirgichlar (preamplifier) va oraliq punktlarda liniya kuchaytirgichlari (line amplifier) yordamida kuchaytiriladi.

Dastlabki kuchaytirgichlar regenerators kirishida o'rnatiladi va signal/shovqin nisbatini oshirishga yordam beradi. Liniya kuchaytirgichlari signal buzilishlarini bartaraf etish zaruriyati bo'lmaganda so'ngan signallarni kuchaytiradi.

Quvvat kuchaytirgichlari lazer uzatgichlarning chiqishida o'rnatiladi va oraliq kuchaytirish punktlari orasidagi masofani uzaytirishga yordam beradi.

Shuni belgilab o'tish joizki, optik kuchaytirgichsiz to'lqin uzunligi bo'yicha ajratilgan tolali optik uzatish tizimlarining aloqa tarmoqlarida qo'llanilishi iqtisodiy jihatdan maqsadga muvofiq bo'lmas edi.

Oxirgi punktda WDM MUX kirishiga DWDM texnologiyasining G.692 tavsiya etgan talablariga javob beruvchi, jumladan STM-64 va STM-256 sinxron raqamli ierarxiya uzatish tizimlarining raqamli oqimlarining optik signallari berilishi mumkin.

Transponderda optik signalning to'lqin uzunligi elektr ko'rinishga o'tkazilib, regeneratsiyalanadi va berilgan xarakteristikali talab etiladigan to'lqin uzunliklari nurlantiriladi.

To'lqin uzunligi bo'yicha ajratilgan uzatish tizimlarining optik kanallarini turli xizmat aloqa signallari uchun qo'llanilishi, ularning muhim xususiyati hisoblanadi, ya'ni ular raqamli oqimlarning tezligi va tuzilishiga bog'liq emas. Shuning uchun ba'zan transponderlarning regeneratlari vaqt pozitsiyalarini (2R) tiklamaydigan holda tayyorlanadi, bu holda taktli sinxronizatsiya talab etilmaydi.

Optik traktida joylashish o'rniga ko'ra oxirgi, kuchaytirish va tranzit punktlar ajratiladi. Oraliq kuchaytirish punktlarida optik kuchaytirgich va dispersiya kompensatorlari o'rnatilishi mumkin.

Tranzit punktlar bu oxirgi punktlar yoki optik kanal signallarini ajratib berish uchun kirish/chiqishli optik multipleksorlar bo'lishi mumkin.

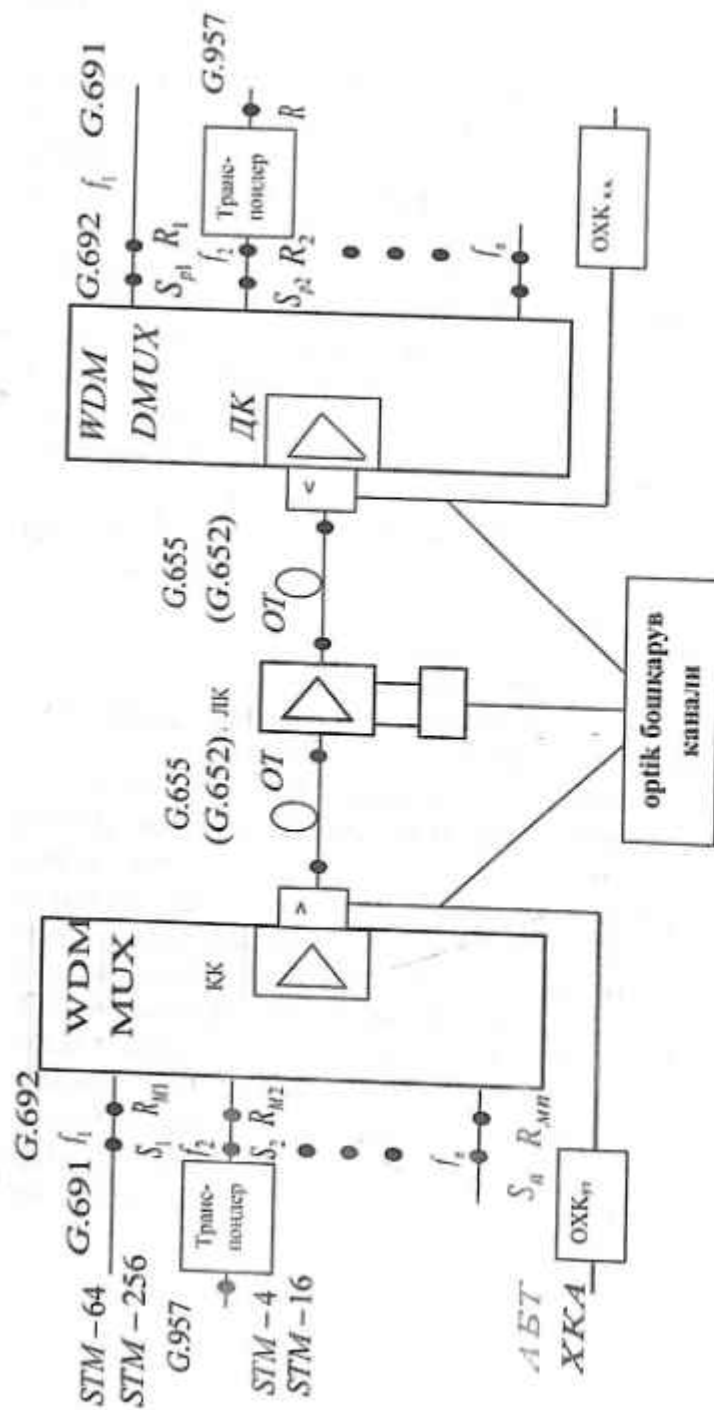
To'lqin uzunligi bo'yicha ajratilgan tolali optik uzatish tizimlarining xususiyatlaridan biri ishchi chastota diapazonidan tashqariga chiqarilgan, optik xizmat kanallari (OXK) ning mavjudligi hisoblanadi. Bu xususiyat asosiy traktning elementlari ishdan chiqqanda tizim boshqaruvini saqlash imkonini beradi.

