

**O‘ZBEKISTON RESPUBLIKASI OLIY VA O‘RTA MAXSUS
TA‘LIM VAZIRLIGI**

O. O. HOSHIMOV, S. S. SAIDAHMEDOV

ELEKTR YURITMA ASOSLARI

Oliy o‘quv yurtlari uchun darslik

TOSHKENT — 2007

31.261.2

H 71

Darslikda elektr yuritma tizimidagi o'zgarmas va o'zgaruvchan tok elektr dvigatellarining elektromexanik xususiyatlari, tavsiflari, ularning tezligini rostdash usullari, elektr yuritma dvigatellarining quvvatini hisoblash va tanlash usullari bayon qilingan, shuningdek, zamonaviy mikroprotessorli elektr yuritmalarning tuzilishi va ishlashi, energiya tejoychi elektr yuritmalarning qo'llanishi to'g'risida ma'lumotlar berilgan.

Taqrizchilar:

Toshkent temir yo'l muhandislar
instituti professori, texnika fanlari doktori *N.M Aripov*

Texnika fanlari nomzodi, dotzent *X.A Alimov.*

KIRISH

Mamlakatimizda ishlab chiqarilayotgan elektr energiyaning 60% dan ortiqrog'i ish mexanizmini harakatga keltiruvchi avtomatlashtirilgan elektr yuritmalar tomonidan iste'mol qilinmoqda. Sanoat, qishloq xo'jaligi, kommunal va boshqa tarmoqlarning barcha sohalarida, turli mashina va mexanizmlar hamda qurilmalardan keng foydalaniladi. Har qanday mexanik jarayonni amalga oshirish uchun mexanizm va mashinaning ish organini harakatga keltirish darkor. Bu esa *yuritma* vositasida amalga oshiriladi, xususan, elektr energiya mexanik energiyaga aylantiriladi.

Yuritma energiyani ma'lum yo'naltirilgan maqsadda o'zgartirishi kerak. Shuning uchun uning tarkibiga bu funksiyalarni amalga oshiruvchi qurilmalar va boshqaruv vositalari kiritilishi darkor. Bu maqsadga elektr yuritma yordamida avtomatik boshqaruv asosida erishiladi.

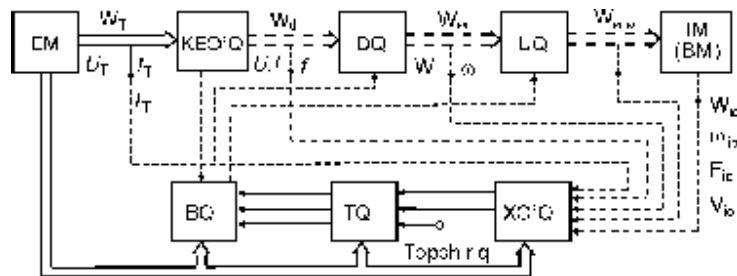
Elektr yuritma deb mashinalarning ish organlarini harakatga keltiradigan hamda bu jarayonlarni maqsadga muvofiq boshqaradigan, hamda elektr dvigatel, kuchli o'zgartgich, boshqarish, axborot hamda kuchli o'zgartgich, boshqarish, axborot hamda uzatish qurilmalaridan tashkil topgan murakkab elektromexanik tizimga aytiladi.

Yuritmaning «chiqish» koordinatlariga ish mashinasi organlarining me'yorda ishlashi uchun zarur bo'lgan elektromagnit moment M yoki kuch F va harakat koordinatlari: burchak tezlik w yoki chiziqli tezlik n hamda ularga mos harakat yo'nalishi bo'laklari Da , DS kiradi.

Yuritma elementlari quyidagilardan iborat.

Uzatish qurilmasi harakat shakllarini o'zgartirish va mexanik energiyani dvigatel qurilmasidan mashinaning ish organlariga uzatish uchun mo'ljallangan.

Dvigatel qurilmasi elektromexanik o'zgartgich bo'lib, elektr energiyasini mexanik energiyaga aylantiradi va uzatish qurilmasi bilan birgalikda ish organining berilgan harakat turlarini shakllantiradi.



1- rasm. Avtomatlashtirilgan elektr yuritmaning
2- funksional sxemasi.

Kuchli o'zgartgich qurilmasi elektr yuritma tizimini elektr manbayi bilan bog'lash uchun (masalan, sanoat elektr tarmog'i bilan) elektr energiyani bir turdan ikkinchi turga o'zgartirish uchun (masalan, o'zgaruvchan tokni o'zgarmas tokka aylantirish) xizmat qiladi. Kuchli o'zgartgich qurilmasining asosiy vazifasi jarayon davomida boshqariladigan energiya oqimini shakllantirishdan iborat. Elektr yuritma tizimlarida ish mashinalari, mexanizmlar va ish jarayonlarida «energiyani tejaydigan» texnologiyalarni qo'llash, tiklanuvchi energiya manbalarini yaratish kuchli o'zgartgich, dvigatel va uzatish qurilmalarining xususiyatlariga bog'liq.

Boshqarish va axborot qurilmalari energiya oqimi W va mashinalarning ishchi organlari harakatlarini boshqarishning berilgan qonuniyatlar bo'yicha shakllantirish uchun mo'ljallangan.

Avtomatlashtirilgan elektr yuritmani avtomatik boshqariluvchi elektromexanik tizimning (ABT) keng qo'llaniladigan turi deb qarash mumkin.

Avtomatlashtirilgan elektr yuritmaning funksional sxemasi 1-rasmda ko'rsatilgan. Bu sxema elektr yuritmaning ayrim elementlari va ular orasidagi bog'lanishlarni kengroq o'rganish imkoniyatini beradi. Bu yerda ingichka chiziqlar bilan elektr energiyani uzatish kanallari, qo'sh punktir chiziqlar

ingichka chiziqlar bilan elektr energiyani uzatish kanallari, qo'sh punktir chiziqlar bilan mexanik energiyani uzatish kanallari, punktir chiziqlar bilan esa, elektr yuritma yoki bajaruvchi mexanizmning o'lchanayotgan koordinatlari to'g'risida axborot uzatish kanallari ko'rsatilgan.

Energiya manbalari (EM) odatda, sanoat elektr tarmog'i yoki maxsus akkumulyator batareyasi, individual generator ko'rinishidagi mustaqil manba bo'lishi mumkin. Bu hol asosan uchish apparatlari va kemalardagi «bort» tizimlarida qo'llaniladi.

Kuchli elektr o'zgartgich qurilmasi (KEO'Q) — rostlanmaydigan kuchlanish U_t , tok I_t va chastota f_t ni U_t dan (masalan, tarmoqdan) olib dvigatelni ta'minlaydigan U , I va f ga ega bo'lgan elektr energiya W_{q} ga aylantirib beradi.

Avvallari KEO'Q sifatida elektr mashina o'zgartgich qurilmalari ishlatilar edi. Hozirda asosan o'zgaruvchan tokni o'zgarmas tokka aylantirib beradigan kuchli yarim o'tkazgich o'zgartgichlar tiristorli boshqariluvchi to'g'rilagich (BT), tranzistorli-impuls o'zgartgichlar hamda o'zgaruvchan tok kuchlanishi shaklini o'zgartirib beradigan turli tranzistorli va tiristorli invertorlar hamda chastota o'zgartgichlari qo'llaniladi.

Dvigatel qurilmasi (DQ) elektr energiyani W_{q} rotorni (yakorni) chiziqli yoki aylanma harakatga keltiradigan mexanik energiyaga W_m aylantirib beradi. Mexanik energiya W_m oqimi mexanik uzatish qurilmasidan o'tib, xuddi shu ko'rinishdagi energiya W_{im} ga aylanadi, bu esa ish mashinasi orqali qabul qilinadi.

IMlarda W_i energiya aylanma harakatda koordinatlari $M_{i,0}$ — qarshilik momenti, w_{im} — burchak tezlik hamda ilgarilanma harakatda esa koordinatlari

$F_{i.O}$ — qarshilik kuchi va $V_{i.O}$ — chiziqli tezlikka ega bo'lgan ish organi (IO)ning mexanik ishiga aylantiriladi.

Tabiiyki, energiya oqimi M_t ni M_i ga aylantirish elektr yuritma elementlarining sifati hamda energiya oqimini boshqarish qonuniga ko'ra isroflar bilan amalga oshiriladi.

Boshqarish qurilmasi (BQ) KEO'Q yoki DQ, yoki O'Qlarning ayrim, ba'zi hollarda esa bir vaqtning o'zida ikki, uch qurilma koordinatlarini boshqaradi. Boshqarish qurilmasi boshqarish qonunini berish qurilmasi BQ berilayotgan axborot va xabarchi o'zgartgichlardan kelayotgan axborotlarni taqqoslab, kerak bo'lgan ko'rinishda shakllantiradi. *Xabarchi* — o'zgartgichlar elektr yuritmaning turli koordinatlarini (momentlar, kuchlar, burchak va chiziqli tezlik, tok, kuchlanish va h.k.) o'lchashga mo'ljallangan axborot — o'lchov qurilmalari ko'rinishida bo'lib, ular bu koordinatalarni bir turdagi (masalan, kuchlanish) elektr signallariga aylantiradi.

Elektr yuritmalarning asosiy turlari va ularning vazifalari. Barcha elektr yuritmalarni funksional vazifalari, energiyaning bo'linishi, ish mashinasi chiqish o'qining harakat shakli, iste'mol qilayotgan tok turi, o'zgartgich, dvigatel, uzatish va boshqarish qurilmalarining o'ziga xos xususiyatlari va boshqa holatlari bo'yicha bir nechta turlarga bo'lish mumkin.

Funksional vazifalari bo'yicha elektr yuritmalar *bosh* va *yordamchi elektr yuritmalarga* bo'linadi. Bosh elektr yuritma jarayonning asosiy operatsiyasini yoki ish mashinasining ijrochi organini harakatga keltiradi. Yordamchi elektr yuritma esa, mashinaning yordamchi organlarining harakatini ta'minlaydi. Masalan, tokarlik dastgohi bosh elektr yuritmasi ishlov berilayotgan detalni aylanma harakatga keltiradi, yordamchi elektr yuritma esa kesish asbobini detalning bo'ylamasiga bo'yicha ilgari harakatga keltiradi.

2- rasm. Guruhli elektr yuritmaning funksional sxemasi.

Energiyaning bo'linishi bo'yicha elektr yuritmalar *guruhli, individual, o'zaro bog'langan va ko'p dvigatellilarga* bo'linadi.

Guruhli elektr yuritma sanoatda XIX asr oxirida qo'llanila boshlandi. Bu yuritmada (2-rasm) bug' dvigateli elektr dvigatel M bilan almashtirilgan, bir nechtaish mashinalariga (IM_m) harakat uzatadigan uzatish qurilmalari UQ_m holida saqlanib qolgan.

Muayyan afzalliklarga ega bo'lgan yuritmaning bu turi mashinani maqsadga muvofiq tarzda boshqarib bo'lmasligi, uzatish qurilmalarida energiyani ko'p isrof bo'lishi kabi kamchiliklarga ega.

3- rasm. Individual elektr yuritmaning funksional sxemasi.

Bundan tashqari bu qurilmalar ko'p sonli uzatish tasmlari va transmissiyalardan tashkil topganligi uchun, ular ishlatish chog'ida ishchilar hayotiga xavf tug'diradi.

Individual elektr yuritma ish mashinasining bitta ijrochi organining harakatini ta'minlaydi (3- rasm). Shuning uchun, bitta mashina uchun bir necha individual yuritmalar ishlatiladi. Masalan, tokarlik dastgohida individual bosh va ikkita yordamchi yuritmalar ishlatiladi. Individual elektr yuritma tizimida energiya elektr zanjirlarida bo'linadi. Bu yuritma uzatish qurilmalari va ish mashinasi kinematikasini soddalashtirish imkoniyatini beradi. Aksariyat hollarda ish mexanizmining ijrochi organining o'qi dvigatel rotori (yakor) bilan umumiy o'q hosil qiladi. Individual elektr yuritmaning asosiy afzalliklari bu energiyani bo'linishidagi isrofning kamayishi, UQ va IM kinematikasini soddalashtirish hisobiga metall sarfini kamaytirish, elektrlashtirilgan agregat ishonchliligini oshirish, ijrochi organlarni boshqarish jarayonlarini avtomatlashtirishni soddalashtirish imkonining mavjudligidadir.

O'zaro bog'langan elektr yuritma ikkita yoki bir nechta (o'zaro mexanik yoki elektr) bog'langan elektr yuritmalarning ish jarayonida berilgan nisbatga ko'ra yoki ijrochi organ harakatini muayyan koordinatalar bo'yicha takrorlash amalga oshiriladi. Hozirda amaliyotda o'zaro bog'langan elektr yuritmalar qog'oz ishlab chiqarish va sanoatning turli tarmoqlarida keng ko'lamda qo'llanilmoqda.

Bunday elektr yuritmalarning afzalliklari ular yordamida texnologik jarayonni yanada yuqori darajaga ko'tarish va shu yo'l bilan avtomatlashtirishni amalga oshirilishidadir.

Ko'p dvigatelli elektr yuritma deb, elektr dvigatel qurilmasi birgalikda bitta o'qda yoki bitta mashinada o'qlari o'zaro bog'lanmagan yuritmaga aytiladi (4-rasm). Bunday elektr yuritmalarda texnologik yoki texnik imkoniyatlardan kelib chiqqan holda bir emas,

4- rasm. Ko'p dvigatelli elektr yuritmaning funksional sxemasi.

balki bir nechta elektr dvigatel qurilmalaridan foydalaniladi.

Elektr yuritmaning tarixi XIX asrning birinchi yarmidan, ya'ni magnit maydonining tok oqayotgan o'tkazgich bilan o'zaro mexanik ta'siri to'g'risidagi qonun, elektromagnit induksiya qonuni hamda bu qonunlar asosida aylanuvchi harakatni amalga oshiradigan o'zgarmas tok elektr dvigateli kashf etilishidan boshlangan. Keyinchalik o'zgaruvchan tokni uzatishning uch fazali tizimini, transformator va asinxron dvigatelning yaratilishi elektr yuritmani sanoatda keng qo'llash imkoniyatini yaratdi.

So'nggi yillarda turli konstruksion va ko'rinishdagi elektromexanik o'zgartgichlardan foydalanish, hisoblash texnikasi vositalarini boshqarish tizimlariga keng ko'lamda qo'llash va elektr yuritmaning boshqa funksiyalarini avtomatlashtirish tufayli elektr yuritma nazariyasida yangi yo'nalishlarga asos solindi.

Birinchi yo'nalish — elektromexanik o'zgartgichlardan elektromagnit, pyezokeramik va boshqa dvigatellarning yangi konstruksiyalari xususiyatlarini kengroq o'rganish.

Ikkinchi yo'nalish — elektr yuritma tizimi dinamikasini tadqiq etishning yangi usullarini ishlab chiqish zarurligi.

Uchinchi yo'nalish — yuritma va uning elementlari tavsifini hisoblashning an'anaviy usullaridan voz kechib, yangi samarali usullarni yaratish va ularning

dastur ta'minotini amalga oshirish. To'rtinchi yo'nalish — energiya tejamkorligini ta'minlaydigan avtomatlashtirilgan elektr yuritmalarini ishlab chiqish va ularni amalda tatbiq etish.

Hozirda komplekt yuritmalar, ularning kuchli qismlarini boshqarishning kompyuter tizimi yaratilgan bo'lib, bular yuqorida keltirilgan yo'nalishlarni ma'lum darajada hal etish imkonini beradi.

Elektr yuritma asoslari fanini rivojlantirishda o'zbek olimlarining tutgan o'rni. O'zbekistonda irrigatsiya sug'orish ishlarida, qishloq xo'jaligida, paxtani va boshqa mahsulotlarni qayta ishlash va to'qimachilik sanoatida, qurilish materiallarini ishlab chiqarishda asosan asinxron elektr yuritmalar qo'llaniladi. Bu asinxron dvigatelda kollektor yo'qligi tufayli uning energetik ko'rsatkichlari yuqori bo'lishi, tarmoqqa to'g'ridan-to'g'ri ulanganligi uchun ularni boshqarish osonligi shuningdek, ularga xizmat ko'rsatish va foydalanishning qulayligi bilan bo'liqdir.

Respublikamiz qishloq xo'jaligi va sanoati ravnaqi yo'lida o'zbek olimlari o'zgaruvchan va o'zgarmas tok elektr yuritmalarni yaratish, tadqiq etish, sanoat hamda qishloq xo'jaligida keng qo'llash bo'yicha ilmiy izlanishlar olib bordilar.

Ilmiy izlanishlar boshida yetakchi olim akademik Muzaffar Zohidxonovich Homudxonov turdi. 50-yillardayoq akademik M. Z. Homudxonov asinxron elektr yuritmalarni chastotali boshqarish muammolari dolzarbligini aniqlab, shu yo'nalish bo'yicha ilmiy ishlar olib bordi. Bunda olim asinxron dvigatelni chastotali boshqarish iqtisodiy jihatdan qulayligini, uning tezligini keng ko'lamda rostlash ravonligini oshirishning yagona usuli ekanligini hisobga olib, akademik M. P. Kostenkoning chastotali boshqarish qonunini rivojlantirdi va bu yo'nalish bo'yicha maktab yaratib unga boshchilik qildi. U 1959- yilda «Частотное управление асинхронным электроприводом», 1966- yilda esa shogird olimlar bilan birgalikda «Частотное регулирование скорости электроприводов переменного тока с автоматическим управлением от вентильных преобразователей» nomli yirik ilmiy asarlarini chop ettirdi.

Bu monografiyalarda olimlar chastotali boshqarishda, tezlikni rostlashda o'zgaruvchan tok dvigatelining tavsifini hisoblash nazariyasi va usullarini bayon qilib, bu dvigatel ventilli chastota o'zgartgichidan boshqarilayotgandagi statik hamda dinamik rejimlarini nazariy va amaliy tadqiq etish natijalarini keltirganlar. Shu bilan birga avtonom invertorlarning yangi sxemalari yaratilib, ularning xususiyatlari va qo'llanish ko'lami aniqlangan.

Avtomatlashtirilgan chastota bilan boshqariluvchi tiristorli elektr yuritmalarning ishonchligini, texnik-iqtisodiy hamda energetik ko'rsatkichlarini oshirish uchun chastotali elektr yuritmalari xususiyatlarini kompleks tadqiq va tahlil etish nafaqat normal (simmetrik), balki maxsus anomal (nosimmetrik) rejimlar uchun sanoat mexanizmlarining turli yuklamalarida amalga oshirish talab etiladi. Anomal rejimlarda ishlayotgan elektr yuritmalarning nazariy asoslarini, hisoblash usullari, statikasi, dinamikasi, issiqlik dinamikasi va issiqlik rejimlarini hamda asinxron dvigatelning normal rejimga mos keladigan asosiy ko'rsatkichlarini optimallashtirish

masalalari professor O. O. Hoshimov rahbarligidagi olimlar tomonidan ishlab chiqilib, sanoatga tatbiq etildi.

O'zbekistonda qishloq xo'jaligini rivojlantirish, ekinlarni sug'orish, yerning sho'rlanishini oldini olishda drenaj quvurlardan foydalanish, olimlar oldiga katta nasos stansiyalari, sho'r suvlarni chiqarib tashlash bo'yicha zamonaviy elektr yuritmalarni yaratish, ularni amaliyotga tatbiq etish masalalarini qo'ydi. Bu masalalarni M. Z. Homudxonov shogirdlaridan professorlar S. Z. Usmonov, T. S. Kamolov va M. A. Husanovlar boshchiligidagi bir guruh olimlar muvaffaqiyatli hal etdilar.

Sanoatda va kichik quvvatli qurilmalarda ijrochi dvigatel sifatida qo'llaniladigan bir fazali kondensatorli asinxron dvigatelli elektr yuritmalar, katta yuk ko'taradigan ko'targich kranlarda elektr o'qni tashkil etadigan elektr yuritmalarni ishlab chiqish, tadqiq etish ishlarini professor N. M. Usmonxo'jayev rahbarligidagi bir guruh olimlar amalga oshirdilar.

Chastotasiga ko'ra boshqariluvchi avtomatlashtirilgan elektr yuritmalarini ixtirosi uchun akademik M. Z. Homudxonov rahbarligidagi bir guruh olimlar S. Z. Usmonov, N. M. Usmonxo'jayev, O. O. Hoshimov, M. A. Husanov, K. Mo'minovlar O'zbekiston Hukumatining qarori bilan ilm-fan va texnika sohasidagi Abu Rayhon Beruniy nomidagi O'zbekiston Davlat mukofotiga sazovor bo'ldilar. 1966-yil Toshkentda bir necha qattiq yer silkinishlaridan keyin panelli uylar qurilishi bir necha bor ortdi. Qurilishning zamonaviy tezkor usullari qo'llanila boshlandi. Bu esa olimlar oldiga uy-joy qurilish kombinatlaridagi temir-beton plitalarni elektr yuritma yordamida zichligi va mustahkamligini oshirish, yangi qurilayotgan imorat va inshootlarning zilzilaga bardoshlilikini tekshirish va oshirish masalasini qo'ydi. Shularni hisobga olib, professor N. H. Bozorov rahbarligidagi olimlar tomonidan elektr yuritma nazariyasida yangi sahifa bo'lgan titratgich elektr yuritmasining yangi, yengil, chidamli va kam energiya sarflaydigan turlari yaratilib, qurilish sanoatida keng ko'lamda qo'llanildi. Bundan tashqari, imorat va inshootlarni zilzilabardoshlikka tekshiradigan elektr yuritma tadqiq etildi va yangi yaratilgan imorat va inshootlar shu avtomatlashgan elektr yuritma yordamida tekshirilib ishlab chiqarishga tavsiya etildi.

Sanoatda katta quvvatga ega bo'lgan qurilma va agregatlar keng ko'lamda qo'llaniladi. Bu esa katta quvvatga ega bo'lgan elektr yuritmalarning tezligini rostdashda sirpanish energiyasini tarmoqqa qaytaradigan tizimlarni ishlab chiqishni, ya'ni, asinxron ventil kaskadlarini qo'llashni taqozo etadi. Bundan tashqari lift ko'targich va shunga o'xshash qurilmalarda bir necha xil tezlikni ta'minlovchi asinxron dvigatellar qo'llaniladi. Yuqorida qayd etilgan avtomatlashgan elektr yuritmalar nazariyasini professor X. Karimov rahbarligidagi olimlar amaliyotga tatbiq etdilar. Olim boshchiligida asinxron ventil kaskadli elektr yuritma ishlab chiqildi va uning ishlash rejimlari tadqiq etilib, korxonalarda qo'llashga tavsiya etildi. Asosan, qisqa tutashgan rotorli qutblari kontaktsiz o'zgartiriladigan ko'p tezlikli asinxron dvigatel yaratildi va bu dvigatel liftlarning avtomatlashtirilgan elektr yuritmasida qo'llana boshladi.

Hozirda, energiya resurslarining taqchilligi sezilayotgan bir paytda o'zbek olimlari yuqorida ko'rsatilgan yo'nalishlarda elektr energiyani tejash bo'yicha ilmiy izlanishlar olib borib, respublikamizning qishloq xo'jaligi va sanoatining barcha sohalariga izchillik bilan tatbiq etmoqdalar. Jumladan, professor O. O. Hoshimov rahbarligida olib borilgan ilmiy tadqiqotlar asosida yangi energiyani tejamlovchi avtomatlashtirilgan elektr yuritmalar turkumi joriy qilindi. Natijada metallurgiya sanoatida o'rtacha 30—40% energiya tejamkorligiga erishildi.

O. O. Hoshimov tashabbusi bilan MHDM ichida ilk bor «Energiyani tejovchi elektrotexnika tizimlari va komplekslari» bakalavr ta'limi yo'nalishi va «Sanoat qurilmalari va komplekslarining energiyani tejovchi elektr jihozlari va tizimlari» magistratura mutaxassisligi hamda Germaniyaning Berlin texnika universiteti, Gretsiyaning Afina ta'lim texnologiya instituti va Toshkent Davlat texnika universiteti hamkorligida «Energetika menejmenti» magistratura mutaxassisligi va zamonaviy laboratoriyalari tashkil qilindi hamda energiyani tejash masalalari bilan shug'ullanuvchi malakali kadrlar tayyorlash amalga oshirildi.

I bob. ELEKTR YURITMA MEXANIKASI

1.1. ELEKTR YURITMA MEXANIK QISMINING DINAMIK MODEL, FUNKSIONAL SXEMASI VA ASOSIY ELEMENTLARI

Elektr yuritmaning mexanik qismini «qattiq» mashinaning dinamik modeli sifatida qarash mumkin. Bunda modelning hamma zvenolari harakat jarayonida sezilmaydigan darajada ezilganligi bois, bu ezilishni hisobga olmasa ham bo'ladi; kinematik juftliklar lyuft va oraliqlarga ega emas, ya'ni ularning harakatini aniqlaydigan golanom bog'lanish tenglamalari ideal holatga mos keladi.

Mexanikada golanom bog'lanishlar deb elementlar tezliklari nisbatlari berilganda ularning tenglamalari elementlar harakati orasidagi nisbatlarni ko'rsatadigan bog'lanishlarga aytiladi. Bu holda bog'lanish tenglamalari integrallanadi.

Bu yerda individual yuritma ko'rib chiqilayotgan bo'lganligi uchun bunday biki mashinaning dinamik modeli bitta erkinlik darajasiga ega bo'ladi. Yuritmaning mexanik qismida real kinematik bog'lanishlar va juftliklarning deformatsiyasi hamda turli titrashlarga va umumiy tebranishlarga sabab bo'ladigan potensial energiyaning taqsimlanishi yuz beradi. Bu tebranishlar ayrim zvenolarda qo'shimcha dinamik yuklamalarga

1.1- rasm. Elektr yuritma mexanik qismining funksional sxemasi:

M — dvigatel, UM_1 va UM_2 — ulanish muftalari; UQ — uzatish qurilmasi (reduktor); IO — ijrochi mexanizmning ish organi.

olib keladi va ijrochi mexanizmning aniq ishlashiga ta'sir ko'rsatadi.

Elektr yuritma mexanik qismining funksional sxemasini o'rganish, biki mashinaning dinamik modeli kinematikasini aniqlashga va ayrim elementlari hamda bog'lanishlari parametrlarini aniqlashga yordam beradi.