To'lqin uzunligi bo'yicha ajratilgan tolali optik uzatish tizimlariga qo'yiladigan texnik talablar quyidagilar hisoblanadi:

- texnik ekspluatatsiya elektr aloqa apparaturasi bilan avtomat boshqaruv tizimini qo'llash yordamida amalga oshiriladi. Apparatura mahalliy xizmat terminali yordamida (F) yoki operatorning nazorat qilish va boshqarish tarmoq tizimining (Q) ishchi stansiyasi yordamida nazorat qilinadi va boshqariladi. Avtomat nazorat va boshqarish tizimlari mos keluvchi dasturiy ta'minot bilan quyidagi boshqaruv va nazorat rejimlarini ta'minlaydilar:

- konfiguratsiyalash;
- avariya xabarlariga xizmat ko'rsatish;
- ishchi xarakteristikalarini nazorat qilish;
- kirishda optik signal mavjud bo'lmaganda chiqish optik quvvatini avtomatik tarzda o'chirish vazifasini bajarish.

Nazorat va boshqarish funksiyalari tarmoq elementining nazoratgichi va tarmoq elementlari blokining (kontrollerlari) nazoratgichlari yordamida amalga oshiriladi, bu nazoratgichlar avariylarni zudlik bilan bartaraf etish darajasi va har bir blok statusi (darajasi) ko'rsatilgan holda avariylar haqidagi axborotlarni qayta ishlaydi. Har bir blok nazoratgichi ichki biriktirilgan dasturiy ta'minot bilan ta'minlangan bo'lishi kerak. Bu dasturni yuklash ishchi stansiya yoki mahalliy xizmat terminali yordamida amalga oshiriladi. Dasturiy ta'minot turini, shuningdek har bir blokning seriya raqami va turini avtomatik aniqlash ta'minlanishi kerak. Nosozliklarning yuzaga kelishi va bu nosozliklar haqidagi axborotlarni aks etishi o'rtasidagi maksimal vaqt 3,0 soniyadan oshmasligi kerak.



12.10-расм. То'лқин uzunligi bo'yicha ajratilgan tolali optik uzatish tizimining tuzilish sxemasi.

То'лқин uzunligi bo'yicha ajratilgan tolali optik uzatish tizimlarida optik xizmat kanali (ОХК) ni qo'llash bilan xizmat ko'rsatish aloqasi (ХКА) va telexizmat ko'rsatishni tashkil etish ko'zda tutilgan.

Нazorat savollari

1. Raqamli signallarni uzatishning qanday sifat mezonlarini bilasiz?
2. Raqamli tolali optik uzatish tizimining liniya trakti qanday baholanadi?
3. Tolali optik uzatish liniyasi uchastkasini hisoblashda nimalarga e'tibor berish kerak?
4. Uzatish tizimlarning texnik ekspluatatsiyasi deganda nimani tushunasiz? Ekspluatatsiya so'zining ma'nosini tushintiring. TEdan maqsad nima?
5. Optik toladan uzatilgan signal parametrlari va xarakteristikalarini o'lchashda qanday o'lchov vositalardan foydalaniladi?