Masalan, 1.1-sxemada dvigatel M energiyaning elektromexanik o'zgartgichi bo'la turib, o'zining biki qo'zg'aluvchi mexanik qismlari, ya'ni, aylanuvchi yakorga

(o'zgarmas tok mashinalari uchun) yoki rotorga (o'zgaruvchan tok mashinalari uchun) ega. Bu element inersiya momenti J_{q} , burchak tezlik ω_{q} va elektrmagnit moment M_{q} bilan tavsiflanadi. Aylanmas harakatdagi ijrochi mexanizmning qo'zg'aluvchan birlikka ega bo'lgan ish organi IO inersiya momenti J_{m} , burchak tezlik ω_{m} va moment M_{m} bilan tavsiflanadi.

Ilgarilama harakatda ish organ M massa, V chiziqli tezlik va F kuch bilan tavsiflanadi.

1.2- rasm. Uzatish qurilma turlari:

a — reduktor; b — tishli-reykali uzatma;

d — krivoship-shatunli mexanizm; e — yuk ko'tarish barabani;

f — vint-tebranma gayka uzatmasi.

Uzatish qurilmalari (UQ) o'zining konstruktiv va funksional tuzilishi bo'yicha turlicha bo'ladi (1.2- rasm).

Reduktor (1.2- rasm, a) harakatni ω_{kir} dan ω_{chiq} ga uzatayotganda burchak tezligini o'zgartiradi. Reduktorning har bir elementi o'zining burchak tezligi $\omega_1, \dots, \omega_m$, ularga mos bo'lgan inersiya momenti $J_1, \dots, J_m$ hamda ayrim uzatish pog'onalaridagi uzatish nisbati bilan tavsiflanadi, masalan,

$$J_1 = \omega_{\text{kir}} / \omega_1, \quad (1.1)$$

bu yerda: ω_{kir} va ω_1 — mos ravishda, yetakchi va yetaklanadigan o'qlarning burchak tezliklari.

Tishli-reyka uzatkich (1.2- rasm, b) ω burchak tezlik bilan aylanayotgan tishli g'ildirakning aylanma harakatini reykaning chiziqli tezlik v ga teng bo'lgan chiziqli harakatiga aylantirib beradi. Bu holda uzatish nisbati

$$J = \omega R / v.$$

Xuddi shu formula yordamida yuk ko'tarish qurilmasining (1.2- rasm, *e*) uzatish nisbati aniqlanadi.

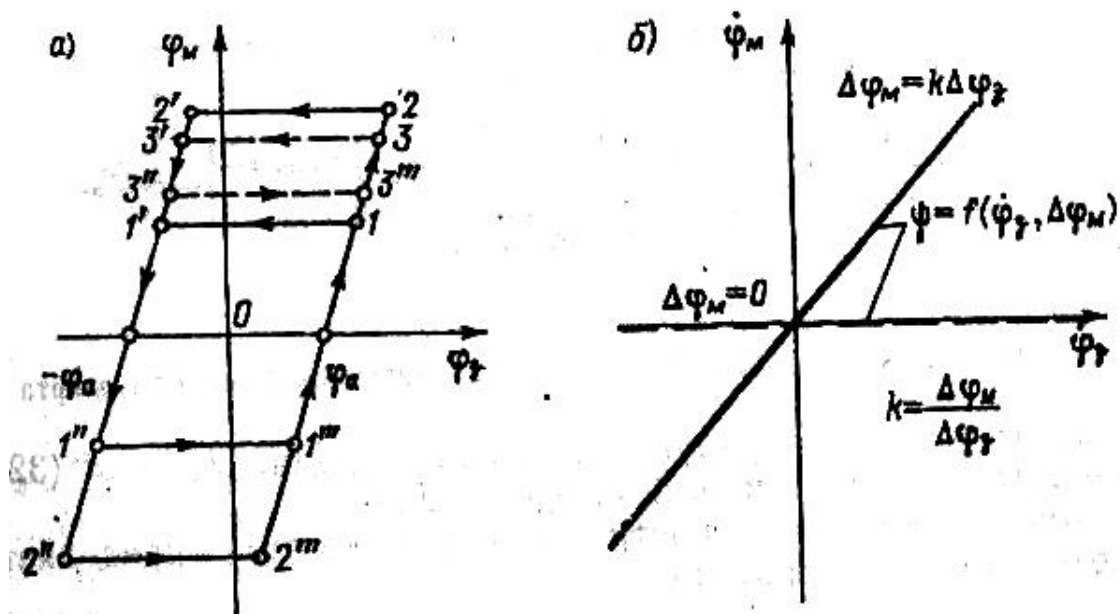
Krivoship-shatun mexanizmi (1.2- rasm, *d*) o'zgaras burchak tezlik w bilan aylanayotgan krivoshipning aylanma harakatini polzunning $V(t)$ o'zgaruvchan chiziqli ilgari lama-qaytma harakatiga aylantirib beradi.

Zamonaviy dastgoh yuritmalarida ko'pincha «vint-tebranish gaykasi» uzatish qurilmalaridan (1.2- rasm, *f*) foydalaniladi. Odatda, zoldirli gayka 1 siljiyotgan uzal 2 ga qattiq mahkamlangan va 3 vint aylanishi natijasida uzal 2 uning bo'ylamas bo'yicha siljiydi. Bunday UQ yuqori aniqlikka ega bo'lib, ijrochi mexanizmni 2,0—2,5 m ga siljitadi. Katta chiziqli siljitish uchun tishli-reyka uzatkichi qo'llaniladi.

Yuqorida ko'rsatilgan uzatkichlardan tashqari UQ ning to'liqinli uzatkichlar, planetar reduktorlar, tasmali uzatkichlar va boshqa turlari qo'llaniladi.

Chegaralashlar olib tashlangandagi, ya'ni kinematik juftliklarda lyuft (liqillash) lar va oraliqlar mavjud; kinematik juftliklarning bir – biriga nisbatan o'zaro surilish imkoni bo'lib natijada sirpanish paydo bo'ladi; kinematik zanjirning ayrim elementlari qayishqoqlikka ega (CM1) bo'ladigan yuritmaning kinematik zanjirini xuddi «qayishqoq» mashina kabi ko'rib chiqamiz.

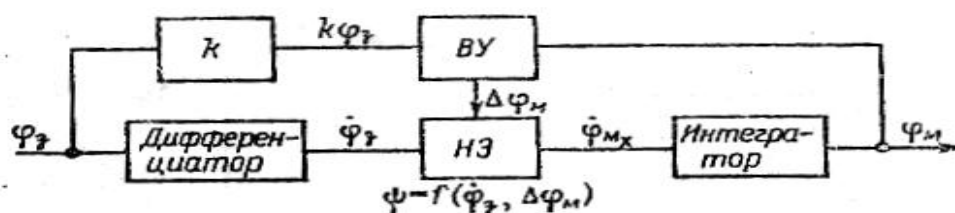
Lyuftni murakkab burchak va tezlik tavsiflarga ega bo'lgan ko'p belgili element ko'rinishida keltirish mumkin. Bu elementning statik rejimlarida o'zini tutishini korib chiqamiz. (1.3. –rasm). Agarda boshlang'ich nuqta 0 koordinata boshida tanlangan bo'lsa va CM2 muftasining yetaklovchi qismining zavodka burchagi φ_3 musbat yonal'ishida o'zgarsa, u holda muftaning yetaklovchi qismi qo'zg'almas bo'lib qoladi va to φ_3 ning qiymati φ_a ra erishmaguncha φ_m qiymati nolga teng bo'ladi. Shundan so'ng esa o'zgaras uzatish koeffitsienti K bilan birgalikda o'zgarish $\Delta\varphi_m = K\Delta\varphi_3 = K(\varphi_3 - \varphi_a)$ yuz beradi. Bunday harakat φ_3 va φ_m koordinatalarining har qanday qiymatigacha davom etishi mumkin. 1-4.a rasmda koordinatalar 1 va 2 nuqtalar bilan belgilangan. Bundan keyin koordinatalarning o'zgarishi har qanday yopiq sikl bo'yicha amalga oshishi mumkin, masalan 1 – 1'- 1"-1'''-1 yoki 2 - 2'-2"-2'''- 2, yoki 1-1'-2 – 2"- 1. Zavodka burchagi $\varphi_3(t)$ ning davriy o'zgarishlarida harakatning boshqa variantlari ham bo'lishi mumkin.



1.3 – rasm; Kinematik juftliklar elementlarining mexanik lyuftini uning holatiga
(a) va tezligiga (b) bog'liqligi

Lyuftning tezlik tavsiflari 1.3- rasmda tasvirlangan.

Ularining ko'rinishi turli $\Psi = f(\varphi_3, \Delta\varphi_M)$ nochiqliklarning qiymati bilan aniqlanadi. Burchak tavsiflarining 2'''-2 va 2'-2'' (1.3-rasm) kabi qiyalik uchastkalariga yalpi to'g'ri chiziqqa ega bo'lgan tezlik tavsiflari mos keladi, (1.3-rasm) burchak tavsifining gorizontal uchastkalariga esa punktir chiziq mos keladi.

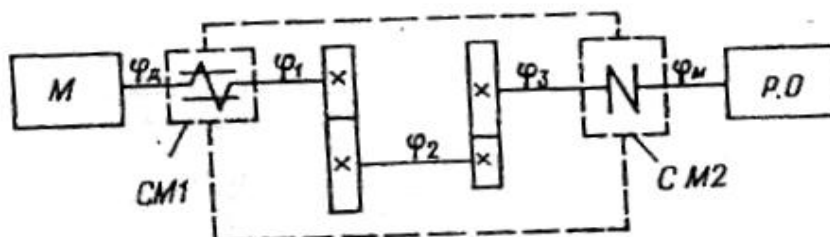


1.4 – rasm; Lyuft matematik modelining funktsional sxemasi

Lyuftning matematik modeli 1.4- rasmdagi ko'rinishga ega bo'ladi.

Bu yerda hisoblash qurilmasi (XQ) $\Delta\varphi_M \neq 0$ da tutashadigan nochiqlik element HЭ (kalitning) ish rejimini aniqlaydigan $\Delta\varphi_M \rightarrow d\varphi_M$ qiymatini hisoblaydi.

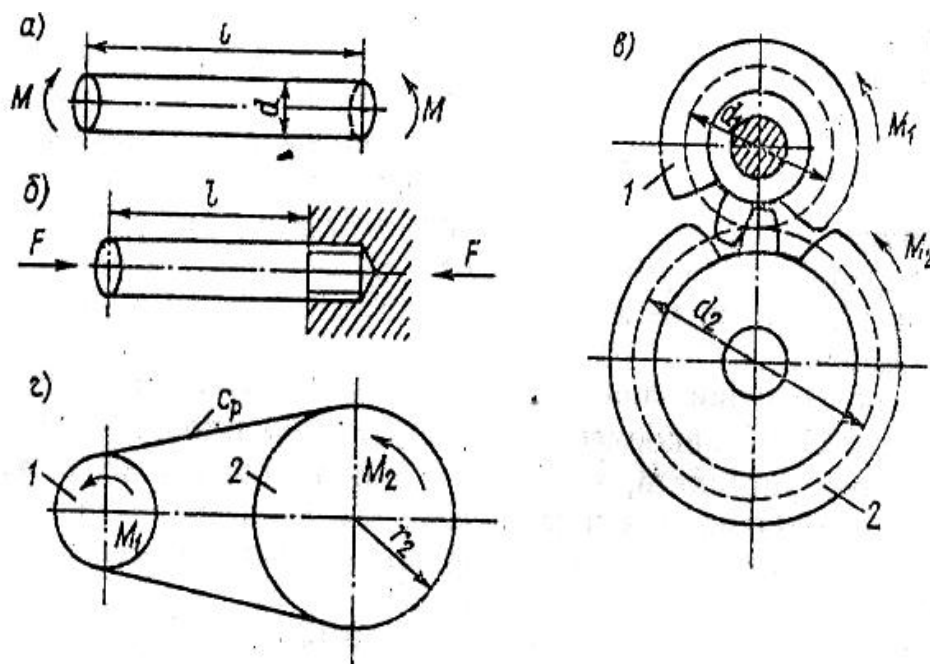
Sxemaning qayishqoq elementlari (1.5-rasm) – CM1 muftasi va o'qlar qayishqoq kuchlar (momentlar) va qarshilik kuchlari (momentlari) bilan xarakterlanadi.



1.5 – rasm; CM1 muftasida qayishqoqligi va CM2 muftasida lyuft mavjud bo'lgan elektr yuritma mexanik qismining funksional sxemasi.

Ko'p uchraydigan qayishqoq elementlarni ko'rib chiqamiz.

Ko'p uchraydigan qayishqoq elementlarning tavsiflari. EMT kinematik zanjirida eng bo'ysinuvchanlari tavsiflari keyinchalik keltiriladigan uzatish qurilmalarining elementlaridir. Lekin shu elementlarning o'zi shunga o'hshash hisob – kitoblardan foydalanishi mumkin bo'lgan boshqa qurilmalar uchun tipik hisoblanadi.



1.6 – rasm; Uzatish qurilmalarining elementlari: a-buralishga ishlaydigan o'q; b-siqilishga ishlaydigan o'q; v-tishli uzatma; g- tasmali(zanjirli) uzatma

Buralishga ishlaydigan o'q (1.6-rasm) burilish burchagi bilan xarakterlanadi, ya'ni

$$\Delta\varphi = M\ell(GJ_B)^{-1}, \quad (1.2)$$

bu erda M – o'qqa qoyilgan aylanuvchi moment; ℓ – o'qning uzunligi; G – ikkinchi darajali qayishqoqli, moduli; $J_B = \pi d^4 (32)^{-1}$ – o'q ko'ndalang kesimning qutb inersiya momenti.

Bikrlik koeffitsienti nyuton metrni radianga nisbati bilan aniqlanadi.

$$C_\varphi = M / \Delta\varphi \quad (1.3)$$

F kuchi qo'yilgan cho'ziladigan yoki siqiladigan sterjen quyidagi bikrlik qiymatiga ega (1.6.b-rasm) (nyutonni metrga nisbati)

$$C_p = F / \Delta l = ES / \Delta l, \quad (1.4)$$

bu yerda Δl – sterjenning chiziqli deformatsiyasi; E – birinchi darajali qayishqoqlik moduli; S – sterjen ko'ndalang kesimining yuzasi.

Silindrik tishli uzatma. Yetaklovchi g'ildirak 1 ning gubchagi mahkamlanganda g'ildirak 2 ga (1.6 b rasm) M_2 momentini qo'yamiz. Tishlarning deformatsiyalanishi natijasida 2 g'ildirak $\Delta\varphi_2$ burchakka buriladi. Shunday qilib uzatish bikrligi (1.3) formula bo'yicha aniqlanishi mumkin. Lekin bu holda bikrlikni 2 g'ildirak o'qiga keltirilgan deb hisoblanadi. shunday qilib,

$$C_{\varphi_2} = M_2 / \Delta\varphi_2; \quad C_{\varphi_1} = M_1 / \Delta\varphi_1, \quad (1.5)$$

Tezlikning muvozanat shartidan quyidagini bilish mumkin, ya'ni

$$M_2 = j M_1 = C_{\varphi_1} \Delta \varphi_2 = C_{\varphi_1} o \Delta \varphi_1 \quad (1.6)$$

bu yerda

$$C_{\varphi_2} = o^2 C_{\varphi_1} . \quad (1.7)$$

Bundan ko'rinib turibdiki, yetaklanuvchi g'ildirak 2 ning o'qiga keltirilgan bikrlilik yetaklovchi g'ildirak 1 o'qiga keltirilgan bikrlilikdan j^2 marta katta bo'lar ekan.

Amaliy hisoblar uchun bikrlilikni aniqlashning quyidagi formulasini bilish foydali:

$$C_{\varphi} = \kappa d^2 B \quad (1.8)$$

bu yerda d - o'qiga bikrlilik keltirilgan g'ildirakning boshlang'ich diametri; V - tishli gardish kengligi; K – po'lat g'ildiraklar uchun $375 \cdot 10^3 \text{H} \cdot \text{sm}^2$, ga teng bo'lgan koeffitsient (tajriba natijasida aniqlangan).

Kamarli va zanjirli uzatmalar (1.6-rasm) C_p – kamar yoki zanjirning cho'zilishga bikrligi bo'lsin. U holda yetaklovchi guruh 1 mahkamlangan bo'lsa yetaklanuvchi g'ildirak 2 $\Delta \varphi_2$ burchakka burilganda tortilgan shoxobchada $F_p = C_p \Delta \varphi_2 r$ kuch hosil bo'ladi, bu yerda r – yetaklovchi guruh radiusi

Ko'rinib turibdiki

$$C_{\varphi_2} = \frac{M}{\Delta \varphi_2} = \frac{F_p r}{\Delta \varphi_2} = \frac{C_p \Delta \varphi_2 r^2}{\Delta \varphi_2} \cdot K_y = C_p r^2 K_y, \quad (1.9)$$

bu yerda C_{φ_2} -yetaklanuvchi guruh o'qiga keltirilgan bikrlilik; K_y - uzatma turining koeffitsienti. Kamarli uzatma uchun $K_y=1$, zanjirli uchun esa $K_y=2$.

(1.9)- formula bo'yicha po'lat arqonli yo'l, yuk ko'tarish qurilmasi barabanli uzatmasidagi po'lat arqon va shunga o'xshash qurilmalarning bikrligini aniqlash mumkin, bu yerda $Q_y=1$ deb qabul qilinadi.

Ulash muftalari barcha uzatish qurilmalarining ajralmas qismidir. Ular qattiq, yarim qattiq va quyushqoq muftalarga bo'linadi. Muftalar yordamida nafaqat yetaklovchi va yetaklanuvchi o'qlar o'zaro mexanik ravishda ulanadi, balki ularning mexanik ravishda siljishi ham bartaraf etiladi. Qattiq muftalar o'q chiziqlarining kichik siljishlarida qo'llaniladi, buni amalga oshirish juda qiyin, lekin o'qlarni qattiq muftalar bilan ulash ularni mutlaq qattiqligini ta'minlaydi.

Ko'pincha yarim qattiq va quyushqoq muftalar qo'llaniladi. Yarim qattiq muftalar ulanayotgan o'qlarning o'q chiziqlarini radial, burchak va kombinatsiyalashgan siljishlarni qoplaydi, quyushqoq muftalar esa bundan tashqari mexanik siltovlar va zarblarni yumshatish imkonini beradi va EMT elementlarini o'qlarini notekis aylanishi natijasida hosil bo'ladigan rezonans tebranishlardan himoya qiladi.

Dissipatit kuchlar va ularning quyushqoq elementlardagi ta'siri. EMT quyushqoq elementlari deformatsiyalanganda nafaqat potensial energiya zaxirasini

qayta taqsimlaydigan quyushqoq kuchlar hosil bo'ladi, balki qarshilik kuchlari ham paydo bo'ladi. Konservativ xarakterga ega bo'lgan quyushqoq kuchlardan farqli o'laroq qarshilik kuchlari ularni sochishga (mexanik energiya dissipatsiyasi) olib keladi, ya'ni ularni issiqlik yoki boshqa energiyaga aylantiradi.

O'zining fizik tabiati bo'yicha dissipativ kuchlar ikki sinfga bo'linadi: quyushqoq element magterinallaridagi ichki ishqalanish kuchlari va quyushqoq elementlarining ulanish joylarida ularning konstruktiv jihatdan bajarilishiga bog'liq bo'lgan tashqi ishqalanish kuchlari.

Dissipativ kuchlarni aniq hisobga olish ularga ko'pgina tasodifiy faktorlarni ta'siri bo'lganligi uchun qiyinchilik tug'diradi, shuning uchun odatda elektr yuritma nazariyasida ularni «b» qarshilik koeffitsienti kiritish bilan hisobga olinadi.

U holda quyushqoq aylanuvchi elementda burilish burchagi ϕ mavjud bo'lgandagi moment quyidagicha aniqlanadi

$$M=M_{sh}+M_{d.k} = C_{\phi}\phi + b\dot{\phi} \quad (1.10)$$

Bu yerda C_{ϕ} -bikrlik; b-qarshilik koeffitsienti; M_{sh} ba $M_{d.k}$ –mos ravishda quyushqoq va dissipativ kuch momentlari.

Amaliy hisoblarda bikrlik C_{ϕ} o'rniga ba'zi hollarda teskari qiymat «e» qo'llaniladi va uni bo'ysinuvchanlik deyiladi.

1.2. ELEKTROMEXANIK TIZIMDA QARSHILIK KUCHLARI VA MOMENTLAR

Elektr yuritma ish holatida dvigatelning elektromagnit momenti M_{ϕ} ish mashinasi yoki uning ish bajaruvchi organida foydali yoki parazit qarshilik kuchlari natijasida hosil bo'lgan qarshilik momenti M_q bilan muvozanatda bo'ladi. Bu dvigatel o'qiga keltirilgan momentni keltirilgan statik qarshilik momenti M_q deyiladi.

Ish mashinasining statik momentini burchak tezlikka bog'liqligi 1.3- rasmda keltirilgan. Yog'och metall va boshqa materiallarni kesishda yuzaga keladigan qarshilik kuchlari tufayli hosil bo'ladigan statik momentlar 1.3- rasmdagi 1 to'g'ri chiziq ko'rinishida bo'ladi.

1.7- rasm. Statik momentning tezlikka bog'liqligi:

1 — tezlikka bog'liq bo'lmagan (o'zgarmas) moment; 2 — tezlikka chiziqli bog'liq bo'lgan moment; 3 — burchak tezlik kvadratiga proporsional bo'lgan moment; 4 — burchak tezlikka proporsional va o'zgarmas tashkil etuvchisi bo'lgan moment.

Qayishqoq elementlardagi ishqalanish kuchlari tezlikka to'g'ri proporsional bo'lgan statik momentni hosil qiladi (2 chiziq). Ventilyatorlar esa tezlikning kvadratiga proporsional bo'lgan statik momentni yuzaga keltiradi (3 chiziq). Markazdan qochma rotor mashinalari, sentrifuga va nasoslar o'zgarmas tashkil etuvchi va tezlikning kvadratiga proporsional bo'lgan statik momentni hosil qiladi (4 chiziq). Bunday ish mexanizmlari uchun statik moment quyidagi formula orqali aniqlanadi.

$$M_s = M_o + (M_{nom} - M_o) \left(\frac{w}{w_{nom}} \right)^k, \quad (1.2)$$

bu yerda: M_{nom} va w_{nom} — ish mexanizmining o'qidagi nominal ish holatidagi statik moment va burchak tezlik; M_o — boshlang'ich moment ($w = 0$ bo'lgandagi); $K = 0, 1, 2$ qiymatga ega bo'lgan daraja ko'rsatkichi.

Odatda, statik momentlar harakatga qarshilik ko'rsatadi va ayrim hollarda aksincha bo'ladi. Shuning uchun hamma statik momentlar ikki turga, ya'ni reaktiv va aktiv (potensial) momentlarga bo'linadi.

Reaktiv momentlar (kuchlar) harakatga to'sqinlik qiladi va harakat yo'nalishi o'zgarganda ishorasini o'zgartiradi. Bunday momentlarga ishqalanish kuchlariga bog'liq bo'lgan hamma momentlar kiradi. Reaktiv moment $M_q = f(w)$ $w = 0$ bo'lganda uzilib qolganligi uchun yuritmaning ustuvor holati a , b va s , d oraliqdagi (1.4- rasm, a) har qanday nuqtada yuzaga kelishi mumkin.

1.8- rasm. Reaktiv (a) va aktiv (b) statik momentlarning tezlikka bog'liqligi.

Aktiv potensial momentlar (kuchlar) yuritmaning ayrim elementlarida potensial energiyaning qayta taqsimlanishi bilan bog'liq. Ular og'irlik kuchlari hamda qovushqoq jismlardagi siqilish, cho'zilish va buralish kuchlari hisobiga hosil bo'ladi. Bu moment va kuchlar harakat yo'nalishi o'zgarganda ham ishoralarini o'zgartirmaydilar (1.4- rasm, *b*). Odatda harakat tezligi o'zgarsa ham aktiv momentning qiymati o'zgarmaydi. Bu kuchlarning mexanik tizimga qayta ta'sirida ham tebranish energiyasi yutilmaydi. Shuning uchun ularni konservativ deyiladi va bunday qurilmalarning dinamik modeli konservativ zvenolar bilan amalga oshiriladi.

1.3. QARSHILIK MOMENTLARI, INERSIYA MASSALARI, QAYISHQOQ MOMENTLAR VA DISSIPATIV KUHLAR MOMENTINI BITTA O'QQA KELTIRISH

Momentlar va qarshilik kuchlarini keltirish. Zamonaviy elektr yuritmaning rivojlanish tendensiyasi ma'lum darajada reduktorsiz tizimlardan foydalanishga bog'liq. Bu elektromexanik tizim kinematikasini soddalashtiradi va elektrlashtirilgan agregat ishonchlilikini oshiradi.

Barcha tadqiqot va hisoblarda odatda elektr yuritmaning umumlashtirilgan matematik modelidan foydalaniladi. Bunday masalalarni yechishda kerak bo'ladigan elektr yuritma mexanik qismining dinamik modelini tuzishning asosiy prinsiplari 1.1 da keltirilgan. Bunday modellar keltirilgan tizimdan foydalanish asosida tuziladi.

Agar elektr yuritmaning mexanik qismi bikrlikka ega bo'lgan mexanik zvenolardan tashkil topgan bo'lsa, u holda elektr dvigatel, uzatish qurilmasi va ish mexanizmining soddalashtirilgan modeli dvigatel o'qining aylanish tezligi bilan aylanayotgan yakka keltirilgan mexanik tizim yoki ish mashinasining ijrochi elementi bilan almashtirilishi mumkin. Keltirilgan tizimni olish uchun harakatlantiruvchi momentlar, qarshilik momentlari va inersiya massalari shunday ravishda qayta hisoblanishi kerakki, birlamchi tizimning kinematik va dinamik xususiyatlari saqlanib qolsin. Bunda ikkita holatni ko'rish mumkin: bir turdagi harakatni tezligining qiymati boshqacha bo'lgan shunga o'xshash harakatga keltirish; bir turdagi harakatni boshqa turdagi harakatga keltirish (masalan, aylanma harakatni chiziqli harakatga keltirish).