FOYDALANILGAN ADABIYOTLAR

1. Govind P. Agrawal. Fiber-optic communication systems. Fourth Edition. A. John Wiley & Sons, Inc., Publication. 2010. – 603 p.
2. В. Н. Гордиенко, В. В. Крухмалев, А. Д. Моченов, Р. М. Шарафутдинов. Оптические телекоммуникационные системы. Учебник для вузов / Под ред. профессора В.Н. Гордиенко. М: Горячая линия–Телеком, 2011. – 368 с.
3. Скляр О. К. Волоконно оптические сети и системы связи: Учебное пособие. 2 е изд., стер. — СПб.: Издательство «Лань», 2010. — 272 с.
4. Юнусов Н.Ю., Исаев Р.И., Миразимова Г.Х. Оптик алоқа асослари. Ўзбекистон республикаси Олий ва ўрта махсус таълим вазирлиги – Т.: Чўлпон номидаги НМИУ, 2014 й. – 368 бет.
5. Исаев Р.И., Атаматов Р.К., Раджапова Р.Н. Телекоммуникация узатиш тизимлари. -«Фан ва технология», 2011. — 520 бет.
6. В.И. Иванов, В.Н. Гордиенко, Г.Н. Попов, Р.И. Исаев и др. Цифровые и аналоговые системы передачи: Учебник для вузов / Под ред. В.И. Иванова.- 2-е изд. – М.: Горячая линия – Телеком, 2003.
7. Гольдштейн Б.С., Соколов Н.А., Яновский Г.Г. Сети связи: учебник для ВУЗов. СПб.: БХВ – Петербург, 2010. – 400 с.
8. Игнатов А.Н. Оптоэлектронные приборы и устройства: Учебное пособие. – М: Эко-Трендз. 2006.
9. Е. Б. Алексеев, В. Н. Гордиенко, В. В. Крухмалев и др. Проектирование и техническая эксплуатация цифровых телекоммуникационных систем и сетей. Учебное пособие для вузов / Под редакцией В. Н. Гордиенко и М. С. Тверецкого. - М.: Горячая линия - Телеком, 2008.
10. Shiva Kumar, M. Deen. Fiber Optic Communications: Fundamentals and Applications. USA publisher 2014. – 572 p.
10. В. Гришачев, В.Н. Кабашкин, А.Д. Фролов. Анализ каналов утечки информации в волоконно-оптических линиях связи: нарушение полного внутреннего отражения. Информационное противодействие угрозам терроризма: Научн.-практ.журн., №4, 2005. С. 194 – 204.

11. В.В. Гришачев, В.Н. Кабашкин, А.Д. Фролов. Физические принципы формирования каналов утечки информации в волоконно-оптических линиях связи. Информационное противодействие угрозам терроризма: Научн.-практ.журн., №3, 2004. С. 74 – 76.
12. И.А. Булавкин. Вопросы информационной безопасности сетей PON. ЦНИИС 2006
13. К.Е. Румянцев, И.Е. Хайров. Передача конфиденциальной информации по волоконно-оптическим линиям связи, защищенная от несанкционированного доступа. Информационное противодействие угрозам терроризма: Научн.-практ.журн., №1, 2003. С. 72 – 79.

MUNDARIJA

KIRISH..... 3

I-BOB. OPTIK ALOQA TIZIMLARI, ASOSIY TA'RIF VA TUSHUNCHALAR, RIVOJLANISH TARIXI, TAVSIFLARI, TUZILISH PRINSIPI VA TASNIFI

1.1.	Optik aloqa tizimlari. Asosiy ta'rif va tushunchalar	12
1.2.	Optik aloqa tizimlarining rivojlanish tarixi	19
1.2.1.	Tolali optik aloqa tizimlariga bo'lgan ehtiyoj.....	20
1.2.2.	Optik aloqa tizimlarining evolyutsiyasi	23
1.3.	Asosiy kontsepsiyalar.....	29
1.3.1.	Analog va raqamli signallar	29
1.3.2.	Kanallarni multipleksorlash	33
1.3.3.	Modulyatsiya formatlari	36
1.4.	Tolali optik aloqa tizimlarining tasnifi	39
1.5.	Optik aloqa tizimlarining tuzilish prinsiplari. Tolali optik uzatish tizimlarining ikki tomonlama liniya traktlarini tuzish prinsiplari.....	43
1.6.	Optik aloqa tizimlarida to'liq uzunligi bo'yicha zichlashtirish	45
	Nazorat savollari	47