Tizimni keltirish jarayoni eng avval momentlarni (kuchlarni) keltirishni ko'zda tutadi. Bunda masalani soddalashtirish maqsadida uzatish mexanizmidagi quvvat isroflarini hisobga olmaymiz. U holda kinetik energiyani saqlanish qonuniga asosan dvigatel va ish mashinasining ijrochi organi o'qlaridagi quvvatlarning tengligini quyidagicha yozamiz:

$$M_q w_{q\parallel} = M_m w_m.$$

bu yerda: M_q — dvigatel o'qiga keltirilgan statik moment; M_m — mexanizm o'qidagi statik qarshilik momenti; $w_{q\parallel}$ va w_m — dvigatel va mexanizm o'qlarining burchak tezligi.

Bundan quyidagini olamiz:

$$M_q = M_m (w_m / w_{q\parallel}) = M_m j^{-1}, \quad (1.3)$$

bu yerda: j — uzatish qurilmasining uzatish soni.

Uzatish qurilmasida bir nechta $j, \dots, j_n$ uzatish soniga ega bo'lgan uzatishlar bo'lganda

$$M_q = M_m \prod_{i=1}^n j_i^{-1}. \quad (1.4)$$

Ilgarilama harakatda

$$F_q = F_m (v_m / v_g).$$

Agar ish organi ilgarilama harakatda, dvigatel esa aylanma harakatda bo'lsa, u holda elektr yuritma elementlarining ilgarilama va aylanma harakatlar quvvatlarining tengligidan kelib chiqqan holda

$$M_q = F_m (v_m / w_a), \quad (1.5)$$

bu yerda: v_m — ish organi siljishining tezligi, $m \cdot s^{-1}$; $w_{q\parallel}$ — dvigatel o'qining burchak tezligi, $rad \cdot s^{-1}$.

Yuqoridagilarga o'xshash holda elektromexanik tizimning har qanday o'qiga moment va kuchlarni keltirish formulasini olish mumkin.

Inersiya massalarini keltirish. Og'irlik markazidan o'tadigan o'qqa nisbatan bir necha m_i yig'ilgan massalarga ega bo'lgan mexanik tizimning inersiya momenti deb quyidagiga aytiladi:

$$J = \sum_{i=1}^{i=k} m_i r_i^2, \quad (1.6)$$

bu yerda: r_i — massa m_i ning og‘irlik markazidan aylanish o‘qigacha bo‘lgan eng yaqin masofa.

Amalda bitta jismning inersiya momenti quyidagi formula orqali hisoblanadi

$$J = r^2 \sum_{i=1}^{i=k} m_i = m r^2, \quad (1.7)$$

bu yerda: m — jism massasi; r — inersiya radiusi. (1.6) va (1.7) formulalarni bir-biriga tenglashtirib r ni aniqlash mumkin.

1.9- rasm. Elektr yuritmaning kinematik sxemasi.

Inersiya momentini aniqlash uchun keltirilgan va dastlabki (keltirishgacha bo‘lgan) mexanik tizimlarning kinetik energiyalarining tengligidan foydalanamiz. Masalan, 1.5- rasmda keltirilgan elektr yuritma sxemasi uchun quyidagini olamiz:

$$\frac{J_{kel} w_{\partial}^2}{2} = \frac{J_{\partial} w_{\partial}^2}{2} + \frac{J_1 \omega_1^2}{2} + \frac{J_2 w_2^2}{2} + \dots + \frac{J_m w_m^2}{2}, \quad (1.8)$$

bu yerda: J_{kel} — tizimning o‘qiga keltirilgan inersiya momenti; $J_{\partial}, J_1 \dots J_m$ — dastlabki mexanik tizim qismlarining mos o‘qlardagi inersiya momenti; $w_{\partial}, w_1, w_2 \dots w_m$ — dvigatel o‘qi, uzatish qurilmasi va mexanizmning burchak tezliklari.

Bundan

$$J_{ken} = J_{\partial} + \frac{J_1}{J_1^2} + \frac{J_2}{J_2^2} + \dots + \frac{J_m}{J_m^2}, \quad (1.9)$$

bu yerda: $j_1, \dots, j_n, j_m$ — dvigatel, uzatish qurilmasining ayrim aylanuvchi zvenolari va ijrochi mexanizm o'qlari orasidagi uzatish nisbati.

Hisoblash ishlarini soddalashtirish uchun quyidagi tenglikdan foydalanamiz:

$$J_{\text{ken}} = dJ_{\phi} + J_m j_m^2 \quad (1.10)$$

bu yerda: koeffitsiyent d nafaqat dvigatel o'qidagi qo'shimcha inersiyalarni, balki uzatish qurilmasidagi inersiya momentlarini ham hisobga oladi. Odatda $d = 1,1$ dan $1,3$ gacha deb qabul qilinadi. Ba'zan inersiya momenti J o'rniga siltash momenti GD^2 dan foydalaniladi:

$$GD^2 = m (2r)^2 = 4J,$$

bu yerda: G — m ta aylanuvchi qismlar massasi.

Ilgarilama harakatdagi massalarni harakatga keltirishni kinetik energiyalarning tengligi asosida bajaramiz. (1.6- rasm)

$$J_{\text{kel}} w_{\phi}^2 / 2 = J w_{\phi}^2 / 2 + m v^2 / 2,$$

bu yerda: J — dvigatel rotorining va yuk ko'taruvchi qurilma barabanining inersiya momenti; w_{ϕ} — dvigatel o'qining burchak tezligi; m — siljiyotgan yuk G ning massasi; v — yukning chiziqli tezligi.

U holda

$$J_{\text{kel}} = J + m v^2 / w_{\phi}^2 = J + J^1, \quad (1.11)$$

bu yerda: J — massa m ning inersiyasini aylanma harakatga keltirishni tavsiflovchi ekvivalent inersiya momenti.

1.10- rasm. Yuk ko'taruvchi qurilmaning soddalashtirilgan kinematik sxemasi.

Yakori ilgarilama harakatlanadigan elektr yuritma mavjud bo'lib, bu yurtmada keltirilgan tizimda ilgarilama harakatni saqlab qolish maqsadga muvofiqdir. U holda keltirilgan statik kuch

$$F_s = M_m w_m / u_{\text{q}}, \quad (1.12)$$

bu yerda: M_m va w_m — ijrochi mexanizm o'qining qarshilik momenti va burchak tezligi; u_{q} — dvigatel yakorining (rotori) ilgarilama harakatdagi chiziqli tezligi.

Shunga o'xshash keltirilgan massa uchun quyidagi tenglikni olamiz:

$$m_{\text{kel}} = m + J m w_m^2 / v_o^2 = m + m_1, \quad (1.13)$$

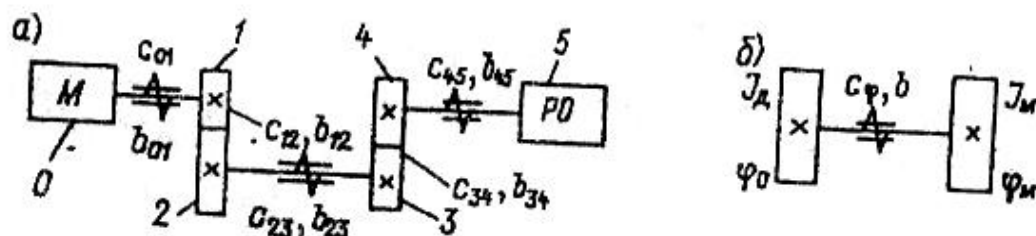
bu yerda: m — dvigatel rotorining ilgarilama harakatlanayotgan massasi; m_1 — mexanizmning aylanayotgan massalarining keltirilgan inersiya momentini tavsiflovchi ekvivalent massa.

Mazkur usullar bilan qarshilik momentlari va inersiya massalarini dvigatel o'qiga keltirish mumkin.

Agar murakkab mexanik tizimda ayrim qismlar aylanma harakatda, boshqalari esa ilgarilama harakatda bo'lsa, u holda aylanma harakatdagilari uchun bir o'qqa keltirilgan statik moment va keltirilgan inersiya momentini topish, ikkinchilari uchun esa, keltirilgan kuch hamda keltirilgan massani aniqlash kerak. So'ngra (1.5) va (1.11) formulalardan foydalanib, keltirilgan tizimning parametrlari aniqlanadi.

Qayishqoq momentlar va dissipativ kuchlar momentlarini keltirish.

Qayishqoq kinematik sxemali elektr mexanik tizimlarda bika tizimlarga nisbatan moment va kuchlarni bitta o'qqa keltirish masalasi ancha qiyinroq hal etiladi. Shuning uchun dastavval barcha elementlar aylanadigan yuritmaning mexanik qismini ko'rib chiqamiz (1.11 – rasm). Bunda kirish guruhi bo'lgan dvigatelni rotori (yakori)ni bika deb qabul qilamiz, xuddi shunga o'xshash mexanizmning ishchi organi ham bika kinematikaga ega. Uzatish qurilmasi bo'ysinuvchan guruhlariga ega va ularning massalarini hisobga olmasa ham bo'ladi. Shunday qilib, o'zaro qayishqoq inertsiyasiz guruh bilan bog'langan bitta erkinlik darajasiga ega bo'lgan bika guruhlar, o'z massalariga ega bo'lgan ikkita mexanizmlilik yuritmani mexanik qismining dinamik modeliga ega bo'ldik.



1.11 – rasm; Qayishqoq elementli elektromexanik tizim: a-kinematik sxema; b-keltirilgan parametrlilik hisobiy ikkita massalik sxema.

Misol tariqasida 1.11 – a rasmda keltirilgan kinematik sxemani ko'rib chiqamiz va unda ikki massali tizim sifatida qarash zarur deb hisoblaymiz. (1.11 - b rasm). Shunday qilib agarda bika tizim bitta harakatchanlik darajasiga ega bo'lsa, u holda qayishqoq deformatsiyalar bilan bog'liq bo'lgan qo'shimcha beshta harakatchanlik darajasini hisobga olgan holda qayishqoq mashinaning (1.11 a – rasm) dinamik modeli oltita harakatchanlik darajasiga ega bo'ladi.

Bu yerda (1.11 a –rasm) kinematik zanjirni nolinch guruh 0 bu dvigatel rotori (yakori), chiqish guruh esa – mashinaning ishchi organi 5. guruh 5 ni mahkamlab, guruh 0 ra M momentini qo'yamiz, natijada dvigatelning o'qi φ burchakka bo'linadi. Bundan ko'rinib turibdiki burchak $S_u = M \cdot u^{-1}$ kabi aniqlanadi. Su qiymatni kinematik zanjirning bikrligi deb ataladi.

Tizimning keltirilgan bikrligi uning ayrim guruhlarining bikrligi bilan qanday bog'liqligini aniqlaymiz. Qayishqoq mashinaning zanjirli dinamik modeli-dagi burilish burchagi φ quyidagicha aniqlanadi:

$$\varphi = \sum_{i=1}^{i=n} \varphi(i-1)i, \quad (1.23)$$

bu yerda $\varphi_{(i-1)i}$ – i elementning kinematik sxemaning kirish elementi o'qiga keltirilgan i -1 elementga nisbatan burilish burchaklari.

Ko'rilayotgan misol uchun quyidagini olamiz:

$$\varphi = \varphi_{01} + \varphi_{12} + \varphi_{23} + \varphi_{34} + \varphi_{45}. \quad (1.24)$$

φ_{01} burchagi 1 elementning 0 elementga nisbatan burilish burchagi kabi aniqlanadi. Kinematik bog'lanishning bikrligini hisobga olib quyidagini yozamiz

$$\varphi_{01} = M \cdot C^{-1}_{01}$$

Shunga o'xshash kinematik juftlikning deformatsiyanish burchagi $\varphi_{12} = M \cdot C^{-1}_{12}$. burilish burchagi φ_{23} ni aniqlash ancha qiyin. Birinchidan 2 elementga qo'yilgan aylanuvchi moment $M_{23} = J_{12} \cdot M$ ga teng, bu yerda J_{12} -1 va 2 elementli kinematik juftlikning uzatish nisbati. Ikkinchidan deformatsiyanish burchagi $\varphi_{23} = M_{23} \cdot C^{-1}_{23} = M j_{12} \cdot C^{-1}_{23}$. O'z navbatida φ_{23} burchagini kirish elementi 0 ning o'qiga keltirib $\varphi_{23} = j_{12} \varphi_{23} = M j_{12}^2 \cdot C^{-1}_{23}$ ni olamiz.

Shunga o'xshash $\varphi_{34} = M j_{12}^2 \cdot C^{-1}_{34}$ ni topamiz. Deformatsiyanish burchagi $\varphi_{45} = M_{45} \cdot C^{-1}_{45} = M j_{12} j_{34} \cdot C^{-1}_{45}$, bu yerdan $\varphi_{45} = j_{12} j_{34} \varphi_{45} = M j_{12}^2 j_{34}^2 \cdot C^{-1}_{45} = M j_{14}^2 \cdot C^{-1}_{45}$, bu yerda $j_{14} = \omega_1 \omega_4^{-1}$; ω_1 Ba $\omega_4 - 1$ va 4 elementlarni aylanishining burchak tezliklari.

Shunday qilib (1.24) formula endi quyidagi ko'rinishga ega bo'ladi:

$$\varphi = M C_{\varphi}^{-1} = M [C^{-1}_{01} + C^{-1}_{12} + j_{12}^2 (C^{-1}_{23} + C^{-1}_{34}) + j_{14}^2 C^{-1}_{45}] , \quad (1.25)$$

yoki

$$e = e_{01} + e_{12} + j_{12}^2 (e_{23} + e_{34}) + j_{14}^2 e_{45}. \quad (1.26)$$

Yuqoridagilardan xulosa qilgan holda quyidagi umumiy qoidani keltirish mumkin: zanjirli quyushqoq kinematik sxemaning keltirilgan bo'ysinuvchanligi e ketma – ket ulangan elementlar bo'ysinuvchanliklarining yig'indisiga teng.

Shunga o'xshash quyushqoq kinematik zanjirlardagi dissipativ kuchlar ta'sirini hisobga oladigan keltirilgan qarshilik ko'effitsienti b ning ham ifodasini ham(1.26)da o'xshash yozish mumkin:

$$b = [b_{01}^{-1} + b_{12}^{-1} + j_{12}^2 (b_{23}^{-1} + b_{34}^{-1}) + j_{14}^2 \cdot b_{45}^{-1}]^{-1}, \quad (1.27)$$

bu yerda b (i-1) i – i va $i-1$ elementlari orasidagi kinematik bog'lanishlarning quvushqoq sirpanishga qarshilik ko'effitsienti.

Shunday qilib (1.26) va (1.27) ifodalardan foydalanib kinematik zanjirning keltirilgan C_φ va b parametrlariga ega bo'lgan, dvigatel o'qiga keltirilgan ishchi organ I 0 va φ_m m dvigatel rotorining burilish burchagi φ_d bilan aniqlanadigan, ikki erkinlik darajasiga ega bo'lgan ikki massali mashinaning dinamik modelini olamiz, endi oldingi ko'rsatilgan tenglik (1.10) ko'rinishda dvigatel o'qiga keltirilgan quyushqoq va dissipativ kuchlar momentlarining ifodasini yozishimiz mumkin, ya'ni:

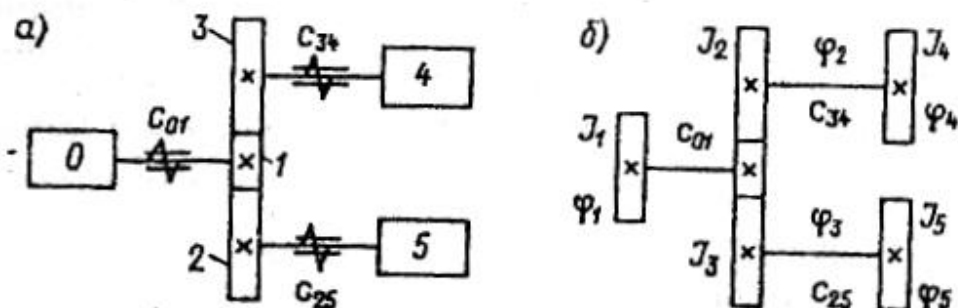
$$M_{kel} = M_{ku} + M_{k.d} = C_\varphi \varphi + b \dot{\varphi} \quad (1.28)$$

Elektr yuritma mexanik qismi dinamik modelining turlari.

Bikrlik va quyushqoqlikka ega tizimli mashinalarning xususiyatlarini ko'rib chiqamiz.

1. Agarda mashina mutlaq qattiq jismlar va bitta erkinlik darajasi va quyushqoq bog'lanishlar bilan ulangan bikr guruhlardan tashkil topgan bo'lsa, uning dinamik modeli bir o'lchamli deyiladi. Yuqorida ko'rib chiqilgan bikr va elastik mashinalarning dinamik modellari bir o'lchamli edi.

2. Agarda dinamik modelning inertsion elementlaridan biri bittadan ko'p erkinlik darajasiga ega bo'lsa, u holda model ko'p o'lchamli deyiladi. Elektr yuritma mexanik qismining dinamik modeliga shunday tuzilish misol bo'la oladi-ki, unda dvigatel rotorining uzun o'qi egilish deformatsiyasi ta'sirida bo'ladi. Shuning uchun dvigatel rotorini qo'shimcha harakatchanlik darajasiga ega bo'ladi.



1.12 – rasm; Guruhli elektr yuritma mexanik qismining kinematik sxemasi (a) va uning keltirilgan parametrlari hisobiy sxemasi (b)

Dinamik modellarning bir o'lchamlik va ko'p o'lchamlik tushunchasi avtomatik boshqarish nazariyasida xuddi shunday tizimlardagi ob'yektning boshqariluvchi koordinatalar soniga o'xshaydi.

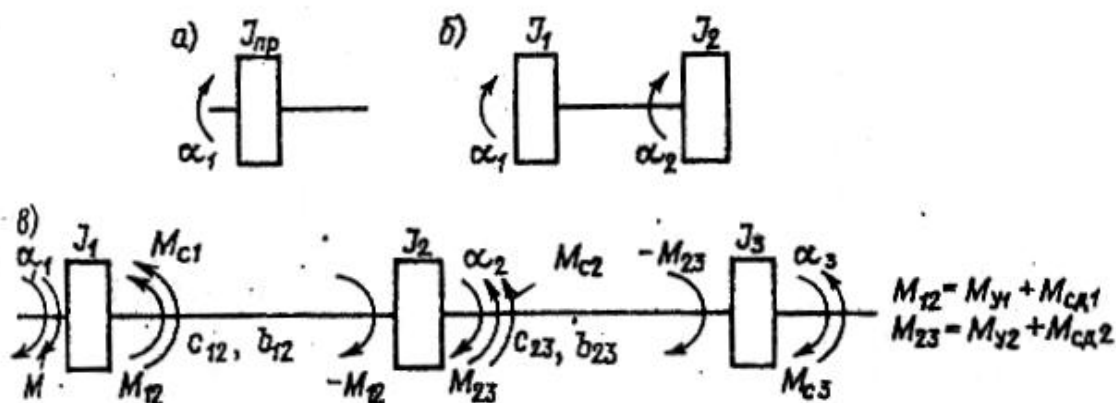
3. Harakat bir elementdan boshqasiga ketma – ket uzatiladigan har qanday dinamik modellar zanjirli yoki ketma – ket kinematik zanjirli (1.1, 1.5 yoki 1.10 - rasmlar) deb ataladi.

4. Harakat bir nechta elementlarga uzatiladigan dinamik modellarni tarmoqlangan tizimlar deyiladi. (1.12 - a rasm). Bu yerda harakat bitta dvigatel 0 dan ikkita 4 va 5 ishchi organga uzatiladi.

5. Istisno sifatida mexanik tizimlarda inertsiyaga ega bo'lgan qayishqoq elementlar qo'llanilishi mumkin. Bunday qurilmalarning dinamik modellari tarqoq parametrlı tizim bo'lib qoladi, masalan, transporter lentasi, og'ir zanjirli uzatmalar, burg'ilash qurilmasining quvuri.

6. Yuritma mexanik qismining bir o'lchamli mexanik modellarida asosan quyidagi tizimlar qo'llaniladi:

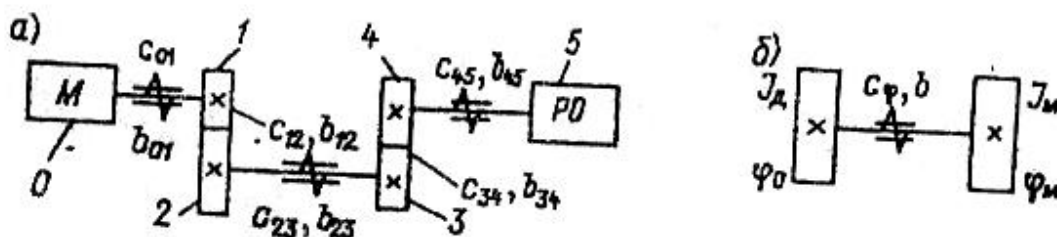
A. Bitta erkinlik darajasiga ega bo'lgan ketma – ket kinematik zanjir va elementlar bo'lgan tizimlar. Masalan (1.13 - a rasmda) keltirilgan modellar bika ulash muftali va qisqa bika o'qli ventilyator elektr yuritmasining mexanik qismiga mos keladi; 1.13b - rasmda gi modelga esa xuddi shu qurilma, lekin uzun bo'ysinuvchan o'qlisi to'g'ri keladi; 1.13 - b rasm dagi modelga katta inertsiya J_2 ga ega bo'lgan oraliq ulovchi muftali qurilma mos keladi.



1.13 – rasm; Ketma – ket kinematik zanjirli bika ulash muftali va qayishqoq tizimlarning dinamik modellari: a – bir massali; b – ikki massali; d – uch massali .

b. Ketma – ket zanjirli va mahkamlangan chiqish elementli tuzilmalar. Masalan, 1.14 a rasmdagi sxema reduktorsiz burg'ulash stanogining modeliga to'g'ri keladi va bunda dvigatel va u bilan bog'liq detallarning inertsiyalari J_1 va uzun burg'uning qayishqoqligi C_{10} hisobga olingan. 1.14 – b rasmdagi model

dvigatel o'qining qayishqoqligi C_{12} , patronning inertsiasini J_2 va burg'uning qayishqoqligi C_{23} hisobga olingan mexanizmga mos keladi.



1.14 – rasm; Ketma – ket kinematik zanjirli va chiqish elementlari mahkamlangan qayishqoq tizimlarning dinamik modellari: a – bir massali; b – ikki massali

d. Tarqalma zanjirli tuzilma uchun misol 1.12 – b rasmda keltirilgan, lekin amaliyotda bundan murakkabroq qurilmalar uchraydi.

7. Turli harakat shakllariga ega bo'lgan qayishqoq kinematik tizimda birkirlikni keltirish. Kinematik zanjirda qayishqoqlik mavjud bo'lgan yuk ko'tarish qurilmasini ko'rib chiqamiz (1.15 – rasm). Bu yerda (1.26) formuladan foydalanib yuk 3 ni mahkamlangan deb hisoblab zanjirda barabangacha joylashgan barcha qayishqoq elementlarning bo'ysinuvchanligini aniqlaymiz.

$$y_{\varphi_k} = e_{11\varphi} + y_{1\varphi 2\varphi} + o_{12}^2 y_{2\varphi 2\varphi} \quad (1.29)$$

Baraban o'q chizig'iga keltirilgan moment

$$M_6 = j_{12} M,$$

bu yerda M – 1 element o'q chizig'iga qo'yilgan moment (1-20 rasm) Shundan so'ng M_6 ni muvozanatlovchi kuchni aniqlaymiz:

$$F_6 = j_{12} M R^{-1},$$

bu yerda R – baraban radiusi, M_b (F_b) ta'siri ostida qayishqoq cho'ziladi

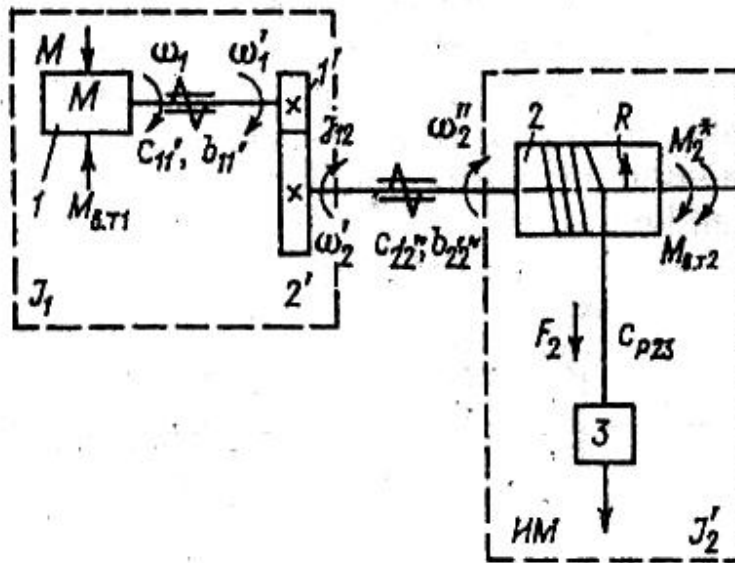
$$C_{r23} = F_6 \Delta t^{-1},$$

bu yerda C_{r23} – cho'zilganda 2 va 3 elementlar orasidagi birkirlik. Baraban o'qiga keltirilgan burchak deformatsiyasi

$$\Psi_{23} = 2 P_{\Delta} I R^{-1} = 2 P F_6 (C_{r23} \cdot R) = 2 P M j_{12} (C_{r23} R^2) \quad (1.30)$$

1- element oq chizig'iga keltirilgan burchakni quyidagicha aniqlaymiz

$$\Psi_{23} = j_{12} \Psi_{23} = 2 \pi j_{12}^2 M \frac{1}{r_{23}} R^{-2} \quad (1.31)$$



1.15-rasm. Yuk ko'taruvchi qurilmaning dinamik modeli.

berilgan kinematik sxemaning to'liq keltirilgan bo'ysinuvchanligini (1.29) va (1.31) ifodalarni jamlash bilan aniqlanadi

$$e_k = e_{11'} + e_{1'2'} + j_{12}^2 (e_{2'2'} + 2\pi e_{r23} R^{-2})$$

Bu holatda tizimda mavjud bo'lgan turli shakldagi harakatlarda keltirilgan bo'ysinuvchanlikni qanday aniqlashni keltirdik.

1.4. ELEKTR YURITMANING HARAKAT TENGLAMASI

Bikr va qayishqoq mashinalarning elektr yuritmasini mexanik qismining xususiyatlarini ko'rsatadigan dinamik modellarni ko'rib chiqqandan keyin ularning harakat tenglamasini aniqlashga o'tamiz. Buning uchun ikkinchi darajali Lagranj tenglamasidan foydalanamiz:

$$\frac{d}{dt} \sum_{i=1}^{i=N} \frac{\partial w_k}{\partial \dot{x}_i} - \sum_{i=1}^{i=N} \frac{\partial w_k}{\partial x_i} = - \sum_{i=1}^{i=N} \frac{\partial R_i}{\partial \dot{x}_i} - \sum_{i=1}^{i=N} \frac{\partial w_n}{\partial x_i} + F(x_i, \dot{x}_i), \quad (1.33)$$

bu yerda W_k va W_n – tadqiq etilayotgan tizimning kinetik va potensial energiyalari; R – dissipativ funksiya; x_i – tizimning erkin harakatchanlik darajasi; $F(x_i, \dot{x}_i)$ – umumlashtirilgan tashqi kuch; N – erkinlik daraja soni.

Umumlashtirilgan tashqi kuch, barcha tashqi harakatlantiruvchi kuchlar va qarshilik kuchlarining mumkin bo'lgan siljish Δx_i ga ketgan element ishlar ΔA_i yig'indisi bilan aniqlanadi. Masalan, aylantiruvchi harakatda tizim koordinatalari-

ning burchak qiymatlaridan $\alpha(x_i = \alpha_i)$ foydalanish maqsadga muvofiqdir. Bu holda (1.33) ifodasiga quyidagi o'zgartirishni kiritish mumkin.

$$\left. \begin{aligned} \dot{\alpha}_i &= \omega_i; \partial w_{\kappa} / \partial \dot{\alpha}_i = \partial w_{\kappa} / \partial \omega_i = J_i(\alpha_i) \omega_i; \\ \frac{d}{dt} \cdot \frac{\partial w_{\kappa}}{\partial \omega_i} &= \frac{dJ_i(\omega_i)}{d\alpha_i} \omega_i^2 + J_i(\alpha_i) \frac{d\omega_i}{dt}; \frac{\partial w_{\kappa}}{\partial \alpha_i} = \frac{1}{2} \frac{dJ_i(\alpha_i)}{d\alpha_i} \omega_i^2; \\ \partial R_i / \partial (\omega_i - \omega_{i+1}) &= b_{i(i+1)} \Delta \omega_i = M_{\kappa i}; \Delta \omega_i = \omega_i - \omega_{i+1}; \\ \partial w_n / \partial \Delta \alpha_i &= C_{i(i+1)} \Delta \alpha_i = M_{qi}; \Delta \alpha_i = \alpha_i - \alpha_{i+1}. \end{aligned} \right\} \quad (1.34)$$

bu yerda M_{qd} –qayishqoq elementlarda dissipativ kuchlar hisobiga hosil bo'lgan qarshilik momenti, M_q – qayishqoqlik momenti (1.33) formulada kerakli kiritishlarni amalga oshirib quyidagini olamiz;

$$J_i(\alpha_i) \frac{d\omega_i}{dt} + \frac{1}{2} \cdot \frac{dJ_i(\alpha_i)}{d\alpha_i} \omega_i^2 = -M_{qi} + M_i, \quad (1.35)$$

bu yerda M_i –i koordinatasidagi tashqi kuchlar momenti, u o'z ichiga M_{ci} , $M_{\kappa g(i-1)}$ va $M_{q(i-1)}$ larni oladi.

Uchta massali elektromexanik tizim (EMT) uchun (1.35) formulani ko'rib chiqamiz, uning modeli barcha elementlarning inersiya momenti doimiy bo'lganda 1.13 – rasmda keltirilgan.

bu holda quyidagini olamiz.

$$\begin{aligned} M - b_{12}(\omega_1 - \omega_2) - C_{12}(\alpha_1 - \alpha_2) - M_{c1} &= J_1 d\omega_1 / dt; \\ b_{12}(\omega_1 - \omega_2) + C_{12}(\alpha_1 - \alpha_2) - b_{23}(\omega_2 - \omega_3) - \\ - C_{23}(\alpha_2 - \alpha_3) - M_{c2} &= J_2 d\omega_2 / dt; \\ b_{23}(\omega_2 - \omega_3) + C_{23}(\alpha_2 - \alpha_3) - M_{c3} &= J_3 d\omega_3 / dt. \end{aligned} \quad (1.36)$$

(1.36) tenglamalar tizimining birinchi tenglamasida harakatlantiruvchi moment M va qarshilik momenti M_{C1} tashqi moment bo'ladi. Ikkinchi inertsia massasi uchun M_{C2} , M_{qd2} va M_{C3} – tashqi moment bo'ladi, shunga o'xshash uchinchi massa uchun M_{C2} , M_{qd2} va M_{C3} tashqi moment bo'ladi. Tenglamalar tizimi (1.36) dan $\alpha_2 = \alpha_3$ qo'yib EMTning ikki massali mexanik qismi uchun ifodani olsa bo'ladi. U holda quyidagini olamiz

$$\begin{aligned} M - M_{12}(\alpha_1 \omega) - M_{c1} &= J_1 d\omega_1 / dt, \\ M_{12}(\alpha_1 \omega) - M_{c2}^1 &= J_2^1 d\omega_2 / dt, \end{aligned} \quad (1.37)$$

bu yerda $M_{c2}^1 = M_{c2} + M_{c3}$; $J_2^1 = J_2 + J_3$; $M_{12}(\alpha_1 \omega) = C_{12}(\alpha_1 - \alpha_3) + b_{12}(\omega_1 - \omega_2)$

Shuni e'tiborga olish kerakki (1.36) va (1.37) tenglamalar tizimida agar ular ko'p massali EMT uchun tuzilgan bo'lsa, statik momentlarning, inertsia momentlarining, birlilik va qarshilik koeffitsientlarining keltirilgan qiymatlaridan foydalanish zarur. Buni misolda ko'rib chiqamiz.

Misol. Dinamik modeli 1.16 – rasmda keltirilgan ikki massali yuritma modeli uchun ikkinchi darajali Lagranj tenglamasini tuzamiz. Oldingilaridan tashqari har bir inertsia massasi uchun tashqi quvishqoqlik ishqalanish

momentlari uchun quyidagi belgilanishlar kiritilgan: $M_{uu1} - a \omega_1$; $M_{u,u2}^* = a_{22}^* \omega_2''$, kinematik juftlik va kanat esa bikr va inertsiasiz deb qabul qilingan.

Dvigatel M o'qining o'q chizig'iga keltirilgan (1.31) va (1.27) – formulalari bo'yicha hisoblangan bikrlilik C_{12} va qarshilik koeffitsienti b_{12} larni yozamiz:

$$C_{12} = (C_{11}^{-1} + j_{12}^2 C_{22}^{-1})^{-1} ; b_{12} = (b_{11}^{-1} + j_{12}^2 b_{22}^{-1})^{-1}$$

U holda dvigatel M o'qining o'q chizig'iga keltirilgan dissipativ kuchlar va qayishqoq momentlari quyidagi ko'rinishga ega bo'ladi:

$$M_{q12} = C_{12} (\alpha_1 - o_{12} \alpha_2) ; M_{qd12} = b_{12} (\omega_1 - o_{12} \omega_2)$$

Qayishqoq deformatsiya momentining tashkil etuvchilarini bajaruvchi mexanizm o'q chizig'iga keltiramiz:

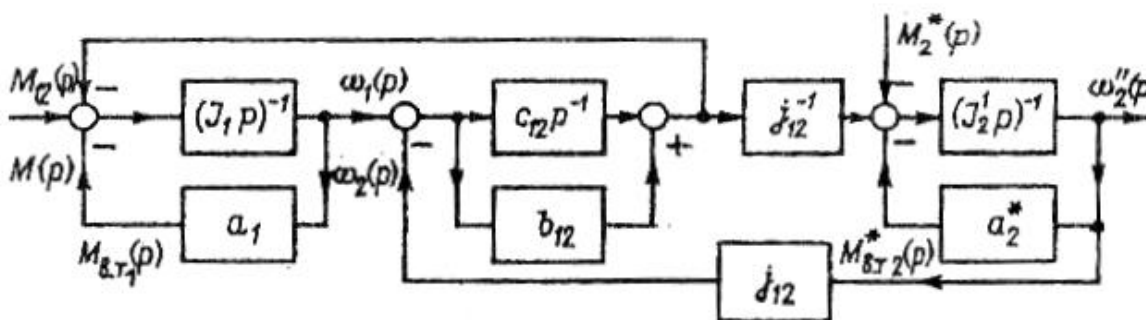
$$M_{q12} o_{12} = C_{12} o_{12}^2 (\alpha_1 o_{12}^{-1} - \alpha_2) ; M_{qd12} = b_{12} o_{12}^2 (\omega_1 o_{12}^{-1} - \omega_2)$$

Formula (1.37)ga kerakli ifodalarni qo'yib quyidagilarni olamiz

$$M - M_{12} - M_{uu1} = J_1 d\omega_1 / dt \quad (1.38)$$

$$M_{12} j_{12} M_{uu2} - M_2^* = J_2' d\omega_2'' / dt$$

Ifoda (1.38) yuritma dinamik modeli tuzilishini oson olish imkonini beradi (1.16 - rasm)



1.16 – rasm. 1.15 rasmda keltirilgan dinamik model uchun ikki massali elektromexanik tizimning tuzilish sxemasi.

Agarda (1.38) – ifodalarda ikkinchi tenglamani J_{12} ga bo'lib va $\omega_2 = \omega_2''$ j_{12} deb qabul qilib barcha kuchlar (momentlar) tezliklarni dvigatel o'qiga keltirsak Lagranj tenglamalar tizimining sodda ko'rinishini (1.39) olamiz

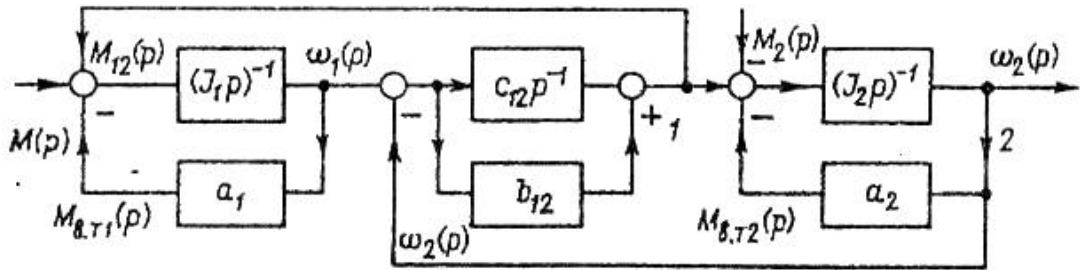
$$M - M_{12} - M_{uu1} = J_1 d\omega_1 / dt ; \quad (1.39)$$

$$M_{12} - M_{uu2} - M_2 = J_2 d\omega_2 / dt ,$$

bu yerda $M_{12} = C_{12} (\alpha_1 - \alpha_2) + b_{12} (\omega_1 - \omega_2) ; M_{uu2} = M_{uu2}^* j_{12}^1 = d_2 \omega_2 ;$

$$M_2 = M_2^* J_{12}^{-1} ; \quad J_2 = J_{12}^{-1}$$

Yuritma mexanik qismining olingan tuzilish sxemasi 1.17 – rasmda keltirilgan.



1.17 – rasm. Dinamik modelning keltirilgan parametrlari ikki massali elektromexanik tizimning namunaviy tuzilish sxemasi.

Shunday qilib bu misolni yechish asosida ikki massali (1.37), uch massali (1.36) tizimni ko'rib chiqilganda barcha parametrlarni bitta o'q chizig'iga keltirish muhim ekanligi ko'rsatiladi.

Tizimning barcha guruhlarini biki deb qabul qilib, (1.35) – ifodadan elektr yuritma biki mexanik qismini bir massali modelining harakat tenglamasini osongina olish mumkin:

$$J(\alpha) \frac{d\omega}{dt} + \frac{1}{2} \frac{dJ(\alpha)}{d\alpha} \omega^2 = M_g(\alpha, \omega) - M_d(\alpha, \omega), \quad (1.40)$$

bu yerda α va ω – dvigatel o'qining burilish burchagi va tezligi; $M_d(\alpha, \omega)$ ba $M_c(\alpha, \omega)$ – dvigatel o'qiga keltirilgan elektr magnit moment va statik qarshilik momenti. (1.40) – tenglamani ko'pincha yuritma dinamikasining asosiy tenglamasi deb ataladi. Agarda J ning qiymati o'zgarmas bo'lsa (1.40) – ifoda soddalashadi.

$$J d\omega/dt = M_d(\alpha, \omega) - M_c(\alpha, \omega) \quad (1.41)$$

M_d va M_c xarakteriga bog'liq holda (1.41) – tenglama chiziqli yoki nochiziqli bo'lishi mumkin. Yuritma dinamikasi tenglamasini chiziqlashtirish «ishchi nuqta» atrofida amalga oshiriladi:

$$J d\Delta\omega / dt = \Delta M_d(\alpha, \omega) - \Delta M_c(\alpha, \omega) \quad (1.42)$$

bu erda Δ – mos qiymatlar orttirmasi, ya'ni $\Delta\alpha = \alpha - \alpha_0$, $\Delta\omega = \omega - \omega_0$, $\Delta M_d = M_d(\alpha, \omega) - M_g(\alpha_0, \omega_0)$, $\Delta M_c = M_c(\alpha, \omega) - M_c(\alpha_0, \omega_0)$; α_0, ω_0 – «ishchi nuqta»da yuritma koordinatalari,

Bu yerda $J d\omega/dt = M_{din}$ ni dinamik moment deyiladi. $J d\omega/dt \neq 0$ bo'lganda ya'ni elektr yuritmaning barqaror o'rinalgan harakat rejimlarida tezlanish nolga teng bo'ladi, shuning uchun (1.41) tenglamasidan $0 = M_d - M_c$ ni yoki $M_d - M_c$ ni olamiz, ya'ni haraktlantiruvchi moment elektr yuritmaning statik qarshilik momenti bilan muvozanatlashadi.

Yuritmaning ilgarilanma xarakatda Lagranj tenglamasi (1.35) quyidagi ko'rinishga ega bo'ladi.

$$m_i(S_i) \frac{dv_i}{dt} + \frac{1}{2} \frac{dm_i(S_i)}{dS_i} V_i^2 = F_{qi} - F_{qdi} - F_i, \quad (1.43)$$

bu erda S_i va V_i - tizim barcha xarakatlanuvchanlik darajalari bo'yicha ilgari-lama siljish va chiziqli tezlik.

1.4. ELEKTR YURITMANING STATIK USTUVORLIGI

Tezlikka bog'liq bo'lgan (1.7- rasm, *a*) dvigatel $M_{\parallel}$ va qarshilik M_q momentlari mavjud bo'lgandagi elektr yuritmaning asosiy tenglamasini ko'rib chiqamiz. M_o va w_o koordinatlariga ega bo'lgan ish nuqtasining atrofida:

$$M_{\partial}(w) = M_{o\partial} + \beta_{\partial}^{-1} w; \quad M_q(w) = M_{oq} + \beta_g^{-1} w. \quad (1.14)$$

Bu yerda $b_{\parallel} = dw/dM_{\parallel}$ va $b_q = dw/dM_q$ — harakat va statik tavsiflar qiyaligining koeffitsiyenti.

Momentlarning chiziqlashtirilgan tavsifi quyidagi ko'rinishga ega bo'ladi:

$$\begin{aligned} DM_{\partial}(\Delta w) &= M_{o\partial} + \beta_{\partial}^{-1} w - (M_{o\partial} + \beta_{\partial}^{-1} w_o) = \beta_{\partial}^{-1} Dw; \\ DM_q(\Delta w) &= \beta_q^{-1} Dw; \quad Dw = w - w_o. \end{aligned}$$

Ish nuqtasi atrofidagi chiziqlashtirilgan harakat tenglamasi

$$J \frac{dDw}{dt} = DM_{\partial}(a, w) - DM_q(a, w) \quad (1.15)$$

yoki

$$JdDw/dt = (\beta_{\partial}^{-1} - \beta_q^{-1}) Dw + \Delta M(t), \quad (1.16)$$

bu yerda: $DM(t)$ — tashqi ta'sir.

Ushbu (1.16) tenglamaga asosan yuritma mexanik qismining tuzilish sxemasi matematik modelini 1.7- rasm, *b* dagi ko'rinishda keltirish mumkin. Bunday yopiq chiziqlashtirilgan tuzilmaning uzatish funksiyasi

1.7- rasm. Elektr yuritmaning statik ustuvorligini aniqlash:

a — statik yuklama va dvigatel tavsiflarini chiziqlashtirish; b — yuritmaning chiziqlashtirilgan modeli tuzilish sxemasi; d — yuklamani kichik tezliklarda noustivor va e — ustuvor ishlash variantlari.

$$F(p) = \frac{\Delta\omega(p)}{\Delta M(p)} = \frac{1}{J_p + (\beta_q^{-1} - \beta_\partial^{-1})} = \frac{1}{J \left(p + \frac{\beta_\partial - \beta_q}{J\beta_\partial - \beta_q} \right)} \quad (1.17)$$

Qattqlik koeffitsiyentlarining quyidagi holatida

$$1/b_q > 1/b_{q\parallel} \text{ yoki } dM_q/dw > dM_{q\parallel}/dw \quad (1.18)$$

xarakteristik tenglama ildizi:

$$p_1 = - \frac{b_\partial - b_q}{J b_\partial - b_q}, \quad p_1 < 0$$

bo'ladi.

Tengsizlik (1.18) buzilganda elektr yuritma mexanik qismining matematik modeli noustuvor zveno bo'lib qoladi, natijada o'rnatilgan rejim ustivor bo'lmaydi. Bu holat 1.7- rasm b da tasvirlangan bo'lib, bu yerda: A nuqta yuritmaning ustuvor ishlash holatiga to'g'ri keladi. 1.7- rasm e da esa ushbu tasvirlarning bunday joylashishi B nuqtada yuritmaning ustuvor ish holatida, A nuqtada esa noustuvor holatida bo'ladi. Yuritmaning bu rejimlarini nafaqat matematik, balki fizik ko'rinishlardan (1.14) tenglamaga asosan tahlil qilish mumkin. Masalan, 1.7- rasm e ga ko'ra, agar sistemada tezlikning impuls orttirmasi $Dw > 0$ shartni qanoatlantirsa, u holda, bu A nuqta atrofida $M_{din} > 0$ bo'lganda harakatlanadi, ya'ni tizimni muvozanatdan yanada uzoqlashtiradigan yuritma mexanik qism harakatining tezlanishini olamiz. Shunga o'xshash B nuqta atrofidagi orttirma $M_{din} > 0$ harakatni sekinlanishga olib keladi. Bu tizimning B nuqtaga qaytib tushishi va M_{din} nolga tenglashishiga olib keladi. Yuritmaning oldingi burchak tezlik w_0 bilan ustuvor bir tekis harakati boshlanadi.

Elektr yuritma nazariyasida real fizik qurilmalar avtomatik boshqarish nazariyasidagidek matematik model bilan almashtirilib ko'rib chiqiladi. Ushbu qurilmalardagi hodisalarni tadqiq etishni ularning ishlashini fizik tamoyillarini ko'rib chiqqan holda bajarish mumkin. Matematik modellarda esa bu fizik hodisalar bilvosita (abstrakt) alomatlari bo'yicha o'rganiladi. Masalan, ko'rilayotgan holda yuritmaning ishlayotgan nuqtasi yaqinidagi muvozanatda ishlash rejimidagi tezlanishi, matematik modelda, uning uzatish funksiyasi qutblarining musbat yoki manfiyligi bilan aniqlanadi. Yuritma nazariyasidagi bu ikki yondoshishdan muhimrog'i birinchisidir, bu tushuntirish matematik modellardan foydalanishni inkor qilmasada, elektromexanik tizimda vujudga kelayotgan hodisalarning fizik mohiyatini ochib beradi.

Avtomatlashtirilgan elektr yuritma nazariyasining avtomatik boshqarish nazariyasidan farqi ana shundan iborat. Bu yerda elektr yuritma modeli avtomatik boshqarish obyekti yoki tizimi sifatida o'rganiladi.

1.5. YURITMANING MEXANIK QISMIDAGI ISROFLAR

Energiya dvigatelning elektr zanjiri va yuritmaning kinematik zanjiri bo'yicha uzatilganda dvigatelning kuchli zanjirida elektr energiyani mexanik energiyaga aylantirish jarayonida isroflar hosil bo'ladi. Bundan tashqari o'qlarning ustunlarida tishli uzatma va boshqa uzatma turlarida ishqalanish kuchlari hisobiga, qovushoq ishqalanish, umumiy elementlarda bundan tashqari dissipatsiya hodisasi bilan bog'liq bo'lgan qarshilik kuchlari hisobiga ham isroflar bo'ladi. Bu isroflar yuritmaning o'rnatilgan va dinamik rejimlarida uning ishiga ta'sir ko'rsatadi.

Shunday qilib, agar dvigatel uchun quvvatlar tengligi tenglamasiga ko'ra:

$$P_{elm} = P - DP_{el}; \quad P_{\Omega} = P_{elm} - DP_{\Omega}, \quad (1.19)$$

bu yerda: P — o'zgartgichdan (tarmoqdan) dvigatelga berilayotgan quvvat; P_{elm} , P_{Ω} — elektromagnit va dvigatel o'qidagi mexanik quvvat; DP_{el} — dvigatel kuchli zanjiridagi quvvat sarfi; DP_{Ω} — energiyani elektromexanik o'zgartgichi bo'lgan elektr mashinadagi quvvat sarflari.

Dvigatelning kuchli zanjiridagi issiqlikka aylanadigan va o'zgartgich qurilmasi yordamida qoplanadigan isroflarni hisobga olmasdan quyidagini yozish mumkin:

$$DP_{\Omega} = DP_p + DP_m, \quad (1.20)$$

bu yerda: DP_p — po'latdagi isroflar; DP_m — mexanik isroflar. Po'latdagi isroflar gisterezis va uyurma toklar hisobiga hosil bo'ladi. Isroflar dvigatel yakorining aylanish tezligiga mos ravishda chiziqli va kvadrat ko'rinishida bo'ladi. Mexanik isroflar cho'tkadagi va podshipniklardagi quruq (kulon) ishqalanishni yengish hamda qovushoq ishqalanish hisobiga yuzaga keladi. Bu ayniqsa o'z-o'zini shamollatadigan elektr mashinalarda sezilarli qiymatga ega.

Yuqorida ko'rsatilgan isroflarni doimiy DP_{doim} va o'zgaruvchan $DP_{\text{o'zg}}$ isroflarga ajratish mumkin. U holda (1.19) va (1.20) ifodalardan quyidagini olamiz:

$$P_{\text{elm}} = P_{\text{q}} + DP_{\text{q}} = P_{\text{q}} + DP_{\text{doim}} + DP_{\text{o'zg}}. \quad (1.21)$$

Elektromagnit momentni (1.18) tenglamadan aniqlaymiz:

$$M_{\text{elm}} = M_{\text{q}} + DM_0 + DM_{\text{o'zg}}, \quad (1.22)$$

bu yerda: M_{q} — yuritma o'qidagi moment; bu muvozanatlovchi statik moment M_s ; DM_0 — o'zgarmas, $DM_{\text{o'zg}}$ — aylanish tezligiga bog'liq bo'lgan moment isrofining o'zgaruvchan tashkil etuvchisi.

Bundan buyon ifodalar yozuvini soddalashtirish maqsadida elektromagnit momenti belgisidagi «elm» indeksini tushirib qoldiramiz.

$DM_{\text{o'zg}}$ elektr mashina va uning tashkil etuvchilarini burchak tezlikka bog'liq bo'lgan shamollatish usuliga ko'ra:

$$DM_{\text{o'zg}} \gg Kw^2, \quad (1.23)$$

burchak tezlik Dw ni uncha katta qiymatga o'zgarmaganligi bois (1.20) quyidagi ifoda bilan almashtirilishi mumkin:

$$DM_{\text{o'zg}} \gg dM_{\text{q.i.}} = aDw, \quad (1.24)$$

bu yerda: a — tashqi qovushoq ishqalanish koeffitsiyenti.

Shunday qilib, dvigatelning mexanik qismini qattiq jism sifatida qarab elektromagnit moment uchun quyidagi ifodani olamiz:

$$M = M_{\text{q}} + DM_0 + DM_{\text{o'zg}}.$$

O'z navbatida dvigatel o'qiga keltirilgan statik moment nafaqat ish organi ijrochi mexanizmining yuklamasi bilan, balki uzatish qurilmalaridagi isroflar bilan ham aniqlanadi. Bu holda uzatish qurilmalarining foydali ish koeffitsiyentini hisobga olish kerak bo'ladi.

II bob. O'ZGARMAS TOK DVIGATELLARINI ROSTLASH XUSUSIYATLARI VA MEXANIK TAVSIFLARI

2.1. UMUMIY HOLATLAR

Elektr yuritma nazariyasida tez-tez foydalaniladigan asosiy tushunchalarga izoh berib o'tamiz.

Elektr dvigatellar uchun o'rnatilgan ish rejimida olingan $w = f(M_{\text{q}})$ bog'lanish *mexanik tavsif* deb ataladi. Ma'lumki, bunday funksional bog'lanish elektr mashinasi dvigatel rejimida ishlagandagina mavjud bo'ladi. Bu rejimda yakorning aylanish tezligi ijrochi mexanizm tomonidan mashinaga qo'yilayotgan reaktiv yuklama momentining funksiyasi bo'lib qoladi.