II-BOB. OPTIK TOLA VA KABELLAR

2.1.	Optik tola va uning tuzilishi	48
2.2.	Optik tola turlari va ularning tavsiflari. Bir modali va ko'p modali optik tolalar. Pog'onali, gradientli va maxsus sindirish ko'rsatgichli optik tolalar. Optik tolalarning standartlari	50
2.3.	Yorug'likning optik tola bo'ylab tarqalish qonuniyatlari.....	57
2.3.1.	Yorug'likning sinish jarayoni	57
2.3.2.	To'liq ichki qaytish	59
2.3.3.	Sonli apertura	61

2.3.4.	Yorug'lik nurining optik tola muhiti bilan ta'sirlashuvi	63
2.3.5.	Optik tolada hosil bo'ladigan modalar	64
2.3.6.	Kritik chastota va modaning normallashtirilgan chastotasi	65
2.3.7.	Moda maydoni diametri	68
2.3.8.	Ko'p modali optik tolada modalar soni	68
2.4.	Optik tolaning asosiy fizik parametrlari. Optik toladagi so'nish hodisasi.....	69
2.4.1.	Optik tolaning xususiy yo'qotishlari	70
2.4.2.	Kabel yo'qotishlari	72
2.5.	Optik toladagi dispersiya hodisasi va uning turlari	74
2.5.1.	Modalararo dispersiya	76
2.5.2.	Xromatik dispersiya	77
2.5.3.	Material dispersiyasi	77
2.5.4.	To'liq uzatish bilan bog'liq dispersiya	78
2.5.5.	Qutblangan moda dispersiyasi	79
2.5.6.	Dispersiyani kamaytirish usullari	81
2.6.	Tolali optik aloqa kabellari	83
2.6.1.	Optik kabellar	90
2.6.2.	Optik kabellarning tasniflanishi	92
2.6.3.	Optik kabellarning konstruktiv elementlari. Asosiy elementlari	94
2.6.4.	Optik kabellarning asosiy konstruksiyalari	100
	Nazorat savollari	103

III-BOB. OPTIK ALOQA TIZIMLARINING PASSIV ELEMENTLARI

3.1.	Optik tarmoqlagichlar	105
3.2.	Optik attenuatorlar	109
3.3.	Optik filtrlar	109
3.4.	Optik izolyatorlar	110
3.5.	Dispersiyaning passiv optik kompensatorlari	111
3.6.	Ajraladigan optik ulagichlar	111
3.7.	Ajralmaydigan optik ulagichlar	112
3.8.	Optik multipleksorlar va demultipleksorlar	113
3.9.	Optik kommutatorlar. Asosiy tushunchalar	119
	Nazorat savollari	

IV- BOB. OPTIK SIGNALLARNI UZATUVCHI VA QABUL QILUVCHI ELEMENTLAR

4.1.	Optik signallarni uzatgichlari	120
4.1.1.	Yarim o'tkazgichli lazer nurlanish manbalarining ish prinsipi	121
4.1.2.	Yarim o'tkazgichli lazer nurlanish manbalari	122
4.1.3.	Lazer diodining xarakteristika va parametrlari	126
4.1.4.	Yorug'lik diodining tuzilishi	130
4.1.5.	Yorug'lik diodining asosiy xarakteristikalar va parametrlari	132
4.1.6.	Tolali optik aloqa tizimining uzatuvchi optik moduli	136
4.2.	Optik signallarni qabul qilgichlar	137
4.2.1.	Fotodiodning xarakteristikalar va parametrlari	138
4.2.2.	Fotoqabul qilgich turlari. p-i-n fotodiodlar, ko'chkili fotodiodlar	142
4.3.3.	Qabul qiluvchi optoelektron modulning tuzilishi	146
4.3.4.	Fotoqabul qilgich shovqinlari	174
	Nazorat savollari	151

V-BOB. OPTIK ALOQA TIZIMLARINING LINIYA TRAKTI.

OPTIK ALOQA TIZIMLARINING LINIYA KODLARI.