Lekin elektr mashina tarmoqqa energiya berib tormozlash rejimida ishlayotganda, u generator rolini bajaradi. Bu holda mustaqil o'zgaruvchi sifatida, tashqi ta'sirlar o'zgarishi natijasida o'zgaradigan tezlik funksiyasi sifatida elektromagnit moment qaraladi.

Shunday qilib, amalda, dvigatelning ish rejimiga bog'liq holda $w = f(M_{\text{q}})$ hamda $M_{\text{q}} = f(w)$ funksiyalar mavjud bo'lsa-da, elektr yuritma nazariyasida bitta turdagi bog'liqlik $w = f(M_{\text{q}})$ — mexanik tavsif ko'riladi va tasvirlanadi, bu yerda: M_{q} — elektromagnit moment. Bunda elektr mashinaning po'lat qismidagi isroflar statik moment bilan jamlanishi ko'zda tutilgan.

Dvigatelning mexanik tavsifi elektromexanik tizimining o'rnatilgan rejimidagi ish sifati va samaradorligini to'la yoritadi. Ular yana dvigatelning tezlanishi va sekinlanishini aniqlaydigan ortiqcha dinamik momentni tavsiflab elektr yuritmaning dinamik rejimiga ta'sir ko'rsatadi.

Mexanik tavsiflar «tabiiy» va «sun'iy» bo'ladi. Tabiiy mexanik tavsif ta'minlovchi tarmoqning normal ko'rsatkichlarida mashina zanjirlarida qo'shimcha qarshiliklar bo'lmaganda va nominal ulanish sxemasida olinadi. Dvigatelning qolgan hamma mexanik tavsiflari sun'iy deb ataladi.

Mexanik tavsifdan tashqari ko'p hollarda $w = f(I)$ bog'lanishni ko'rish qulay bo'lib, bu yerda: I — yakor (rotor) toki. Dvigatelning bunday tavsifi elektromexanik tavsif deb ataladi. Qiyalik koeffitsiyenti b bilan tavsiflanadigan yuklama momenti tezlik o'zgarishiga ko'ra mexanik tavsiflari quyidagi to'rt guruhga bo'linadi:

Absolut qattiq tavsiflar (2.1- rasm, a dagi I tavsif) mos ravishda aylanma va ilgarilama harakat uchun:

$$b = dw/dM \geq 0; \quad b = du/dF \geq 0, \quad (2.1)$$

bu yerda: $dw = Dw/w_{\text{nom}}$; $dM = DM/M_{\text{nom}}$.

Sinxron dvigatellar absolut qattiq tavsifga ega bo'ladi.

Bundan tashqari agar elektr dvigatel avtomatik boshqarish tizimining obyekti sifatida ishlatilsa, u holda o'rnatilgan rejimda, bu dvigatel uchun absolut $w = f(M)$ mexanik tavsifini olish mumkin.

2.1- rasm. Dvigatelning mexanik tavsiflari:
 a — o'zgarmas; b — o'zgaruvchan qattqlikdagi.
 1 — absolut qattiq; 2 — qattiq; 3 — yumshoq.

Qattiq mexanik tavsif (2.1- rasm, a dagi 2 tavsif). Bu tavsifga ega bo'lgan yuritmalarda b 1—10% atrofida o'zgaradi. Bu guruhga mustaqil qo'zg'atish chulg'amli o'zgarmas tok dvigatellari, kollektorli mashinalar va ventilli dvigatellar kiradi.

Yumshoq mexanik tavsifga (2.1- rasm, a dagi 3 tavsif) tavsif qiyaligi 10% dan ko'p bo'lgan dvigatellar ega bo'ladi. Ularning qatoriga ketma-ket qo'zg'atish chulg'amli o'zgarmas tok dvigatellari, to'g'ridan-to'g'ri o'zgaruvchan tarmoqqa yoki o'zgarmas tokka ulanadigan kollektorli universal dvigatellar yuqori sirpanishga ega bo'lgan asinxron dvigatellar kiradi. Ko'p turdagi dvigatellarning sun'iy tavsiflari ham yumshoq hisoblanadi.

Ko'pincha mexanik tavsiflari o'zgaruvchan qattqlikka ega bo'lgan dvigatel yoki elektr yuritma tizimlari qo'llaniladi. Masalan, 2.1- rasm, b dagi 1 qisqa tutashgan rotorli asinxron dvigatelning mexanik 2 ekskavatorga xos bo'lgan mexanik tavsifni, 3 ketma-ket qo'zg'atish chulg'amli o'zgarmas tok dvigatelining tavsifini ifodalaydi. Agar AB qismdagi tavsiflar qattiq bo'lsa, BC qismidagi tavsiflar yumshoq ko'rinishga ega. Shunday qilib, bu tavsiflar o'zgaruvchan qiyalikka ega bo'lgan tavsiflar deb yuritiladi.

Mexanik tavsiflarning ko'rinishi va elektr dvigatel turini texnologik talablardan kelib chiqqan holda tanlanadi. Masalan, po'latni prokatlash, qog'oz ishlab chiqarish, rotatsion bosim, zamonaviy metall kesish dastgohlari mexanizmlari uchun qattiq mexanik tavsif talab etiladi. Ba'zi, sinov stendlari va tasmali mexanizmlari ko'pincha yuritmada absolut qattiq mexanik tavsif bo'lishini taqozo etadi.

2.2. NISBIY BIRLIKLAR

Turli nominal qiymatlarga ega bo'lgan elektr yuritmalarni taqqoslash va boshqa tadqiqotlarni o'tkazishda nisbiy birliklardan foydalanish maqsadga muvofiq.

Har qanday o'zgaruvchini nisbiy birliklarda ifodalash uchun uning absolut qiymatini shunga o'xshash bazaviy qiymatga bo'lish kerak. Odatda, elektr yuritmalarda bazaviy qiymat sifatida quyidagilardan foydalaniladi:

U_{nom} — nominal kuchlanish; I_{nom} — nominal tok; $M_{nom}(F_{nom})$ — nominal moment (kuch); $R_{nom}(Z_{nom})$ — tarmoqdan nominal kuchlanish berilganda nominal tok oqishini ta'minlaydigan qo'zg'almas dvigatel zanjiridagi nominal qarshilik; ω_{nom} — dvigatel yakorining (rotorining) nominal burchak tezligi. Bu

qiymatlardan tashqari o'zgaruvchan tok mashinalari uchun bazaviy qiymat sifatida magnit maydonining sinxron burchak tezligi $\omega_0(\omega_{sx})$, mustaqil qo'zg'atish chulg'amli o'zgarmas tok dvigateli uchun elektr yurituvchi kuch tarmoq kuchlanishiga teng bo'lgandagi ideal salt yurish tezligi ω_0 qabul qilinadi.

Kuchlanish uchun nisbiy kattalikni quyidagicha yozish mumkin:

$$v = U \cdot U_{\text{nom}}^{-1} . \quad (2.2)$$

Asinxron mashinalarda kuchlanishning ikkita bazaviy qiymatidan foydalanish maqsadga muvofiq: stator zanjiri uchun tarmoq kuchlanishi va qo'zg'almas rotor uchun uning elektr yurituvchi kuchi (EYK) $E_2 \text{ nom}$.

Nisbiy birlikda tokni quyidagicha ifodalaymiz:

$$i = I \cdot I_{\text{nom}}^{-1} . \quad (2.3)$$

O'zgarmas tok mashinalari uchun yuqorida keltirilgan tushunchaga asosan

$$R_{\text{nom}} = U_{\text{nom}} \cdot I_{\text{nom}}^{-1} . \quad (2.4)$$

U holda yakor qarshiligining nisbiy birligi:

$$\rho_{ya} = R_{ya} \cdot R_{\text{nom}}^{-1} . \quad (2.5)$$

Faza rotorli asinxron dvigatel bitta fazasining nominal qarshiligini statorni nominal kuchlanish va chastotaga ega bo'lgan tarmoqqa ulab olinadi. Bu holda rotor zanjiriga shunday qarshilik ulash kerakki, u rotor qo'zg'almas bo'lganda hamda fazalari «yulduzcha» usulida ulanganda, nominal tok oqib o'tishini ta'minlaydigan bo'lsin, ya'ni

$$R_{2\text{ nom}} = Z_{2\text{ nom}} = E_{2\text{ nom}} / \left(\sqrt{3} I_{2\text{ nom}} \right) , \quad (2.6)$$

bu yerda: $E_{2\text{ nom}}$ — ochiq qo'zg'almas rotordagi nominal EYK: $I_{2\text{ nom}}$ — rotorning nominal toki.

Rotor induktivligini yanada aniqroq hisobga olish uchun (2.6) tenglamani quyidagi ko'rinishda yozish mumkin:

$$R_{2\text{ nom}} = (0,98 \div 0,99) Z_{2\text{ nom}} . \quad (2.7)$$

Agar dvigatel rotorini «uchburchak» usulda ulangan bo'lsa (2.6) formula bo'yicha «yulduz» usulida ulangan rotorning fazasiga ekvivalent bo'lgan qarshilik hisoblanadi. U holda «uchburchak» bo'yicha ulangan rotor fazasi qarshiligini quyidagi formula bo'yicha aniqlaymiz:

$$R_{2D} = 3R_{2e}. \quad (2.8)$$

Momentning nisbiy qiymati quyidagi formula bilan aniqlanadi:

$$m = MM_{\text{nom}}^{-1}, \quad (2.9)$$

bu yerda: — mashina o'qidagi moment yoki elektromagnit momentning nominal qiymati.

Dvigatelning elektromagnit momenti uning o'qidagi momentdan yuzaga kelgan uyurma tok, gisterezis, ventilyatsiya, podshipnik va cho'tkalardagi ishqalanishlar bilan bog'liq bo'lgan isroflar kuzatiladi. Shuning uchun (2.9) formuladagi qiymat ustida to'xtalib o'tamiz.

Bu momentning qiymati o'zgarmas tok dvigateli uchun tarmoqning nominal kuchlanishi va qo'zg'atish chulg'ami hamda yakor zanjiridagi tokning qiymatlari nominal qiymatga ega bo'lganda, asinxron mashinalar uchun esa tarmoq kuchlanishi hamda chastotasi va stator toki nominal qiymatga ega bo'lganda aniqlanadi.

Ketma-ket hamda aralash qo'zg'atish chulg'amli va universal dvigatellar uchun burchak tezlikning nisbiy qiymati quyidagi formula bo'yicha aniqlanadi.

$$n = \omega \cdot \omega_{\text{nom}}^{-1}. \quad (2.10)$$

Ammo asinxron mashinalar va mustaqil qo'zg'atish chulg'amli o'zgarmas tok dvigatellari uchun bu ko'rsatkich quyidagicha aniqlanadi, ya'ni

$$n = w \cdot w_0^{-1}. \quad (2.11)$$

Asinxron dvigatelning sirpanishi:

$$S = (w_0 - w)/w_0 = 1 - n, \quad (2.12)$$

bu yerda: $w_0 = 2\pi f p^{-1}$; p — mashinaning juft qutblari soni.

2.3. O'ZGARMAS TOK DVIQATELLARINING MEXANIK TAVSIFLARI

O'zgarmas tok dvigateli mexanik tavsifining ifodasini aylanayotgan mashinaning yakor zanjiridagi elektr yurituvchi kuchlarining muvozanatidan kelib chiqqan holda aniqlaymiz:

$$U_t = E + IR + DU_r, \quad (2.13)$$

bu yerda: U_t — ta'minot tarmog'i kuchlanishi, V; DU_r — cho'tkalardagi kuchlanish tushishi, V.

EYK va dvigatelning elektromagnit momentining qiymati quyidagicha aniqlanadi:

$$E = \frac{pN}{2pa} F w = C_E F w; \quad (2.14)$$

$$M = \frac{pN}{2pa} F I = C_M F I; \quad (2.15)$$

bu yerda: N — yakor chulg'amidagi aktiv o'tkazgichlar soni; a — yakor chulg'ami parallel shoxchalari soni; Φ — bitta qutbning magnit oqimi, Vb; w — yakorning burchak tezligi, 1/s; I — yakor toki, A; R — yakor zanjiri qarshiligi, W. U bilan yakorga berilayotgan kuchlanishni belgilaymiz va uni tarmoq kuchlanishi U_t va DU_{shch} ning ayirmasiga teng deb hisoblaymiz. Bundan tashqari yakor qarshiligi R_{ya} va yakor zanjiri qarshiligi R bir-biridan farq qiladi. Bunda R qo'shimcha qarshiliklar va yakor qarshiligining yig'indisiga teng.

(2.14) va (2.15) tenglamalarga ko'ra E va M parametrlar SI birliklar tizimida olinadi, u holda $C_E = C_M = pN(2pa)^{-1}$. Agar dvigatel yakorining burchak tezligi aylanish chastotasi n (ayl/min) bilan almashtirilsa, u holda quyidagini olamiz:

$$C_E = \frac{pN}{2pa} \cdot \frac{2p}{60} = \frac{pN}{60} = 0,1047 C_M; \quad (2.16)$$

(2.14) va (2.16) ifodalardagi qiymatlarni (2.13) formulaga qo'ysak, o'zgaras tok dvigatelining mexanik tavsifi tenglamasiga ega bo'lamiz:

$$w = \frac{U}{C_E \Phi} - \frac{R}{C_E C_M \Phi^2} M, \quad (2.17)$$

bu yerda: R — dvigatel yakor zanjirining qarshiligi bo'lib, u yakor chulg'ami qarshiligi r_{ya} , qo'shimcha qutblar r_{qk} va qoplovchi chulg'amlar r_{qch} qarshiliklar yig'indisidan iborat.

Dvigatel nominal rejimda ishlayotganini hamda o'zgaras $DP_{o'zgaras}$ va o'zgaruvchan $DP_{o'zgaruvchan}$ isroflar teng ekanliklarini hisobga olgan holda quyidagini yozish mumkin:

$$I_{nom}^2 R_{ya} = P_{o'zg.nom} = (U_{nom} I_{nom} - P_{nom})/2; \quad (2.18)$$

$$r_{ya} = 0,5(1 - h_{nom}), \quad (2.19)$$

bu yerda: r_{ya} — dvigatel yakori qarshiligining nisbiy qiymati; $R_{ya} = r \cdot R_{nom}$ nominal rejimda ishlayotgan mashina yakor zanjiri qarshiligining absolut qiymati.

2.4. MAGNIT OQIMI O'ZGARMAS BO'LGANDA MUSTAQIL QO'ZG'ATISH CHULG'AMLI DVIGATELNING MEXANIK TAVSIFLARI

Yakor reaksiyasini amalga oshirish maqsadida dvigatel qo'shimcha qutblarga ega, deb hisoblaymiz. Yakor zanjirining qarshiligi R , u yerdan oqayotgan tokning qiymatiga bog'liq bo'lmagan holda cho'tkalardagi kuchlanish tushishi hisobga olinadi. U holda qo'zg'atish chulg'amidan oqayotgan tok o'zgarmas va buning natijasi o'laroq magnit oqimi ham o'zgarmas bo'lganligi uchun dvigatel mexanik tavsifining tenglamasi quyidagi ko'rinishga ega bo'ladi:

$$w = \frac{U}{K_E} - \frac{R}{K_E K_M} M = w_0 - \frac{R}{K_E K_M} M, \quad (2.20)$$

bu yerda: $K_E = C_E \Phi$; $K_M = C_M \Phi$; w_0 — ideal salt yurish tezligi, $\Phi = \Phi_{nom}$ bu (2.20) tenglamadan dvigatelning elektromexanik tavsifi tenglamasini olish mumkin:

$$w = w_0 - (R/K_E) \cdot I. \quad (2.21)$$

Bu (2.20) va (2.21) ifodalar $K = R/(K_E K_M)^{-1}$ va w_0 o'zgarmas qiymatlarida to'g'ri chiziqli tenglamasiga aylanadi, ya'ni:

$$w = w_0 - KM \quad \text{yoki} \quad w = w_0 - K_1 I, \quad (2.22)$$

2.2- rasm. Mustaqil qo'zg'atishli o'zgarmas tok dvigatelining kuchlanish o'zgarmas bo'lgandagi va yakor zanjiridagi qarshiliklar o'zgargandagi (a), kuchlanish nol bo'lgandagi (b) mexanik tavsiflari

bu yerda: K va K_1 — mexanik va elektromexanik tavsiflari qiyaligi burchagining tangensiga teng.

Bu parametrlarning mexanik tavsif qiyaligi koeffitsiyentlari bilan bog'liqligini aniqlash mumkin

$$K = b w_{\text{nom}} / M_{\text{nom}}; \quad K_1 = K_M w_{\text{nom}} b / M_{\text{nom}}.$$

(2.20) tenglamaga muvofiq dvigatel sun'iy mexanik tavsiflarining ikki turini (tarmoq kuchlanishi o'zgarmas bo'lib, yakor zanjiri qarshiligi R ning qiymatini o'zgartirganda, R ning qiymati o'zgarmas bo'lib, yakorga berilayotgan kuchlanishni o'zgartirganda) kuzatish mumkin.

Tavsiflarning birinchi turi ko'p nurli yulduzdan iborat bo'lib, barcha nurlar koeffitsiyenti w_0 va $M = 0$ nuqtada kesishadi. Har bir nurning qiyaligi yakor qarshiligi R_{ya} va yakorga ulangan qo'shimcha qarshilik R_q larning yig'indisi bo'lgan R qarshilikning qiymatiga bog'liq.

Agar $R_q = 0$ ga teng bo'lsa, tabiiy mexanik tavsifni, $R_q \neq 0$ da esa turli qiyaliklarga ega bo'lgan sun'iy tavsiflarni olamiz (2.2-rasm, a).

Xususiyl holda, ya'ni $U = 0$ bo'lganda mexanik tavsiflar koordinata boshida kesishib, ($w_0 = 0$, $M = 0$) ko'p nurli yulduz ko'rinishida bo'ladi.

1- misol. Mustaqil qo'zg'atishli P51 rusumli o'zgarmas tok dvigateli uchun tabiiy elektr mexanik tavsifi qurilsin. Dvigatelning pasport ma'lumotlari: $P_n = 11 \text{ kW}$, $U_n = 220 \text{ V}$, $I_n = 59 \text{ A}$, $n_n = 3000 \text{ ayl/min}$.

Yechimi. Dvigatelning nominal qarshiligi:

$$R_n = \frac{U_n}{I_n} = \frac{220}{59} = 3,73 \text{ W},$$

dvigatelning nominal yuklamadagi foydali ish koeffitsiyenti:

$$\eta_n = \frac{1000 \cdot P_n}{U_n \cdot I_n} = \frac{1000 \cdot 11}{220 \cdot 59} = 0,845,$$

dvigatel yakorining qarshiligi:

$$R_{ya} \gg 0,5(1-\eta_n)R_n = 0,5(1-0,845) \cdot 3,73 = 0,288 \text{ W},$$

dvigatelning salt yurish tezligi:

$$w_0 = \frac{w_n}{U_n - I_n R_n} \cdot U_n.$$

$$\omega_0 = \frac{314}{220 - 59 \cdot 0,288} \cdot 220 \gg 340 \text{ rad/s},$$

bu yerda

dvigatelning tabiiy tavsifi $w_0 = 340 \text{ rad/s}$, $I = 0$ va $w_n = 314 \text{ rad/s}$, $I_n = 59 \text{ A}$ nuqtalaridan o'tadigan to'g'ri chiziqni tashkil qiladi.

2- misol. Mustaqil qo'zg'atishli P91 rusumli dvigatel uchun ishga tushirish reostatini tanlash talab etiladi. Dvigatelni ishga tushirish to'rt pog'onada amalga

oshiriladi. Dvigatelning pasport ma'lumotlari: $P_n = 32,0 \text{ kW}$, $U_n = 220 \text{ V}$, $I_n = 172 \text{ A}$, $n_n = 1000 \text{ ayl/min}$ va $R_{ya} = 0,049 R_n$.

Yechimi. Nisbiy birliklarda tabiiy mexanik tavsifni quramiz. Buning uchun quyidagi koordinatlarga ega bo'lgan nuqtalardan to'g'ri chiziqli o'tkazamiz:

$$n_0 = 1, m = 0$$

$$n_n = 1 - Dn_n = 1 - 0,049 = 0,951, m = 1$$

Maksimal ishga tushirish momentini $m_1 = 2$ ga teng deb qabul qilamiz.

2.3- *rasm*. Mustaqil qo'zg'atishli o'zgarmas tok dvigatelini ishga tushirish reostatlarini qiyamatini hisoblash.

Barcha reostatlar ulangandagi tavsifni n_0 , 0 va 0, m_1 nuqtalarni birlashtirib olamiz.

Minimal ishga tushirish momenti m_2 ni shunday tanlash lozimki, 2.3- rasmga muvofiq grafik qurilganda to'rtta pog'ona qarshiligi olinsin. Qurilgan grafikdan $m_2 = 1,1$ ni olamiz.

ad kesmasi dvigatelning nominal qarshiligiga to'g'ri keladi:

$$R_n = \frac{U_n}{I_n} = \frac{220}{172} = 1,28 \text{ W}.$$

Ishga tushirish reostatining pog'ona qarshiliklari:

$$R_1 = \frac{ef}{a\partial} R_n = 0,22 \cdot 1,28 = 0,282 \text{ W}.$$

$$R_2 = \frac{de}{a\partial} R_n = 0,125 \cdot 1,28 = 0,16 \text{ W}.$$

$$R_3 = \frac{cd}{a\partial} R_n = 0,0625 \cdot 1,28 = 0,08 \text{ W}.$$

$$R_4 = \frac{bc}{a\partial} R_n = 0,04 \cdot 1,28 = 0,051 \text{ W}.$$

Ishga tushirish reostatining to'la qarshiligi:

$$R_r = \frac{bf}{a\delta} R_n = 0,4475 \cdot 1,28 = 0,573 \text{ W}.$$

Yakorga berilayotgan kuchlanishning turli qiymatlarida va yakor zanjiridagi qarshilikning o'zgarmas qiymatida 2.4- rasmda ko'rsatilgan bir-biriga parallel bo'lgan mexanik tavsiflarni olamiz.

Dvigatel mexanik tavsiflari ikkita nuqta bo'yicha hisoblanadi va quriladi. Bular ideal salt yurish nuq

2.4- rasm. Dvigatel yakoriga berilayotgan kuchlanish o'zgartirilgandagi mexanik tavsiflar.

tasi ($w-w_0$, $M=0$) va nominal rejimda ishlash nuqtasi ($w=w_{\text{nom}}$, $M=M_{\text{nom}}$). U holda (2—21) tenglamaga asosan:

$$K_E = (U_t - DU_{\text{Sh}} - I_{\text{nom}} R_{\text{ya}}) / w_{\text{nom}}. \quad (2.23)$$

Bundan keyin quyidagilarni aniqlaymiz:

$$w_0 = U_{\text{nom}} / K_E; \quad M_{\text{nom}} = K_M / I_{\text{nom}},$$

bu yerda: $K_M = K_E$ ga teng.

Shuni hisobga olish kerakki, ni aniqlashda elektromagnit momentni emas, balki dvigatel o'qidagi momentning qiymati olinadi.

Tenglama (2.20) ni tadbiq etgan holda uni $U = \text{const}$ va $R = \text{var}$ hol uchun nisbiy birlikda yozamiz:

$$n = 1 - \frac{RK_M I_{\text{nom}}}{K_E K_M w_0} = 1 - \frac{RI_{\text{nom}}}{U_{\text{nom}}} = 1 - r = 1 - b. \quad (2.24)$$

Shunday qilib, yuklama M_{nom} ga teng bo'lganida tezlikning statik tushishi son jihatdan yakor zanjiri qarshiligining nisbiy qiymatiga yoki qiyalik koeffitsiyenti b ning qiymatiga teng:

$$Dn = 1 - n = r = b, \quad (2.25)$$

bu yerda: tezlikning nisbiy tushishi o'zgarmas tok dvigatel sirpanishi S ni ham aniqlaydi, ya'ni:

$$S = (w_0 - w)/w_0 = 1 - n = Dn = r = b . \quad (2.26)$$

Dvigatelni ishga tushirish va reverslash. Dvigatel yakorini reverslash (aylanish yo'nalishini o'zgartirish) odatda dvigatelga berilayotgan kuchlanish qutblarining o'rnini almashtirish bilan amalga oshiriladi. Bu holda yakor zanjiridan oqayotgan tok qiymatini chegaralash uchun yakorga ketma-ket katta qiymatga ega bo'lgan qarshilik ulanadi. Chunki yakordagi qutblar o'rnini almashtirgan paytda EYK o'z yo'nalishini saqlab qoladi, bunda esa yakorga tarmoq kuchlanishiga qaraganda ikki marta katta qiymatga ega bo'lgan kuchlanish qo'yiladi.

2.5- *rasm.* Mustaqil qo'zg'atishli dvigatel yakorini to'g'ri (*a*) va teskari (*b*) yo'nalishda aylantiruvchi ulanish sxemalari.

Sanoat elektr yuritmalarida qo'zg'atish chulg'amidagi tokning yo'nalishini o'zgartirish bilan dvigatelni roslash tavsiya etilmaydi. Chunki qo'zg'atish chulg'ami katta induktivlikka ega bo'lganligi uchun tokni va magnit oqimini teskari yo'naltirish jarayoni ko'p vaqtni talab qiladi.

Bundan tashqari qo'zg'atish chulg'amida tokning uzilishi chulg'amda juda katta qiymatga ega bo'lgan o'zinduksiya EYK hosil qiladi. Bu esa o'z navbatida chulg'am izolatsiyasining teshilishi va oqibatda ishdan chiqishiga olib keladi. Shartli ravishda yo'nalishlardan biri musbat, teskarisi esa manfiy deb qabul qilinadi. Ko'tarish kranlarida yukni ko'tarish yo'nalishi musbat bo'ladi.

Mustaqil qo'zg'atish chulg'amli o'zgarmas tok dvigatelni tarmoqqa ulab ishga tushirish mumkin emas. Chunki yakor qarshiligi R_{ya} ancha kam bo'lganligi sababli bu payt yakordagi tokning qiymati nominal tokka nisbatan 10÷20 marta oshib ketadi; bu esa mashinaning ishdan chiqishiga olib keladi.

Yakorga ketma-ket ulangan, ishga tushirish qarshiligi bilan ishga tushirish tokini joiz qiymatiga qadar kamaytirish mumkin.

$$I_{IT} = U/(R_{ya} + R_q)$$

bu yerda: I_{IT} — ishga tushirish tokining $w = 0$ bo'lgandagi boshlang'ich qiymati.