OPTIK RETRANSLYATORLAR, OPTIK KUCHAYTIRGICHLAR

5.1.	Optik aloqa tizimlarining liniya trakti	154
5.2.	Raqamli tolali optik aloqa tizimlarining liniya kodlari. Liniya kodlariga qo'yiladigan talablar	156
5.2.1.	Liniya kodlarining turlari va ularning shakllanish	157
5.3.	Optik aloqa tizimlarining liniya traktida qo'llaniladigan asosiy qurilmalar. Optik retranslyatorlar, ularning turlari ..	163
5.3.1.	Optik signallarni regeneratsiyalash. Optik regeneratorming tuzilishi va ish prinsipi	166
5.4.	Optik kuchaytirgichlar	168
5.4.1.	Optik kuchaytirgichlarning tasniflanishi va asosiy parametrlari	198
5.4.2.	Yarim o'tkazgichli optik kuchaytirgichlar	173

5.4.3.	Tolali optik kuchaytirgichlar	177
5.4.4.	Raman optik kuchaytirgichlari	189
	Nazorat savollari	192

VI-BOB. OPTIK ALOQA TIZIMLARI

6.1.	Plezioxron ierarxiyali raqamli optik aloqa tizimlari	195
6.1.1.	Plezioxron ierarxiyali raqamli TOUT da multiplekslash prinsiplari	195
6.2.	Sinxron raqamli ierarxiyali optik aloqa tizimlari	197
6.2.1.	Sinxron raqamli ierarxiyaning yaratilishini texnik iqtisodiy aspektlari	197
6.2.2.	Sinxron raqamli ierarxiya tuzilishining asosiy prinsiplari	201
6.3.	Sinxron raqamli ierarxiyali optik aloqa tizimlarining qurilmalari	236
6.3.1.	Umumiy tushunchalar va ta'riflar	237
6.3.2.	Sinxron multipleksorlar	246
6.3.3.	Sinxron multipleksorlarning konfiguratsiyasi	251
6.3.4.	Multipleksorning umumlashgan tuzilish sxemasi	255
	Nazorat savollari	

VII-BOB. TO'LIQIN UZUNLIGI BO'YICHA AJRATILGAN TOLALI OPTIK UZATISH TIZIMLARI

7.1.	To'liqin uzunligi bo'yicha ajratish texnologiyasi	257
7.2.	TUBA TOUTning funksional sxemasi	263
7.3.	TUBA TOUT tasnifi va asosiy parametrlari	266
7.4.	TUBA TOUT multipleksorlar va demultipleksorlar parametrlari va xususiyatlari	272
7.5.	TUBA TOUT da kesishuvchi ta'sirlar	278
7.6.	To'rt to'liqinli siljish tufayli o'tish xalaqitlari	283
	Nazorat savollari	287

VIII-BOB. OPTIK ALOQA TARMOQLARI

8.1.	Infokommunikatsiya xizmatlari	288
8.2.	Optik telekommunikatsiya tarmoqlariga qo'yiladigan talablar	289

8.3.	Foton texnologiyasi asosida mahalliy, mintaqaviy va magistral optik aloqa tarmoqlariga o'tishning asosiy prinsiplari.....	289
8.4.	Optik aloqa tarmoqlarini yangi avlodlarini yaratishdagi yangi va istiqbolli optik texnologiyalar.....	297
	Nazorat savollari	298
	IX-BOB. ABONENT ULANUVCHI OPTIK ALOQA TARMOQLARI	
9.1.	Umumiy holat	299
9.2.	Abonent ulanuvchi optik aloqa tarmoqlarning tuzilish prinsipi.....	300
9.2.1.	Abonent ulanuvchi optik aloqa tarmoqlar texnologiyalari va arxitekturası	300
9.3.	Abonent ulanuvchi optik aloqa tarmoqlarining tasnifi va uning asosiy parametrlariga qo'yiladigan talablar.....	311
9.3.1.	Abonent ulanuvchi optik aloqa tarmoq'ining asosiy parametrlariga qo'yiladigan talablar.....	312
9.4.	Nazorat va boshqaruv tizimi.....	318
9.5.	Passiv optik aloqa tarmoq texnologiyalari.....	319
9.5.1.	Passiv optik texnologiyalarining xususiyatlari.....	319
9.5.2.	A-PON texnologiyasi.....	323
9.5.3.	E-PON texnologiyasi.....	328
9.5.4.	G-PON texnologiyasi.....	335
9.5.5.	Abonent tarmoqlarida qo'llaniladigan passiv optik qurilmalarni solishtirish.....	342
9.5.6.	Optik ulanish tarmoqlarida G-PON texnologiyasini qo'llash.....	344
9.5.7.	G-PON texnologiyasining xarakteristikaları.....	347
9.5.8.	G-PON texnologiyasi orqali optik tarmoqqa ulanishni tashkil etish.....	348
	Nazorat savollari	353
	X-BOB. OPTIK ALOQA TIZIMLARI VA TARMOQLARI SINXRONIZATSIYASI	
10.1.	Asosiy tushunchalar. Sinxronizatsiya turlari, tizimlar va tarmoqlarning sinxronizatsiyalash usullari va prinsiplari	354
10.1.1.	Sinxrosignal manbalarining asosiy parametrlari.....	356
10.1.2.	Sinxronizatsiya tizimlarining asosiy parametrlari.....	358