Dvigatel yakori tezligining ortishi bilan uning EYK ning qiymati ortib boradi va tokning miqdori esa kamayadi.

$$I = (U - E)/(R_{ya} + R_q). \quad (2.27)$$

Tok kamayishi bilan dvigatel momenti ham kamayadi. Chunki dinamika tenglamasiga muvofiq tezlanish ham kamayadi. Ishga tushirayotganda yakor tezlanishini jadallashtirish uchun R_q ni kamaytirish kerak. Shunday qilib, R_q ni pog'onama-pog'ona kamaytirib borib, dvigatel bir elektromexanik tavsifdan boshqa tavsifga o'tkaziladi (2.6- rasm).

Bu ishni asosan ishga tushirish qurilmalari yoki maxsus avtomatlashtirilgan ishga tushirish sxemalari orqali amalga oshiriladi. Bunday ishga tushirish *reostatli ishga tushirish* deb ataladi. Ishga tushirilgandan so'ng dvigatel o'rnatilgan statik tok I_q (moment M_q) va tezlik w_q (2.6- rasm) bilan ishlaydi.

Mexanik tavsiflarning umumiy xususiyatlari. Dvigatelning hamma mexanik tavsiflarini to'g'ri burchak (dekart) koordinatalar tizimining to'rtta kvadrantida tasvirlash mumkin. Birinchi kvadrantda yakorning musbat

2.6- rasm. Dvigatelni ishga tushirish diagrammasi.

yo'nalishda aylangan dvigatel rejimidagi mexanik tavsiflari, uchinchi kvadrantda esa reverslashdagi dvigatel rejimi moment va burchak tezligi teskari ishora bilan joylashadi. Oxirgi tavsiflarni quyidagi formula bilan hisoblab chiqish mumkin:

$$w = -w_0 - \frac{R}{K_E^2} M. \quad (2.28)$$

Energiyani tarmoqqa qaytarib generator (rekuperativ) tormozlash, dinamik tormozlash va teskari ulash rejimida tormozlash tavsiflari ikkinchi va to'rtinchi kvadrantlarda joylashadi.

Energiyani tarmoqqa qaytarib (rekuperativ) tormozlash. Bu rejim dvigatelni dvigatel rejimida ishlayotganda mexanizm harakatga (dvigatel aylanishiga) qarshilik ko'rsatmaydigan hollarda mavjud bo'ladi.

Bunda momentlar yig'indisi ta'siri ostida elektr yuritma tezlanishi ortadi (tezlanadi), natijada dvigatelning EYK ortadi (2.27) tenglama bilan aniqlanadigan tok qiymati esa kamayadi. Dvigatel burchak tezligi salt yurish tezligi w_0 ga yetganda EYK ning qiymati tarmoq kuchlanishi qiymatiga, tok esa nolga teng bo'ladi:

$$I = (U - K_E w)/R = 0. \quad (2.29)$$

Statik (qarshilik) momenti ta'siri ostida dvigatel tezligi ortib boradi ($w > w_0$), natijada uning EYK tarmoq kuchlanishidan katta bo'ladi, shuning uchun:

$$I = (U - K_E w)/R = (U - E)/R < 0. \quad (2.30)$$

Shunday qilib dvigatel momenti o'z yo'nalishini o'zgartiradi, ya'ni, harakatlantiruvchi emas, balki tormozlovchi bo'lib qoladi. Tezlikning o'rnatilgan holatiga statik moment va dvigatelning tormozlash momenti o'zaro muvozanatda bo'lganida erishiladi. Bu holda elektr mashina mexanik energiyani elektr energiyaga aylantirib, tarmoqqa beradigan generatorga aylanadi.

Amalda bunday tormozlash ko'tarish — transport qurilmalarida qo'llaniladi. 2.7- rasmda dvigatelning mexanik tavsiflari tasvirlangan va yukni M_q momenti bilan tushirayotganda uni teskari aylanishi ko'rsatilgan.

Yukni tushirish jarayonining boshlanishida M ni chegaralash uchun yakor zanjiriga qo'shimcha qarshilik kiritiladi. Shundan so'ng dvigatel tabiiy mexanik tavsifga o'tkaziladi. Tezlik M_q ning o'rnatilgan qiymatidan w_0 tezlikdan ozgina kattaroq

2.7- rasm. Ko'tarish mexanizmi yuritmasining rekuperativ tormozlash rejimidagi mexanik tavsiflari.

bo'ladi. Shuning uchun yukni tushirishdagi bunday tormozlash rejimida tezlik yukni ko'tarishdagi tezlikdan kattaroq tezlikda amalga oshiriladi.

Elektrodinamik tormozlash. Elektrodinamik tormozlash (dinamik) rejimida dvigatelning yakor zanjiri tashqi tormozlash rezistori R_{tr} ga ulanadi (2.8- rasm, a), qo'zg'atish chulg'ami esa magnit oqimini saqlab qolish maqsadida tarmoqqa ulangan holda qoladi. Dvigatel yakori tarmoqdan uzilgan bo'lsa ham, u aylanish yo'nalishini saqlab qoladi hamda EYK yakordagi tok (moment) yo'nalishini o'zgartiradi va tormozlovchi bo'ladi:

$$I_{TR} = -E/R = -C_E \Phi_{nom} w/R, \quad (2.31)$$

2.8- rasm. Dvigatelning dinamik tormozlash rejimidagi elektr sxemasi (a) va mexanik tavsiflari (b).

bu yerda: $R = R_{Y_a} + R_{TR}$. Bu holda yuritmaning mexanik qismida to'plangan kinetik energiya (reaktiv statik moment) yoki potensial energiya (aktiv statik momentda, masalan, yukni tushirayotganda) issiqlikka aylanib, yakor zanjiridagi qarshilik R ni qizdirib, issiqlik sifatida tashqariga chiqib ketadi.

Bu rejim uchun mexanik tavsif tenglamasi 2.20 tenglamadan $U = 0$ deb olinadi:

$$w = - \frac{R}{K_E K_M} \cdot M. \quad (2.32)$$

Tenglama (2.32) yordamida hisoblangan tavsiflar $R = var$, bo'lganda koordinata boshida to'plangan to'g'ri chiziqlar kabi bo'ladi. Bu tavsiflar ikkinchi va to'rtinchi kvadrantlarda joylashadi.

Yuritmani dvigatel rejimidan bunday tormozlash rejimiga o'tkazish jarayoni 2.8- rasm, b da ko'rsatilgan. Dvigatel avval w_q tezlik va M_q moment bilan 1- nuqtadan boshlab ishlayotgan edi. Yakorni tarmoqdan uzib tormozlash qarshiligiga ulangandan so'ng yuritma boshlang'ich moment M_2 bilan 2- nuqtaga o'tadi. Shundan so'ng tezlik kamayishi bilan tormozlash momenti M_{TR} ham nol qiymatiga intila boradi.

Aktiv statik moment bo'lganda (qarshilik momenti) dinamik tormozlash jarayoni 2.7- rasmdagi 2—3—0 chiziq bilan tavsiflangan.

Yukni tushirish paytida aktiv statik moment bo'lib, dvigatel w_q tezlik bilan aylanib tarmoqqa energiya berish rejimida (tormozlash) ishlaydi (1- nuqta).

Agar dvigatel yakorini 2—3—0 tipidagi dinamik tormozlash mexanik tavsifida tashqi rezistor R_{TR} ga ulansa, u holda dvigatel tavsifidagi 2- nuqtaga o'tadi. Bu holda $w_q < 0$ bo'lgani tufayli yakor toki va dvigatel momenti M_2 noldan katta bo'ladi. $M_2 > M_q$ bo'lganligi uchun aylanish w_q^1 tezlikkacha sekinlashadi.

Natijada yuk dinamik tormozlash mexanik tavsifidagi 3- nuqtaga mos keladigan $|w_q^I| < |w_q|$ yangi o'rnatilgan tezlik bilan tusha boshlaydi.

Agar rezistor R_{TR} qarshiligi kamaytirilsa, yukni tezlik $|w_q^{II}| < |w_q^I|$ da tushirish mumkin.

Reaktiv va aktiv qarshilik (statik) momentidagi rejimlarning bir-biridan farqi reaktiv qarshilik momenti bo'lganda tormozlash jarayoni yuritmani to'la to'xtatgunicha amalga oshiriladi. Aktiv qarshilik momenti bo'lganda esa, o'rnatilgan harakat tezligi w_q^I gacha amalga oshiriladi. Shuning uchun mexanizmni to'la to'xtatish uchun elektrodinamik tormozlash oxirida maxsus tormozlash qurilmasini qo'llab mexanik tormozlashga o'tiladi.

Teskari ulab tormozlash. Teskari ulash rejimi deb dvigatel yakori kinetik yoki potensial energiya zaxirasi bilan aniqlanadigan momentlar ta'siri ostida (elektromagnit moment ta'siriga nisbatan) teskari tomonga aylanishga aytiladi.

Agar teskari ulanish rejimi kichik qarshilik R_{TR} ulangan holda amalga oshirilsa va yangi mexanik tavsif 4 nuqtadan o'tadigan nur bo'lsa, u holda (teskari ulanib) tormozlash rejimi 5 nuqtada tugamaydi. Dvigatel reverslanib 6 nuqta koordinatalari bilan aniqlanadigan dvigatel rejimiga o'tib ketishi mumkin (2.9-rasm).

Reversning oldini olish uchun mexanik tavsifda dvigatel 5 nuqtaga yetganda uni tarmoqdan uzib, mexanik tormozlash usuli qo'llanadi.

Aktiv qarshilik momenti bo'lgan teskari ulab tormozlash rejimi yakor zanjiriga katta R_{TR} qarshilik

2.9- rasm. Reaktiv statik moment bo'lganda va teskari ulanish rejimida dvigatelning ulanish sxemasi (a) hamda mexanik tavsiflari (b).

kiritish bilan amalga oshirilib, bu holda yakordagi qutblar o'zni almashtirilmaydi (2.10- rasm).

Bu holda potensial kuchlar ta'siri ostida yakor tormozlanadi. Shundan so'ng dvigatel teskari tomonga aylanib EYK o'z ishorasini o'zgartiradi. Shuning uchun to'rtinchi kvadrantda ishlaganda dvigatel toki oldingi yo'nalishni saqlab qoladi va u quyidagi formula bilan aniqlanadi:

$$I = \frac{U - (-E)}{R} = \frac{U + E}{R}. \quad (2.33)$$

2.10-rasm. Aktiv statik moment bo'lganda dvigatelning ulanish sxemasi (a) va mexanik tavsiflari (b).

Dvigatelni dvigatel rejimidan tormozlab teskari ulanish rejimiga o'tish jarayoni 2.10- rasmda keltirilgan. O'z-o'zidan ko'rinib turibdiki, bu holda tormozlash rejimini R_{Tr} qarshiligiga bog'liq holda turli tezliklar ($w_q < 0$) bilan ta'minlash mumkin va bunda yuritmaning to'la to'xtashi ham ta'minlanadi (6 nuqta).

Yuritmaning $-w_q$ tezligi bilan ishlashi ko'tarish-transport qurilmalarida qo'llaniladi va bu yukni kuchli ravishda tushirish deyiladi.

Shuni ta'kidlash joizki, R_{Tr} hamda I nuqta qiymati bilan aniqlanadigan yuritmaning bir holatidan reaktiv moment ta'sirida (2.9- rasm b dagi 3 nuqta) $w = 0$ tezlikka erishish jarayoni aktiv moment bo'lgandagiga nisbatan (2.10- rasm b dagi 3 nuqta) tezroq kechadi.

Bu holat yuritma I kvadrantda ishlayotganda dinamik moment va shundan kelib chiqqan holda sekinlashish momentlari yig'indisi bilan emas, balki ularning ayirmasi bilan aniqlanadi, ya'ni:

$$M_{din} = (M - M_q) < 0 \quad (2.34)$$

Energiyani tarmoqqa qaytarib generatorli tormozlashga nisbatan teskari ulab, tormozlash rejimida dvigatelga tarmoqdan P_{el} va mexanizmga $-P_m$ quvvati beriladi. Bu holda quvvat isrofi:

$$DP = P_{el} + P_m = UI + EI = I^2R \quad (2.35)$$

Shunday qilib, teskari ulanish rejimida yuritmani zudlik bilan tormozlab to'la to'xtatiladi. Lekin tormozlash jarayonida tarmoqdan sezilarli darajada energiya

iste'mol qilinadi. Bu esa dvigatel chulg'amlarini hamda qarshiliklarni qizishga olib keladi.

3- misol. P91 rusumli dvigatel berilgan, bu dvigatelning pasport ma'lumotlari 2-misolda keltirilgan.

1. Dvigatel nominalning yarmiga teng tezlik va yakorda nominal tok bilan dinamik tormozlash rejimida ishlaydi.

Yakor zanjiriga ulangan qo'shimcha qarshilik va dvigatel o'qidagi moment qiymatlari aniqlansin.

2. Dvigatel $n = 600$ ayl/min tezlik va $I = 110$ A tok bilan teskari ulash rejimida ishlayapti.

Quyidagilarni aniqlang: yakor zanjiriga ulangan qo'shimcha qarshilik qiymatini; dvigatel o'qidagi momentni; tarmoqdan iste'mol qilinayotgan quvvatni; dvigatel o'qidagi quvvatni; yakor zanjirida sarf bo'layotgan quvvatni.

3. Dvigatel energiyani tarmoqqa qaytarib generator rejimida ishlayapti. Agar yakor toki $I = 140$ A va $R_q = 0$ bo'lsa, dvigatelning aylanish tezligini aniqlang.

Yechimi. 1. Dinamik tormozlash rejimi. Dvigatel yakorining qarshiligi:

$$R_{ya} = 0,049 \quad R_n = 0,049 \cdot 1,28 = 0,062 \text{ W}$$

Koeffitsiyent:

$$C = \frac{U_n - I_n R_{ya}}{\omega_n} = \frac{220 - 172 \cdot 0,062}{104,7} = 2 \text{ V} \cdot \text{s/rad},$$

bu yerda:

$$\omega = \frac{p n_n}{30} = \frac{3,14 \cdot 1000}{30} = 104,7 \text{ rad/s}$$

Dvigatelning nominal tokdagi elektromagnit momenti:

$$M = c \cdot I_n = 2 \cdot 172 = 344 \text{ N} \cdot \text{m}.$$

Salt yurishdagi moment isrofi:

$$M_o = 344 - 306 = 38 \text{ N} \cdot \text{m}.$$

Dvigatel o'qidagi moment:

$$M_{o'q} = M + M_o = 344 + 38 = 382 \text{ N} \cdot \text{m}.$$

Yakor zanjirining umumiy qarshiligi:

$$R = \frac{c^2 w}{M} = \frac{4 \cdot 52,35}{344} = 0,6 \text{ W}$$

Qo'shimcha qarshilik:

$$R_q = R - R_{ya} = 0,6 - 0,062 = 0,538 \text{ W}$$

2. Teskari ulash rejimi. Yakor zanjirining umumiy qarshiligi:

$$R = \frac{Un + c_w}{I} = \frac{220 + 2 \cdot 62,8}{110} = 3,14 \text{ W},$$

bu yerda:

$$w = \frac{p \cdot 600}{30} = 62,8 \text{ rad/s.}$$

Qo'shimcha qarshilik:

$$R_q = 3,14 - 0,062 = 3,078 \text{ W.}$$

Dvigatelning elektromagnit momenti:

$$M = 2 \cdot 110 = 220 \text{ N}\cdot\text{m.}$$

Dvigatel o'qidagi moment:

$$M_q = 220 + 38 = 258 \text{ N}\cdot\text{m.}$$

Tarmoqdan iste'mol qilinayotgan quvvat:

$$P_1 = \frac{220 \cdot 110}{1000} = 24,2 \text{ kW.}$$

Yakor zanjirida sarf bo'layotgan quvvat:

$$P_1 + P_2 = \frac{110^2 \cdot 3,14}{1000} = 39,2 \text{ kW.}$$

Dvigatel o'qidagi quvvat

$$P_2 = 39,2 - 24,2 = 15 \text{ kW.}$$

3. Energiyani tarmoqqa qaytarib generatorli tormozlash rejimi. Dvigatelning aylanish burchak tezligi:

$$\omega = \frac{U_n}{c} + \frac{I \cdot R_{ya}}{c} = \frac{220}{2} + 140 \frac{0,062}{2} = 114,3 \text{ rad/s},$$

$$n = \frac{30 \cdot 114,3}{3,14} = 1090 \text{ ayl/min.}$$

Dvigatel yakori shuntlangandagi mexanik tavsiflari. Dvigatel tarmoqqa ulangandagi salt yurish tezligidan kamroq salt yurish tezligi olish uchun mashina yakorini shuntlab, sun'iy tavsif olish mumkin (2.11- rasm, *b*).

Yakor $R_q + R_{sh}$ qarshiliklaridan tashkil topgan kuchlanish bo'luvchisi yordamida dvigatel yakori kamroq kuchlanishga ulanadi. Bunday yuritma mexanik tavsiflarning shakli 2.11- rasm *b* dagi ko'rinishga ega. Yakordagi kuchlanishni o'zgartirishning bu usuli katta quvvat isroflari bilan bog'liq bo'lganligi uchun amalda qo'llanilmaydi.

2.11- rasm. Mustaqil qo'zg'atishli dvigatelning yakori shuntlangandagi ulanish sxemasi (*a*) va mexanik tavsiflari (*b*).

2.12- rasm. Mustaqil qo'zg'atishli dvigatelning mexanik tavsifini qurish.

ozirda bu ko'rinishdagi tavsiflarni olish uchun elektr mashina yoki statik yarim o'tkazgichli kuchlanish o'zgartkichlari vositasida elektromexanik tizimlar qo'llaniladi.

2.5. MUSTAQIL QO'ZG'ATISH CHULG'AMLI DVIGATEL YAKORI ZANJIRIGA ULANADIGAN QARSHILIKLARNI HISOBLASH

Yuritmani loyihalashda ishga tushirish, dinamik tormozlash yoki teskari ulash rejimlarida turli mexanik tavsiflarni olishda dvigatel yakoriga ulanadigan qo'shimcha (tashqi) qarshiliklarni hisoblash kerak bo'ladi. Bunda o'zgarmas magnit oqimida ishlayotgan mustaqil qo'zg'atish chulg'amli o'zgarmas tok dvigateli uchun absolut yoki nisbiy birliklarda keltirilgan elektromexanik tavsiflardan foydalanish maqsadga muvofiqdir.

Yakor qarshiligi r_{ya} ning nisbiy qiymatini hisoblashda va uning qiymatini ordinata o'qiga 2.13- rasmda ko'rsatilganidek $i = 1$ holat uchun qo'yib, nisbiy tabiiy elektromexanik tavsif l ni olamiz. Agar $M = M_{nom}$ bo'lgandagi yuritmaning w_1 tezlikka ega bo'lgan sun'iy tavsifini qurish kerak bo'lsa, u holda bu tezlikning nisbiy qiymati $n_1 (n_1 = w_1 w_0^{-1})$ ni aniqlash va grafikka ushbu qiymatni nisbiy tok $i = 1$ bo'lganda qo'yish kerak.

2.13- rasm. Mustaqil qo'zg'atishli dvigatelni ishga tushirish diagrammasi (a) va rezistor seksiyalarinihg ulanish sxemasi (b).

Hisoblayotgan mexanik tavsifga 2 to'g'ri chiziq mos keladi. Tenglik (2.24) asosida quyidagini aniqlaymiz:

$$r_{ya} + r_{qo'sh} = 1 - n_1 \quad (2.36)$$

bu yerda:

$$r_{qo'sh} = 1 - n_1 - r_{ya} \quad (2.37)$$

qo'shimcha qarshilikning absolut qiymati $R_{qush} = r_{qo'sh} \cdot R_{nom}$.

Ishga tushirish rezistorlari seksiyalarini hisoblash uchun pog'ona qarshiliklarini qayta ulashdagi toklarning eng katta I_1 va eng kichik I_2 qiymatlarini belgilaymiz (2.13- rasm, a). I_1 ning qiymatini kommutatsiya shartidan kelib chiqqan holda

maksimal tok qiymatiga yaqin qilib tanlaymiz. Masalan, PBST rusumli dvigatellar uchun

$$I_1 = (3,5\ddot{4},0)I_{\text{nom}} \quad (2.38)$$

Tok I_2 ning qiymati yuklamaning statik toki qiymatidan 10—50% ortiq qilib qabul qilinadi. Toklarning ushbu chegaralarda o'zgarishiga qarab 2.13- rasm, *a* da ko'rsatilgan dvigatelning ishga tushirish diagrammasi quriladi va bunda I_1 , I_2 toklarni rezistorlarning har bir ulanishida bir xil qiymatga teng bo'lishini ta'minlash kerak.

Shundan so'ng yuqorida keltirilgan uslub asosida har bir pog'ona qarshiliklarining nisbiy qiymati aniqlanadi.

Bundan tashqari ishga tushirish qarshiliklari seksiyalarini hisoblahsning analitik usulini ko'rib chiqamiz. Buning uchun sxemaga 2.13- rasm *b* da ko'rsatilgan belgilashlarni kiritamiz. Avval dvigatel yakor zanjirida R_{ya} qarshilik bilan tarmoqqa ulanadi (2.13- rasm *a* dagi nuqta). Seksiya R_{m-m+1} ν nuqtada o'chiriladi va dvigatel yakor zanjirida R_{m-1} qarshilik bilan keyingi mexanik tavsifga o'tadi (*c* nuqtaga). Shundan so'ng ishga tushirish seksiyalarining ayrimlarini chiqarish davom etadi va oxirida dvigatel tabiiy mexanik tavsifga chiqariladi (lmw_0 , nuri).

Diagrammadan ko'rinib turibdiki, m pog'onadan o'tishda quyidagini olamiz:

$$I_1 = (U - E_m)/R_{m-1}; \quad I_2 = (U - E_m)/R_m, \quad (2.39)$$

bu yerda: E_m — dvigatelning *B* va *c* nuqtalaridagi EYK.

Shunday qilib, $I_1/I_2 = R_m/R_{m-1} = 1/I_1$, tokining eng yuqori qiymati va I_2 tokining eng pastki qiymatlarining tengligidan hamma pog'onalar uchun qurilgan diagrammalardan quyidagilarni olamiz:

$$I_1/I_2 = R_m/R_{m-1} = R_{m-1}/R_{m-2} = \dots = R_2/R_1 = R_1/R_{ya} \quad (2.40)$$

(2.39) va (2.40) ifodalar asosida quyidagini aniqlaymiz:

$$\left. \begin{aligned} R_1 &= 1 R_{ya}; \\ R_2 &= 1 R_1 = 1^2 R_{ya}; \\ &\dots\dots\dots \\ R_{m-1} &= 1 R_{m-2} = 1^{m-1} R_{ya}; \\ R_m &= 1 R_{m-1} = 1^m R_{ya}. \end{aligned} \right\} \quad (2.41)$$

bu yerdan

$$l = \sqrt[m]{R_m / R_{ya}}, \quad (2.42)$$

yoki

$$m = \lg \frac{R_m}{R_{ya}} (\lg l)^{-1} \quad (2.43)$$

Ishga tushirish qarshiliklarining seksiyalari quyidagicha hisoblanadi: dastlab (2.37) va (2.38) tenglamalarga asosan l_0 ning taxminiy qiymati beriladi. So'ngra $R_m = UI_1^{-1}$ qiymati aniqlanadi. (2.43) tenglama bo'yicha pog'onalar soni m_0 kasrli son chiqadi, uni butun songacha yaxlitlanadi. So'ngra (2.42) tenglama bo'yicha l ning keyingi hisoblashlarda qo'llaniladigan yaxlit qiymati aniqlanadi. Shuni e'tirof etish kerakki, l qiymatini aniqlashda faqat I_2 qiymatini o'zgartirish mumkin va u I_q dan katta bo'lishi darkor.

Har bir seksiyalar qarshiligi (2.13- rasm, b) quyidagi tenglamalar orqali topiladi:

$$\left. \begin{aligned} R_{1-2} &= R_1 - R_{ya} = l R_{ya} - R_{ya} = R_{ya}(l - 1); \\ R_{2-3} &= R_2 - R_1 = l^2 R_{ya} - l R_{ya} = R_{ya} l(l - 1); \\ &\dots\dots\dots \\ R_{(m-1)-m} &= R_{m-1} - R_{m-2} = \dots = R_{ya} l^{m-2}(l - 1); \\ R_{m-(m-1)} &= R_m - R_{m-1} = \dots = R_{ya} l^{m-1}(l - 1). \end{aligned} \right\} \quad (2.44)$$

Real elektr yuritmalarni loyihalashda turli tuzilishdagi rezistorlarning issiqlik hisobi bajarilib, shunga asosan katalogdan mos kelgan elementlar tanlanadi.

2.6. MUSTAQIL QO'ZG'ATISH CHULG'AMLI O'ZGARMAS TOK DVIATELI MAYDONI KUCHSIZLANGANDAGI MEXANIK TAVSIFLARI

Dvigatellar asosan nominal magnit oqimida ishlaydi, ya'ni mashina to'yinishga yaqin bo'lib, uning magnit oqimini oshirib bo'lmaydi. Chunki bunda qo'zg'atish chulg'amida kuchlanish ortishi va u qizishi mumkin. Dvigatel magnit oqimini faqat kamayish tomonga o'zgartirish mumkin.

Dvigatelning rostdash imkoniyatlaridan to'liq foydalanish maqsadida ko'pincha magnit oqimi kamaytiriladi.

Magnit oqimi nominal qiymatidan farqli bo'lgan F_X uchun $U = U_{\text{nom}} = \text{const}$ holatda dvigatelning mexanik tavsiflarining tenglamasi quyidagi ko'rinishga ega bo'ladi:

$$w = \frac{U}{C_E \Phi_X} - \frac{R}{C_E C_M \Phi_X^2} M = w_{0X} - b_X M.$$

Bu tenglamadan ko'rinib turibdiki, maydonning har bir $F_X < F_{\text{nom}}$ qiymatiga ideal salt yurish tezligi mos keladi va mexanik tavsiflarning qiyalik koeffitsiyentlarining b_X qiymati to'g'ri keladi. Bunda F_X kamayishi bilan w_{0X} va b_X ning qiymatlari ortadi.

Oqimning F_{nom} qiymatida tabiiy mexanik tavsifdagi tezlikning og'ishi:

$$Dw_q = w_0 - w = \beta_q M_q = \frac{C_E R_{ya} w_{0X}^2}{C_M U^2} M_q \quad (2.46)$$

Oqim F_X bo'lgandagi sun'iy tavsif uchun

$$Dw_q = w_{0X} - w_x = \beta_q M_q = \frac{C_E R_{ya} w_{0X}^2}{C_M U^2} M_q \quad (2.47)$$

bo'ladi, bundan

$$Dw_x = Dw_q \left(\frac{w_{0X}}{w_0} \right)^2 \quad (2.48)$$

Shunday qilib, oqim kamaytirilganda tezlikning tushishi ideal salt yurish tezliklari nisbatining kvadratiga mutanosib ravishda ortar ekan.

Endi dvigatelning elektromexanik va mexanik tavsiflarini oqimning turli qiymatlarida ko'rib chiqamiz.

2.14- rasm. Mustaqil qo'zg'atishli dvigatelning magnit oqimini kamaytirilgan holatidagi mexanik va elektromexanik tavsiflari.

Agarda $F_1 = F_{\text{nom}}$ bo'lsa yakor toki va momenti uchun mos masshtablar tanlanadi. Bu holda elektromexanik va mexanik tavsiflar ustma-ust tushadi (2.14-rasmdagi 1 to'g'ri chiziq). Yakordagi tok $I_{\text{q.t.}}$ tezlik $w = 0$ bo'lganda $I_{\text{q.t.}} = UR^{-1}$ bo'lganligi uchun $I_{\text{q.t.}}$ qiymati magnit oqimi qiymatiga bog'liq emas. Bundan kelib chiqadiki, magnit oqimlar $F_2 < F_1$ $F_3 < F_2$ bo'lganida dvigatelning elektromexanik tavsiflari 2, 3 punktir chiziqlarda tasvirlanganidek bo'ladi hamda ularga mos keladigan mexanik tavsiflar 2 va 3 chiziqlar ko'rinishida bo'ladi. Bu yerda quyidagini e'tirof etish mumkin:

$$M_{\text{q.t.2}} = C_M \Phi_2 I_{\text{q.t.}} = C_M \frac{\Phi_2}{F_{\text{nom}}} \Phi_{\text{nom}} I_{\text{q.t.}} = j_2 M_{\text{q.t.1}}$$

shunga o'xshash

$$M_{\text{q.t.3}} = j_3 M_{\text{q.t.1}},$$

bu yerda: j_2 va j_3 —kamaytirilgan magnit oqimlarining nisbiy qiymatlari.

Har qanday ikkita mexanik tavsif kesishish nuqtasiga ega. Kesishish nuqtasining chap tomonida joylashgan statik moment qiymatlarida (masalan, M_1) magnit maydonining kamayish, dvigatel tezligining ortishiga olib keladi (mexanik tavsifdagi A , B va C nuqtalar). Agar yuklama momentining qiymati kesishish nuqtasining o'ng tomonida joylashgan bo'lsa, u holda magnit oqimining kamayishi dvigatel tezligining pasayishiga olib keladi (a , b va c nuqtalar). (2.45) tenglamaga muvofiq mashina magnit oqimining kamayishi ideal salt yurish tezligini ko'paytiribgina qolmay, balki yakor tokining ortishi hisobiga momentning bir xil qiymatida tezlikning statik tushishiga olib keladi.

Normal dvigatellar uchun mexanik tavsiflarning bir-biri bilan kesishish nuqtasi odatda katta toklarda amalga oshadi. Lekin ko'pgina zamonaviy mashinalarda tok bo'yicha o'ta yuklanish oshirilgan. Zamonaviy mashinalar uchun magnit oqimining pasayishidagi tezlik bo'yicha rostdash turlicha bo'ladi. Masalan, 2P rusumidagi mashinalar uchun u (1,5—3,0) w_{nom} ni tashkil etadi. Shu bilan birga oqim bo'yicha keng rostdash diapazoniga ega bo'lgan maxsus mashinalar ishlab chiqarilgan bo'lib, ular tezlikni (5—10) w_{nom} gacha oshirishi mumkin. Masalan, ДШД rusumli mashina (5—50) kW quvvat diapazonida 500 ayl/min nominal tezlik bilan aylansa, oqimni pasaytirib uning tezligini 5000 ayl/min gacha ko'tarish mumkin.

2.15- *rasm*. Mustaqil qo'zg'atishli dvigatelning magnit oqimi pasaytirilgandagi mexanik tavsiflari.

Magnit oqimini kamaytirib olingan mexanik tavsiflar to'plami 2.15- rasmda keltirilgan. Bundan ko'rinib turibdiki, magnit oqimi kamaytirilganda bir tavsifdan ikkinchi tavsifga o'tish dvigatelni generator rejimiga o'tkazib energiyani tarmoqqa qaytarish bilan olib boriladi (eDS va CBa siniq chiziqlar).

Savol va topshiriqlar

1. Elektr dvigatelning mexanik tavsifi deganda nimani tushunasiz?
2. Mexanik tavsif turi qanday tanlanadi?
3. Nisbiy birlik nima va u qanday aniqlanadi? Kuchlanish, tok va qarshiliklarni nisbiy birliklarda ifodalang.
4. Moment va tezlikning nisbiy birliklarini aniqlang.
5. Yakor zanjiri EYK muvozanat tenglamasini keltiring.
6. Dvigatel mexanik tavsifi tenglamasi qanday ko'rinishga ega va u nimalarga bog'liq?
7. Dvigatel elektromexanik tavsifining tenglamasi qanday ko'rinishga ega?
8. Dvigatelning tabiiy tavsifi deganda nimani tushunasiz?
9. Dvigatelning sun'iy tavsiflari qanday olinadi?
10. O'zgarmas tok dvigateli qanday qilib ishga tushiriladi?

11. Nima uchun o'zgarmas tok dvigatelini to'g'ridan-to'g'ri o'zgarmas tok tarmog'iga ulab ishga tushirish mumkin emas?
12. Dvigatelni dinamik tormozlash qanday amalga oshiriladi?
13. Teskari ulab tormozlash sxemasini chizib ko'rsating.
14. Reaktiv qarshilik momentida teskari ulab tormozlash qanday amalga oshiriladi?

2.7. KETMA-KET QO'ZG'ATISH HULG'AMLI DVIGATELNING MEXANIK TAVSIFLARI

Ketma-ket qo'zg'atish chulg'amli dvigatellar transport vositasida, xususan, metropolitenda, trolleybus va tramvaylarda, zavod sexlarida harakatlanadigan transport vositalarida, shaxtalardagi o'zi yurar vagonchalarda keng qo'llaniladi. Chunki bu mexanizmlarda bitta trolley (maxsus konfiguratsiyali tok o'tkazgich simi) qo'llaniladi. Bundan tashqari ketma-ket qo'zg'atish chulg'amli o'zgarmas tok dvigateli kuchlanish kamayganda ham me'yorida ishlaydi, bu esa trolley orqali uzoq masofaga elektr uzatish imkonini beradi. Bu dvigatellar mustaqil qo'zg'atish chulg'amli mashinalarga nisbatan yana ikkita asosli afzallikka ega bo'lib, ulardan biri, mexanizmda yuklama ortib ketganda, tok bo'yicha bir xil o'ta yuklanishda momentni katta qiymatga oshiradi. Ikkinchi afzalligi esa, qo'zg'atish chulg'ami simlarining ko'ndalang kesimining kattaligi, ularning o'ramlari orasidagi

kuchlanishning kichikligi, qo'zg'atish chulg'ami maydonining so'ndirish tizimi mavjudligi tufayli yuqori ishonchlilikka egaligidadir. Shuning uchun elektrotexnika sanoati bunday mashinalarning turli seriyalarini ishlab chiqarishda davom etmoqda. Masalan, kran va metallurgiya dvigatellari 2,5 kW dan 185 kW gacha quvvatga, (2,7—5,0) M_{nom} ga ega bo'lgan maksimal momentli ДС, ДП va boshqa rusumdagi dvigatellar ishlab chiqarilmoqda.

Ketma-ket ulangan qo'zg'atish chulg'amli mashinalarda qo'zg'atish chulg'ami yakor bilan ketma-ket ulanadi va magnit oqimi yakor tokining funksiyasi bo'lib qoladi. Shuning uchun yuklama ortganda tezlikning pasayishi nafaqat kuchlanish tushishining ortishidan, balki magnit oqimi ortishi hisobiga ham hosil bo'ladi. Bu bilan mexanik tavsiflarning ayniqsa, kichik yuklamalarda katta qiyalikka ega ekanligini ham izohlash mumkin.

Agar mashina magnit tizimini to'yinmagan deb hisoblasak, u holda uning magnit oqimi tokka to'g'ri proporsional deb qabul qilinadi. U holda quyidagini yozish mumkin:

$$F = aI; \quad \Phi = \sqrt{aM / C_M} \quad (2.49)$$

O'zgaras tok mashinasi uchun mexanik tavsif ifodasidan va (2.49) bog'lanishdan foydalanib, quyidagini olamiz:

$$w = \frac{U}{C_E \Phi} - \frac{R}{C_E C_M \Phi^2} M = \frac{U \sqrt{C_M}}{C_E \sqrt{aM}} - \frac{R}{C_E a} \quad (2.50)$$

yoki

$$w = \frac{a}{\sqrt{M}} - b, \quad (2.51)$$

bu yerda: $a = U (C_E a)^{-0,5}$; $b = R (C_E a)^{-1}$. (2.50) ifoda giperbola tenglamasi bo'lib, uning bitta asimptotasi ordinata o'qi, ikkinchisi ega abssissa o'qiga parallel va B masofada pastroqdan o'tadigan to'g'ri chiziqdır.

Zamonaviy dvigatellarning magnit tizimi nominal rejimda anchagina to'yingan bo'lib, $w = f(M)$ giperboloik bog'lanish esa faqat kichik yuklamalardagina mavjud bo'ladi.

Shuning uchun hisoblashlarda dvigatellarning ish tavsiflaridan foydalaniladi. Bunday $n = f(I_{q.ch})$, $M = f(I_{q.ch})$ va $(E/n) = f(I_{q.ch})$ kabi tavsiflar elektr mashinalarning barcha rusumlari uchun kataloglarda berilgan bo'ladi.

Bunday tavsiflar, agarda nisbiy birliklarda berilsa, ular *universal tavsiflar* deyiladi (2.16- rasm). Bu yerda bazaviy qiymatlar sifatida nominal: U_{nom} , n_{nom} , I_{nom} , M_{nom} , r_{nom} qiymatlar qabul qilinadi. ДП rusumli o'zgaras tok mashinasining universal tavsiflari 2.16- rasmda keltirilgan bo'lib, bu yerda: $M = f(i_{ya})$ bog'lanishdagi momentning qiymati elektromagnit momentning emas, balki dvigatel o'qidagi momentning qiymatini ko'rsatadi.

Ketma-ket chulg'amli dvigatellarning ishga tushirish qarshiliklarini va sun'iy tavsiflarini hisoblash. Sun'iy mexanik tavsiflar kataloglardagi mexanik tavsif asosida hisoblanadi. Hozirda EHM larning keng qo'llanilayotganini nazarda tutib, hisoblashning grafik usulini emas, balki analitik usulini ko'rib chiqamiz. Shunday qilib mashinaning tabiiy mexanik tavsifi, ya'ni $n = f(i)$, bu yerda: $I = I_{ya} = I_{qch}$ — yakor toki bo'lib, mashina normal sxemada ulanganda qo'zg'atish tokiga tengdir; R_{qch} — dvigatelning yakor zanjiriga ulangan qo'shimcha qarshiliklar yig'indisi:

$$R_q = R_{ya} + R_{qch} + R_{qq}, \quad (2.52)$$

2.16- rasm. ДП rusumidagi ketma-ket qo'zg'atishli dvigatellarning universal tavsiflari: 1 — $n = f(i_{ya})$ 2 — $m = f(i_{ya})$.

bu yerda: R_{ya} , R_{qch} va R_{qq} — mos ravishda yakor, qo'zg'atish chulg'ami va qo'shimcha qutblar qarshiliklari.

U holda quyidagini yozishimiz mumkin:

$$n_t = \frac{U - IR_q}{C_E \Phi(I)} = \frac{E_t(I)}{C_E \Phi(I)}, \quad (2.53)$$

bu yerda: $E_t(I)$ va $F(I)$ lar dvigatel tabiiy tavsifidagi EYK va magnit oqimi sxemada yakor tokiga teng bo'lgan qo'zg'atish tokining funksiyasidir.

Bunda (2.53) ko'rinishdagi tabiiy tavsifga ega bo'lgan holda quyidagi ifodani olish mumkin:

$$C_E F(I) = (En^{-1})_t \quad (2.54)$$

Shunday qilib, (2.54) ko'rinishdagi bog'lanish mashinaning magnitlanish egri chizig'iga proporsional bo'ladi. Bu yerda mashinaning to'yinishi hisobga olinadi va ketma-ket ulangan qo'zg'atish chulg'amidagi yakor reaksiyasining magnitsizlantirish ta'siri bartaraf etiladi. Bundan tashqari bir xil qo'zg'atish tokida har qanday sun'iy va tabiiy elektromexanik tavsif uchun:

$$C_E F(I) = f(I) = (En^{-1})_c = (En^{-1})_t. \quad (2.55)$$

Bu yerda c va t belgilari sun'iy va tabiiylikni bildiradi. Shuning uchun bitta tabiiy tavsifga ega bo'lgan holda berilgan qo'shimcha qarshilik $R_{qo'sh}$ berilganda $R = R_q + R_{qo'sh}$ ni hisoblab, har qanday sun'iy tavsifni qurish mumkin. Shundan so'ng quyidagini aniqlaymiz:

$$n_c = \frac{U - IR}{C_E \Phi(I)} = \frac{E_c}{(En^{-1})_t} = n_t \frac{U - IR}{U - IR_k}. \quad (2.56)$$

Bunda U , R_q , R ning qiymatlarini berib, ularga mos keladigan $(En^{-1})_t$ qiymatlari aniqlanadi. Shundan so'ng ushbu tok qiymatlarida sun'iy tavsifdagi EYK E_{si} larning qiymatlari quyidagi formula orqali hisoblanadi:

$$E_{ci} = U - I_i R.$$

(2.56) formula orqali n_{ci} ning qiymatini E_{ci} ni $(En^{-1})_t$ ga bo'lib hisoblanadi.

Ketma-ket qo'zg'atish chulg'amli o'zgarmas tok dvigatelini sun'iy mexanik tavsifini hisoblash uchun I_i toklariga mos keladigan M_i elektromagnit momentlarini aniqlash zarur. (2.55) ifodani hisobga olgan holda quyidagini aniqlaymiz:

$$M_i = C_M \Phi_1 I_i = \frac{C_M}{C_E} \left(\frac{E}{n} \right)_{ti} I_i. \quad (2.57)$$

Bu yerda C_M dvigatel momentini N.m larda tavsiflaydi, C_E esa mashina EYK ni tavsiflaydi, bunda aylanish harakat tezligi ayl/min da o'lchanadi. U holda $C_M C_E^{-1} = 30p^{-1} = 9,55$ ga teng bo'ladi va (2.57) tenglamani quyidagi ko'rinishshda yozamiz:

$$M_i = 9,55 (En^{-1})_{ci} I_i. \quad (2.58)$$

Ketma-ket qo'zg'atish chulg'amli dvigatel uchun ishga tushirish qarshiliklari ham nurli diagrammalarni qo'llagan holda analitik usulda yoki grafik usulda hisoblanadi.

Yakor zanjirida parallell konturlar bo'lgan ketma-ket qo'zg'atish chulg'amli dvigatelning mexanik tavsiflari. Yakor va qo'zg'atish chulg'amini turli sxemalarga ulab, turli mexanik tavsiflarni olish mumkin. Sanoatda ko'tarma va metallurgiya qurilmalari uchun magnit kontroller va avtomatlashtirilgan boshqaruv stansiyalarining bir necha turlari ishlab chiqariladi va ularda quyidagi sxemalardan (2.17- rasm) foydalaniladi: a) umumiy ketma-ket ulangan qarshilik mavjudligida yakorni shuntlash; b) yakor chulg'amini shunt

2.17- rasm. Ketma-ket qo'zg'atishli dvigatelda ketma-ket ulangan va shuntlovchi rezistorlarning ulanish sxemasi.

2.18- rasm. Dvigatelning 2.17- rasm, a dagi sxema bo'yicha qo'shimcha rezistor ulangan holatidagi mexanik tavsiflari.

lash; d) qo'zg'atish chulg'amini shuntlash; e) umumiy ketma-ket ulangan qarshilik mavjud bo'lganda yakor va qo'zg'atish chulg'amlarini parallel ulash.

Olingan tavsiflarni ko'rib chiqamiz. 2.17- rasm a da keltirilgan sxemadagi dvigatelni shuntlaganda nisbiy birliklarda hisoblangan tavsiflar 2.18- rasmda keltirilgan.

Bu yerda 1 egri chiziq dvigatelning tabiiy tavsifi. 2 va 3 egri chiziqlar ketma-ket qarshilik kiritilgandagi mashinaning sun'iy tavsiflaridir. 4 egri chiziq dvigatel

yakorini R_{sh} va R_q rezistorlardan tuzilgan kuchlanish bo'luvchisidan olingan pasaytirilgan kuchlanish bilan ta'minlangandagi tavsif. Kichik yuklamalarda kuchlanish bo'luvchisining ta'siri samarasi hisoblanadi. 5 va 6 tavsiflar aktiv statik moment mavjud bo'lganda o'z-o'zini qo'zg'atishli dinamik tormozlashni tavsiflaydi. Bu kabi sxema ko'tarma kranlarda magnit kontroller

2.19- rasm. Dvigatelning 2.17- rasm, *b* dagi sxema bo'yicha qo'shimcha rezistorlar ulangan holatdagi mexanik tavsiflari.

ining birinchi holatida qo'llanib, yukni ko'tarishda ravon (siltamasdan) ishga tushirishni ta'minlab beradi yoki yukni kichik tezlikda tushira boshlaydi.

Dvigatel kichik yuklamalarda ishlayotganda qo'shimcha rezistor ta'siri yanada samaraliroq (2.17- rasm, *b*) bo'ladi, dvigatel tavsiflari 2.18- rasmda keltirilgan. 2.17- rasm, *b* dagi sxema sanoat elektr yuritmalarida kamdam-kam ishlatiladi, lekin tortish qurilmalarida ko'p qo'llaniladi.

Katta r_k qarshiliklar kiritib, katta yuklarni tushirish mumkin.

Bu holatda yuritmani dvigatel rejimida katta tezlikdan kichik tezlikka o'tkazish energiyani tarmoqqa qaytarib generator rejimida tormozlashga olib keladi. 2.17- rasm, *e* dagi sxema mustaqil qo'zg'atish

2.20- rasm. Dvigatelning 2.17- rasm, *b* dagi sxema bo'yicha qo'shimcha rezistorlar ulangan holatdagi mexanik tavsiflari.

21- rasm. Dvigatelning 2.17- rasm, e dagi sxema bo'yicha qo'shimcha rezistorlar ulangan holatdagi mexanik tavsiflari.

chulg'amli dvigatelning tavsifiga yaqin bo'lgan tormozlash tavsifini beradi (2.21- rasm). Bu sxemalardan kran qurilmalar yuritmalarida ko'p ishchi rejimlarini olishda foydalaniladi.

4- misol. ДП41-rusumli ketma-ket qo'zg'atishli o'zgarmas tok dvigatelining tabiiy tavsifi qurilsin. Dvigatelning pasport ma'lumotlari: $P_n = 17$ kW, $U_n = 220$ V, $I_n = 94$ A, $n_n = 630$ ayl/min.

Dvigatel toki $I = I_n$ bo'lganda tezligini 400 ayl/min (41,8 rad/s) va 200 ayl/min (20,9 rad/s) gacha pasaytirish uchun yakor zanjiriga ulanadigan qo'shimcha qarshiliklarning qiymatlarini aniqlang. Aniqlangan qarshiliklar ulangandagi tavsiflarni quring.

Yechimi. 2.22- rasmda keltirilgan egri chiziqlardan foydalanib tabiiy tavsifni hisoblaymiz. Bu yerda

2.22- rasm. Ketma-ket qo'zg'atishli dvigatel momentinining va tezligining yakor tokiga bog'liqligi (nisbiy birliklarda).

$n = 1$, $I_n = 94$ A, $n_n = 1$, $n_n = 630$ ayl/min ($w_n = 66$ rad/s), u holda

$$I-I_n i; w = w_n n; n = n_n n.$$

Hisoblash natijalarini 1- jadvalga kiritamiz.

1-jadval

i	0,4	0,6	0,8	1,0	1,2	1,4	1,6	1,8	2,0
I, A	37,6	56,4	75	94	113	131	150	169	188
n	1,6	1,23	1,09	1,0	0,94	0,89	0,85	0,81	0,78
$w, \text{rad/s}$	105,8	81	71,8	66	62,1	58,7	56	53,3	51,5
	1010	775	686	630	593	560	535	510	492

Mazkur jadvalga muvofiq qurilgan tabiiy tavsif 2.23- rasmda keltirilgan.

2.23- *rasm*. Ketma-ket qo'zg'atishli dvigatelning tabiiy ($R_p = 0$) va yakorga qo'shimcha qarshilik (R_{p1} , R_{p2}) ulangan holatdagi tavsiflari.

Dvigatelning nominal qarshiligi:

$$R_n = \frac{220}{94} = 2,34 \text{ W}$$

Nominal yuklamada dvigatel foydali ish ko'effitsiyenti:

$$h_n = \frac{1000 \cdot 17}{220 \cdot 94} = 0,823.$$

Yakor chulg'ami qarshiligi:

$$R_{ya} \gg 0,5(1-0,823)2,34 = 0,207 \text{ W}.$$

Ketma-ket qo'zg'atishli qarshilik:

$$R_{ya} \gg 0,5R_{ya} = 0,5 \cdot 0,207 \gg 0,104 \text{ W}.$$

Dvigatelning ichki qarshiligi:

$$R_{\text{q}} = 0,207 + 0,104 = 0,311 \text{ W}.$$

Qo'shimcha qarshilik:

$$R_p = \left(1 - \frac{\omega_{kn}}{\omega_n}\right)(R_n - R_{\text{q}}).$$

Tezlikni 41,8 rad/s gacha kamaytirish uchun ulanadigan qo'shimcha qarshilik:

$$R_{p1} = \left(1 - \frac{41,8}{66}\right)(2,34 - 0,311) = 0,742 \text{ W}.$$

Tezlikni 20,9 rad/s gacha kamaytirish uchun ulanadigan qo‘shimcha qarshilik:

$$R_{p2} = \left(1 - \frac{20,9}{66}\right)(2,34 - 0,311) = 1,39 \text{ W.}$$

Qarshilik kiritilgan tavsiflarni quyidagi formula orqali hisoblanadi:

$$w = w_T \frac{U - I(R_0 + R_k)}{U - IR_0}.$$

Bu yerda w_m — berilgan tok I uchun tabiiy tavsif bo‘yicha aniqlanadigan tezlik.

Hisoblash natijalarini 2- jadvalga kiritamiz.

2-jadva

I, A	37,4	56,4	75	94	113	131	150	169	188
$w_{np}, \text{rad/s}$	106	81	71,8	66	62	58,6	56	53,4	51,5
$w(R_{p1}), \text{rad/s}$	91,6	64,6	51,6	41,8	34	27	20,2	13,5	7,0
$w(R_{p2}), \text{rad/s}$	79,5	50,2	34,2	20,9	9,8	- 0,66	- 11,1	- 21,3	- 31,6

I

2- jadval bo‘yicha dvigatelning qarshilik kiritilgandagi tavsiflari qurilgan (2.23- rasm).

5- misol. ДП41- rusumli ketma-ket qo‘zg‘atishli dvigatel uchun ishga tushirish reostatini hisoblang. Dvigatelni ishga tushirish uch pog‘onada amalga oshiriladi.

Yechimi: tabiiy tavsif 4- misolda qurilgan. Ishga tushirish tokining maksimal qiymatini $I_1 = 2I_n = 188A$ qilib tanlaymiz. Pog‘ona qarshiligiga o‘tish toki I_N ni $I_N = 1,34 I_n = 126A$ qilib aniqlaymiz.

U holda

$$R_1 = \frac{U}{I} = \frac{220}{188} = 1,17 \text{ W}$$

$$R_2 = \frac{U}{I} = \frac{220}{126} = 1,75 \text{ W.}$$

$I = I_1 = \text{const}$ va $I = I_2 = \text{const}$ bo‘lganda $w = f(R)$ yordamchi chiziqni o‘tkazamiz (2.24- rasm).

Ishga tushirish pog‘ona qarshiliklari va o‘tish tezliklarining qiymatlari grafik usulida aniqlanadi.

Birinchi pog‘ona qarshiligi:

$$R_1 = 0,43 \text{ W.}$$

Ikkinchi pog‘ona qarshiligi:

$$R_2 = 0,28 \text{ W.}$$

Uchinchi pog‘ona qarshiligi:

$$R_3 = 0,19 \text{ W.}$$

2.24- *rasm*. Ketma-ket qo‘zg‘atishli dvigatelning ishga tushirish reostatini hisoblash tavsifi.

Ishga tushirish reostatining to‘liq qarshiligi

$$R_q = R_1 + R_2 + R_3 = 0,43 + 0,28 + 0,19 = 0,9 \text{ W.}$$

Ketma-ket qo‘zg‘atish chulg‘amli dvigatelning tormozlash rejimlari. Mustaqil qo‘zg‘atish chulg‘amli dvigatelga nisbatan mazkur dvigatelning tormozlash rejimidagi imkoniyatlari cheklangan bo‘ladi. Masalan, tarmoqqa energiyani qaytarish yo‘li bilan rekuperativ tormozlashning imkoniyati yo‘q. Dvigatel rejimida ishlayotgan mashinaning yuklamasi kamayib ketganda magnit oqimi kamayib dvigatel tezligi nominal tezlik qiymatidan 5—6 marta ortib ketadi. Bu esa mashinaning ishdan chiqishiga olib keladi. Shuning uchun, salt yurish rejimiga yo‘l qo‘yilmaydi.