10.2.	Telekommunikatsiya tarmoqlarida sinxronizatsiyalash usullari.....	360
10.3.	SRI/SDH apparaturalarida sinxronizatsiyalash rejimlari.....	364
10.4.	Optik aloqa tarmoqlari uchun sinxronizatsiya tizimi qurilmalari.....	368
10.5.	Tarmoqning taktli sinxronizatsiyasining asosiy tuzilish prinsiplari va standartlari	371
10.5.1.	Tarmoqning taktli sinxronizatsiyasini tuzilish prinsiplari...	371
10.5.2.	Tarmoqning taktli sinxronizatsiya tizimini tuzish.....	373
10.6.	Tarmoqning taktli sinxronizatsiyasini boshqarish tizimi.....	379
	Nazorat savollari	387
	XI-BOB. OPTIK ALOQA TIZIMLARI VA TARMOQLARINING AXBOROT XAVFSIZLIGI	
11.1.	Umumiy qoidalar. Atamalar va ta'riflar.....	388
11.2.	Xavfsizlik tizimining tuzilishiga talablar.....	394
11.3.	Aloqa tarmog'i xavfsizligi.....	395
11.4.	Xavfsizlikni boshqarishning umumiy xizmatlari.....	396
11.5.	Tolali optik uzatish liniyalarining zaifligi.....	397
11.5.1.	Optik aloqa tizimlari va tarmoqlarining axborot xavfsizligini ta'minlash uslublari va vositalari.....	407
11.5.2.	Nazorat signallari uslublari va qo'llanish soxalari.....	407
11.5.3.	Tolali optik liniya traktlarining xavfsizligini ta'minlash uslublari.....	409
	Nazorat savollari	416
	XII-BOB. OPTIK ALOQA TIZIMLARI VA TARMOQLARINI LOYIHALASH	
12.1.	Tizim va uzatish liniyalarini loyihalashga tizimli yondoshish asoslari.....	417
12.2.	Uzatish aloqa liniyasi uchastkalarining uzunligini hisoblash va loyihalash.....	435
12.2.1.	Tolali optik uzatish liniyasi uchastkasini hisoblash.....	435
12.2.2.	SRI/SDH asosidagi TOUL ni loyihalash xususiyatlari	451
12.3.	To'lqin uzunligi bo'yicha ajratilgan multipleksorlangan optik aloqa uzatish liniyalarini loyihalash xususiyatlari.....	459

12.3.1. To'liqin uzunligi bo'yicha multipleksorlangan optik aloqa tizimi va uzatish muhitining xarakteristikalarlari	459
Nazorat savollari	465
FOYDALANILGAN ADABIYOTLAR	466
MUNDARIJA.....	468

**RIXSI ISAYEV
GULNORA XASANOVNA MIRAZIMOVA
DILDORA XASANOVNA IBATOVA**

OPTIK ALOQA TIZIMLARI

Darslik

Toshkent - "METHODIST NASHRIYOTI" - 2024

Muharrir: Bakirov Nurmuhammad

Texnik muharrir: Tashatov Farrux

Musahhih: Muhammadiyeva Sevinch

Dizayner: Ochilova Zarnigor

Bosishga 1.04.2024.da ruxsat etildi.

Bichimi 60x90. "Times New Roman" garniturasini.

Ofset bosma usulida bosildi.

Shartli bosma tabog'i 30. Nashr bosma tabog'i 29,75.

Adadi 300 nusxa.

*"METHODIST NASHRIYOTI" MCHJ matbaa bo'limida chop etildi.
Manzil: Toshkent shahri, Shota Rustaveli 2-vagon tor ko'chasi, 1-uy.*



+99893 552-11-21

Nashriyot rozilgisiz chop etish ta'qiqlanadi.

ISBN 978-9910-03-133-5



9 789910 031335