Dinamik tormozlash rejimini mashinaning o‘z-o‘zini qo‘zg‘atish rejimida amalga oshirish mumkin. U holda mustaqil qo‘zg‘atish chulg‘amli mashinalardagi kabi tavsiflarni olamiz (2.8- rasmga qarang). Bu tavsiflarni hisoblash usuli avvalgidek bo‘ladi.

Ketma-ket qo‘zg‘atish chulg‘ami tarmoqqa mustaqil ulanganda samarali dinamik tormozlash kuzatiladi. Lekin bu rejimda katta qo‘shimcha qarshilik ulangani uchun nominal magnit oqimi hosil qilish uchun nominal quvvatga yaqin quvvat sarf etiladi. Bu esa iqtisodiy jihatdan samarali emas. Bunday mashinalar uchun asosiy tormozlash usuli, bu teskari ulab tormozlashdir. Bu rejim (reaktiv qarshilik momenti bo‘lganda) qo‘shimcha qarshilik

2.25- *rasm*. Dvigatelning reaktiv statik moment ostida teskari ulash va reverslash rejimidagi mexanik tavsiflari.

kiritilib, yakordagi kuchlanish qutblarini almashtirish bilan amalga oshiriladi (2.25- *rasm*). U holda dvigatel tormozlash boshlangunga qadar o'rnatilgan rejimni tavsiflovchi A nuqtadan tormozlash momenti hosil qilib B nuqtaga o'tadi.

Tavsifning BC qismini teskari ulab tormozlash rejimiga, CD qismi esa reverslash rejimiga mos keladi.

Tavsifning C nuqtasida qo'shimcha qarshilikni chiqarib tashlab dvigatelni tabiiy mexanik tavsifdan o'rnatilgan rejim parametrlari bilan A nuqtaga o'tkazish mumkin.

2.26- *rasm*. Dvigatelning aktiv statik moment ostida teskari ulash va reverslash rejimidagi mexanik tavsiflari.

Aktiv statik moment bo'lganda teskari ulab tormozlash rejimini faqat yakor zanjiriga katta qo'shimcha qarshilik R_q ulab olish mumkin (2.26- *rasm*). U holda dvigatel boshlang'ich nuqta A dan B nuqtaga o'tadi. Dvigatel tavsifning BC qismida dvigatel rejimida, CD qismida esa teskari ulash rejimida ishlaydi.

Turg'un harakat nuqtasi D da dvigatel mexanizmning harakatlantiruvchi momenti M_q ni qoplaydigan tormozlash momenti hosil qiladi.

Bu dvigatellarning kamchiligi yuqorida ko'rsatilganlardan tashqari mexanik tavsiflarning yetarli darajada qattiq emasigida bo'lib, bu ularni yuklama o'zgarganda tezlikni mo'tadil ushlab turish talab etiladigan mexanizmlarda qo'llab bo'lmasligini anglatadi.

2.8. ARALASH QO'ZG'ATISH CHULG'AMLI DVIGATELLARNING MEXANIK TAVSIFLARI

Aralash qo'zg'atish chulg'amli mashinalar mustaqil va ketma-ket qo'zg'atish chulg'amli mashinalarning afzalliklarini saqlab qoladi.

Odatda, mustaqil qo'zg'atish chulg'amli dvigatellar kichkina ketma-ket chulg'amga ega bo'lib, bu yerda hosil bo'ladigan magnit oqim asosiy oqim bilan birga ta'sir etib magnitsizlantiruvchi yakor reaksiyasini kompensatsiyalaydi. Shu bilan dvigatel mexanik tavsifining qattiqligi ortadi. Lekin ular aralash chulg'amli mashinalar qatoriga kiritilmaydi.

Nominal rejimda aralash chulg'amli mashinalar mustaqil chulg'aming magnit harakatlantiruvchi kuchlari (MHK) ketma-ket chulg'am MHK laridan 1,5—2,5 marta kattaroq bo'ladi. Shunday qilib, aralash qo'zg'atish chulg'amli dvigatelning mexanik tavsiflari mustaqil va ketma-ket chulg'amli dvigatellar tavsiflarining oraliq holatini egallaydi.

Mustaqil qo'zg'atish chulg'ami mavjudligi tufayli aralash chulg'amli dvigatel chegaralangan salt yurish tezligiga ega bo'ladi:

$$n_0 = U/C_E F_N,$$

bu yerda: F_N — mustaqil qo'zg'atish chulg'ami hosil qiladigan oqim.

Shu bilan birga ketma-ket chulg'am mavjudligi uchun kichik yuklamalarda mustaqil qo'zg'atish chulg'amli dvigatellarga nisbatan tezlikning tushishi ko'proq bo'ladi.

Yakorda tok katta bo'lganda aralash chulg'amli dvigatelning magnit tizimi to'yinadi. Shuning uchun uning mexanik tavsiflarini hisoblashda ketma-ket chulg'amli mashinalar uchun tatbiq etilgan formulalar va usullar qo'llaniladi. Yakor toki nol bo'lganda ham $(En^{-1})_t$ ning qiymati nol bo'lmagan o'tish tavsifi $(En^{-1})_t = f(I_V)$ kabi bo'ladi (2.27- rasm, a).

Bunday dvigatellarda teskari ulab tormozlash boshqa o'zgarmas tok mashinalaridagidek amalga

2.27- rasm. Aralash qo'zg'atishli dvigatel tavsiflari:

a — o'tish tavsifi ($I_{q.nom}$ — ketma-ket qo'zg'atish chulg'amidagi nominal tok);

b — mexanik tavsif.

oshiriladi (2.27- rasm, *b*). Dinamik tormozlash yoki energiyani tarmoqqa qaytarib tormozlash rejimlarida ketma-ket chulg'am qisqa tutashtiriladi. Bu tormozlash tavsiflarining qattiqligini oshiradi (2.27- rasm, *b*). 5 punktir chiziq bilan dvigatelning ikkala chulg'ami ishlayotgan holatidagi tavsifi keltirilgan. Bu

yerdan ko‘rinib turibdiki, generator rejimida mashina yakoridagi tok yo‘nalishining o‘zgarishi ketma-ket chulg‘am magnit oqimining tashkil etuvchilarining yo‘nalishi o‘zgarishiga olib keladi.

Aralash chulg‘amli dvigatel ko‘tarma-transport, metallurgiya qurilmalarda va yuritma yuklamasi qisqa muddatga ortib ketadigan hamda tez-tez tormozlash rejimida ishlaydigan qurilmalarda keng qo‘llaniladi.

Savol va topshiriqlar

1. Ketma-ket qo‘zg‘atishli dvigatelning universal tavsifi qanday ko‘rinishga ega?
2. Dvigatelning universal tavsifi nima uchun kerak va undan qanday foydalaniladi?
3. Ketma-ket qo‘zg‘atishli dvigatelning mexanik tavsifi tenglamasini keltiring.
4. Dvigatelning tabiiy tavsifini tasvirlang.
5. Dvigatel yakorini shuntlagandagi sxema va unga mos bo‘lgan tavsifni tasvirlang. Bu sxemadan qanday hollarda foydalaniladi?
6. Yakor va qo‘zg‘atish chulg‘amini birgalikda shuntlagandagi sxema va mexanik tavsif qanday ko‘rinishga ega? Qanday hollarda bu sxemadan foydalaniladi?
7. Ketma-ket qo‘zg‘atishli dvigatelni dinamik tormozlash qanday amalga oshiriladi?
8. Ketma-ket qo‘zg‘atishli dvigatelning dinamik tormozlash tavsifini tasvirlang.
9. Reaktiv va aktiv moment bo‘lganda teskari ulab tormozlash sxemasini chizing.
10. Reaktiv va aktiv moment bo‘lganda ketma-ket qo‘zg‘atishli dvigatelning teskari ulab tormozlashdagi mexanik tavsifini tasvirlang.

III bob. O'ZGARMAS TOK ELEKTR YURITMALARINING ROSTLASH XUSUSIYATLARI VA MEXANIK TAVSIFLARI

3.1. ELEKTR YURITMALARNING AYLANISH TEZLIGINI ROSTLASHNING ASOSIY KO'RSATKICHLARI

Zamonaviy sanoat mexanizmlarining ish organlari tezlikni keng ko'lamda o'zgartirishni talab etadi. Jumladan, metallga ishlov berish dastgohlari, prokat stanlari, ko'tarma kran va transport qurilmalari, qog'oz ishlab chiqarish, ko'mir qazib olish, to'qimachilik va sanoatning boshqa sohalarida ishlatiladigan mexanizmlar kiradi. Bu mexanizmlarning barchasida yuqori ish unumdorligini va talab etiladigan sifat ko'rsatkichlarini ta'minlash maqsadida tezlikni rostlash zarur.

Tezlikni rostlash deb texnologik jarayon talablaridan kelib chiqqan holda elektr yuritma tezligini majburiy o'zgartirishga aytiladi. Bu yerda tezlikni rostlash tushunchasini ishlab turgan mashina o'qida yuklama o'zgarishi hisobiga dvigatel tezligini tabiiy ravishda o'zgarishi bilan chalkashtirib yubormaslik kerak. Tezlikni rostlash yuritma dvigateli yoki ishlab chiqarish mexanizmi uzatish tezligiga operator yoki maxsus avtomatik qurilma yordamida qo'shimcha ta'sir natijasida amalga oshiriladi.

Elektr yuritmalar tezligini rostdashning turli usullarini tavsiflovchi asosiy ko'rsatkichlar quyidagilardan iborat:

1) rostdash diapazoni; 2) rostdash ravonligi; 3) rostdash tejamkorligi; 4) berilgan tezlikda mo'tadil ishlashi; 5) tezlik rostdanayotgandagi yo'nalish (asosiy tezlikka nisbatan ko'payishi yoki kamayishi); 6) turli tezliklardagi joiz yuklama.

1. Rostdash diapazoni. Maksimal w_{maks} tezlikni minimal w_{min} tezlikka nisbati bilan aniqlanadi:

$$D = w_{maks}/w_{min}.$$

Elektr yuritmalarni rostdashning zamonaviy tizimlari teskari bog'lanishlar hisobiga aylanish tezligi diapazonini anchagina kengaytirish imkonini beradi. Turli sanoat mexanizm va mashinalari turli rostdash diapazonini talab qiladi. Masalan, metall qirgish dastgohlarining bosh mexanizmlarining rostdash diapazoni $D = (4 : 1) - (100 : 1)$ va undan yuqori bo'ladi, universal dastgohlarning uzatish mexanizmlari $1000 : 1$ va undan ortiq diapazonda ishlaydi. Gazeta qog'ozini tayyorlanadigan mashinalar rostdash diapazoni doirasi $D = 3 : 1$; yuqori sifatli qog'oz tayyorlaydigan dastgohlarni esa $D = 20 : 1$. Ayrim prokat stanlarining rostdash diapazoni $D = (20 : 1) \text{ } \ddot{\text{e}} (25 : 1)$ ga teng.

2. Rostdash ravonligi. Ma'lum rostdash diapazoni oralig'idagi ustuvor tezliklar soni bilan tavsiflanadi. Ravonlik koeffitsiyenti K_{rav} ikkita bir-biriga qo'shni tezliklar nisbati bilan aniqlanadi:

$$K_{rav} = \frac{w_i}{w_{i-1}}$$

Bu yerda w_i va w_{i-1} , mos ravishda i - va $i-1$ - rostdash pog'onasidagi tezliklar. Mazkur tezlikdan mumkin bo'lgan darajadagi yaqin tezlikka sakrash qancha kam bo'lsa, ravonlik shuncha yuqori bo'ladi. Bir rostdash pog'onasidan ikkinchisiga ravonlik bilan o'tish ishlov berilayotgan mahsulot sifatini belgilaydi. Amalda ikkita tezlikka ega bo'lgan asinxron dvigatellar eng kam rostdash ravonligiga ega. O'zgarmas tok dvigateli tezligi yakorga qo'yilayotgan kuchlanishni yoki qo'zg'atish chulg'amidagi magnit oqimini o'zgartirib rostdanadi.

3. Yuritmani rostdashdagi tejamkorlik uni yaratish va foydalanishga ketgan sarf-xarajatlar bilan tavsiflanadi.

Tejamkorlikni baholashda rostdash jarayonidagi energiya isrofining kamligi katta ahamiyatga ega. Tezlikni rostdashda hosil bo'ladigan quvvat isrofi DP yuritma FIK aniqlaydi:

$$h = \frac{P_2}{P_2 + DP}$$

bu yerda: P_2 — dvigatel o'qidagi quvvat.

Rostdashning turli usullari uchun tezlikni rostdashdagi energiya isrofi turlicha bo'ladi. Agar rostdash kuchli (yakor, stator, rotor) zanjirda amalga oshirilsa nisbatan katta, qo'zg'atish chulg'ami zanjiri orqali amalga oshirilganda esa

anchagina kichik qiymatga ega bo'ladi. Chunki o'zgarmas tok qo'zg'atish chulq'ami zanjirining quvvati yakor zanjiri quvvatining 1—5% ni tashkil qiladi.

4. Berilgan tezlikda mo'tadil ishlashi yuklama momentini berilgan og'ishida aylanish tezligining o'zgarishi bilan tavsiflanadi va u mexanik tavsifning qattiqligiga bog'liq tavsif qancha qattiq bo'lsa, shuncha yuqori bo'ladi. Agarda tezlik rostlanayotganda tavsif qattiqligi o'zgarsa, u holda tezlikning berilgan qiymati atrofida tebranishi ham o'zgaradi.

5. Tezlik rostlanayotgandagi yo'nalish, ya'ni tezlikning asosiy tezlikka nisbatan ortishi yoki kamayishi rostlash turiga bog'liq. Asosiy tezlik kuchlanish va magnit oqimining nominal qiymatlariga mos keladi. Bu tezlik, dvigatel zanjirlarida hech qanday tashqi qarshilik bo'lmaganda olinadi, ya'ni w ning asosiy nuqtasi tabiiy mexanik tavsifda bo'ladi. O'zgarmas tok dvigateli tezligi yakor zanjiridagi qarshilikni o'zgartirish orqali rostlanadi. Dvigatel rejimida bir xil yuklamada dvigatel tezligi qarshilikni oshirganda kamayadi. Bu shuni ko'rsatadiki, qarshilikni o'zgartirib (kiritib) rostlash asosiy tezlikka nisbatan faqat pastga qarab amalga oshiriladi. Bunga teskari ravishda magnit oqimini kamaytirib rostlash esa normal yuklamalarda tezlikning ortishiga olib keladi, ya'ni bu holda rostlash asosiy tezlikdan yuqori tezlikka tomon amalga oshiriladi.

6. Dvigateldagi joiz yuklama tezlikni rostlash turiga bog'liq. Tezlikka nisbatan yuklama momentining o'zgarishi turli sanoat mexanizmlari uchun turlichadir. Masalan, ko'p mexanizmlar o'zgarmas momentda tezlikni rostlashni talab etadi. Bunday mexanizmlarga ko'tarma kranlar, prokat stanlari kiradi. Masalan, tokarlik dastgohida tezlikni rostlash quvvat o'zgarmagan holda amalga oshirilishi kerak. Ba'zi mexanizmlarda mahsulotga ishlov berish jarayonida chiziqli tezlikni (yoki kesish tezligini) o'zgarmas holda saqlab turish talab etiladi. Bu sharoitda kesish tezligining kuchga ko'paytmasi o'zgarmas quvvatni beradi.

Prinsipial jihatdan mos ravishda dvigatel quvvatini tanlash bilan (katta quvvatdagi dvigatel tanlab) tezlik rostlanayotganda quvvat yoki yuklama momentini har qanday o'zgarishini ta'minlash mumkin. Lekin bu holda dvigatel tezligini rostlash tejamsiz bo'lishi mumkin. Chunki dvigateldan turli tezliklarda bir xilda foydalanib bo'lmaydi va ishlayotganda bir xil tezlikda dvigatel to'la yuklanmagan bo'lib qoladi.

Dvigatelning to'la yuklanmasligi dvigatelni ishlatish (foydalanish) ko'rsatkichlarining yomonlashuviga olib keladi. Chunki dvigatelning FIK kamayadi, o'zgaruvchan tokda esa bundan tashqari quvvat koeffitsiyenti ham kamayadi. Shuning uchun iloji boricha dvigatel barcha tezliklarda to'la yuklangan rostlash usulini tanlash kerak.

Dvigateldagi joiz yuklama uning qizish darajasi bilan cheklanadi. Qizish darajasi o'z navbatida dvigateldagi energiya sarfiga bog'liq bo'lib, bu sarf asosan dvigateldan oqayotgan tok bilan aniqlanadi.

Agar barcha tavsiflarda ishlayotganda tokning qiymati dvigatelning nominal toki qiymatiga teng bo'lsa, bu holat dvigatelni barcha tezliklarda to'la yuklanganligini ko'rsatadi.

Rostlash tavsifida ishlayotganda, joiz yuklama, tokning nominal qiymati bilan aniqlanadi va turli rostlash usullari uchun turlicha bo'ladi.

Misol tariqasida mustaqil qo'zg'atishli o'zgarmas tok dvigatelini ko'rib chiqamiz. U ikkita rostlash zonasiga ega. Birinchi zonada rostlash o'zgarmas momentda amalga oshiriladi. Haqiqatda agar rostlash dvigatelning o'zgarmas magnit oqimida bosh zanjirdagi qarshilikni yoki kuchlanishni o'zgartirish natijasida amalga oshirilsa, u holda tokning nominal qiymatida moment o'zgarmas bo'lib qoladi (3.3- rasm), chunki.

$$M = K\Phi_n I_n = \text{const.}$$

Bu zonada dvigatel o'qidagi quvvat tezlikka proporsional bo'lgani uchun chiziqli qonuniyat bilan o'zgaradi:

$$P_2 = M\omega.$$

Ikkinchi zonada esa dvigatel tezligi magnit oqimini kamaytirish natijasida oshirilganligi uchun rostlash o'zgarmas quvvatda amalga oshiriladi. (3.3- rasm).

Bu holatda tok o'zgarmay nominal qiymatga ega bo'lganda magnit oqimi tezlik oshishi bilan giperbola qonuniyati asosida rostlash kerak bo'ladi, ya'ni

$$\Phi = \frac{U_n - I_n R_n}{K_w} = \frac{A}{w}.$$

Shunday qilib, momentning tezlikka bog'liqligi ikkinchi zonada quyidagicha bo'ladi:

$$M = K\Phi I_n = \frac{A'}{w}.$$

Bu yerdan ikkinchi zonada quvvat o'zgarmas qiymatga ega ekanligi ma'lum bo'ladi:

$$P_2 = M\omega = \frac{A'w}{w} = \text{const.}$$

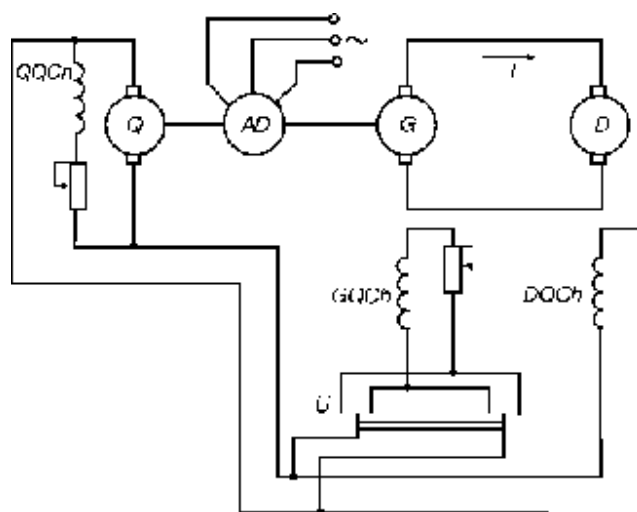
Boshqa rusumdagi dvigatellarning tezligini rostlashda joiz yuklama shu kabi aniqlanadi. Lekin ventilyatorli yuklama momentiga ega bo'lgan yuritmalarda dvigatel kichik tezliklarda to'la yuklanmaydi. Bu yuritmalar tezligini rostlashda tezlik ortishi bilan moment ham orta boradi. Shuning uchun, bunday yuritmalarda yuklama bo'yicha dvigatel quvvatini eng katta tezlik uchun tanlanadi. Qolgan barcha (kichik) tezliklarda dvigatel to'liq yuklanmay qoladi.

3.2. GENERATOR-DVIGATEL TIZIMINING MEXANIK TAVSIFLARI

Generator-dvigatel (*G-D*) tizimini (3.1- rasm) ishga tushirish uchun, oldin generator *G* ni aylantiruvchi asinxron dvigatel *AD* ishga tushiriladi. Uni ishga tushirish paytida generator *G* qo'zg'atish chulg'amiga kuchlanish berilmagan bo'ladi. Dvigatel qo'zg'atish chulg'amida to'liq kuchlanish bo'lib, u elektr mashinali yoki statik qo'zg'atgich *Q* ga ulangan bo'ladi. Generatorning qo'zg'atish

tokini oshira borib, uning EYK oshiriladi. Natijada dvigatel D ning yakori aylana boshlaydi.

Shunday qilib, $G—D$ tizimi mexanik tavsifining tenglamasi quyidagi ko‘rinishga ega bo‘ladi:



3.1- rasm. Generator-dvigatel tizimi: $GQCH$ — generator qo‘zg‘atish chulg‘ami; $DQCH$ — dvigatel qo‘zg‘atish chulg‘ami.

$$w = \frac{E_g}{C_E \Phi_0} - \frac{R_{ya} M}{C_E C_m \Phi_0^2}, \quad (3.1)$$

bu yerda: F_{q} — magnit oqimi; C_E va C_M — dvigatelning konstruktiv doimiyligi; R_{ya} — generator va dvigatel yakori zanjirining umumiy qarshiligi.

Dvigatel magnit oqimining nominal oqimi F_2 ni, o‘rnatish EYK E_g ni o‘zgartirish bilan amalga oshiriladi (3.2- rasm).

Generator EYK nominal qiymatga erishgandan so‘ng, uning tokini oshirish maqsadga muvofiq emas. Chunki generatorning magnit tizimi to‘yinib qoladi.

3.2- rasm. Generator-dvigatel tizimining mexanik tavsiflari.

bu yerda: E_g — dvigatelning nominal kuchlanishi U_{nom} ga nisbatan hisoblangan generatorning nisbiy EYK; r_{ya} — tizim yakor zanjirining nisbiy qarshiligi.

(3.2) formula asosida generator magnit oqimini o'zgaradigan pastki diapazon uchun $r_{ya} = 1$; $m = 1$ va $E_2 = 1,05$ ga teng deb qabul qilib $n_{max} = 0,95$ ni topamiz. Tezlikning eng pastki qiymatini aniqlash uchun $E_{gmin} = 0,2$ deb qabul qilamiz, u holda $m_{max} = 2$ uchun $n_{min} = 0,1$ bo'ladi.

Dvigatel magnit oqimini o'zgartirib oladigan yuqori diapazon odatda 2,0—2,5 dan oshmaydi. Shuning uchun $G-D$ tizimidagi to'la rostlash diapazoni taxminan $D = D_1 D_2 @ (9,5\ddot{e}12) \backslash (2,0\ddot{e}2,5) @ 20\ddot{e}30$ ni tashkil qiladi.

Yopiq tizimda tezlikni rostlash diapazonini yanada kengaytirish mumkin.

Generator-dvigatel tizimining tormozlash tavsiflari. $G-D$ tizimida asosiy tormozlash rejimi, bu energiyani tarmoqqa qaytarib generatorli tormozlashdir. Yuritma $w > w_{nom}$ burchak tezlik bilan ishlayotganda (3.4- rasm) avval dvigatelning qo'zg'atish toki ko'paytiriladi, bunda EYK generatoridagi kuchlanish qiymatidan ortib ketadi.

Mashinalarning o'rni almashadi: dvigatel tormozlash momentini ta'minlab generatorga aylanadi, generator esa, dvigatelga aylanib, generator rejimida ishlayotgan asinxron dvigatel orqali energiyaning aktiv qismini tarmoqqa qaytaradi.

Shundan so'ng $w < w_02$ bo'lib, hamma mashinalar o'zining asosiy rejimiga dvigatel qo'zg'atish toki o'zgargunga qadar qaytadi.

Dvigatel tokini oshirib tormozlash imkoniyati tugagandan so'ng, generatorning qo'zg'atish toki kamaytira boshlanadi. Bu esa yana yakordagi kuchlanishning kamayishiga olib keladi, shundan keyin tormozlash rejimlari olinadi. Lekin bunda yuritma burchak tezligi nominal qiymatidan kam bo'ladi (3.4- rasm).

3.4- rasm. Generator-dvigatel tizimini tormozlashdagi mexanik tavsiflar.

3.3. BOSHQARILUVCHI TO'G'RILAGICH-DVIGATEL TIZIMLARI

Zamonaviy elektr yuritmalarda boshqariluvchi to'g'rilagich-dvigatel (*BT-D*) tizimi keng qo'llaniladi. Ular katta kuchlanish 1000 V gacha toki bir necha ming ampergacha bo'lgan ko'p fazali boshqariluvchi tiristor va tranzistorli to'g'rilagichlarni o'z ichiga oladi. *BT-D* tizimining foydali ish koeffitsiyenti *G-D* tizimnikidan ancha ortiq. Yuritmaning elektromagnit inersiyasi *G-D* tizimiga o'xshab generator qo'zg'atish chulg'ami ikkita mashinaning yakor zanjiri inersiyasi bilan emas, faqat asosan dvigatel yakori inersiyasi bilan aniqlanadi.

Statik o'zgartgich (BT) qo'llanilganda *BT-D* tizimining ishonchliligi *G-D* tizimiga qaraganda ikki marta ortadi. Shu bilan birga yuritmaning massa- hajm o'lchamlari ham kamayadi. Keltirilgan afzalliklar *BT-D* tizimining hozirgi kunda keng ko'lamda qo'llanilishiga asosiy omil bo'lib xizmat qilib kelmoqda.

Ventil o'zgartgichlarining boshqarish tizimlarini yaratish prinsiplari va tasnifi. Bir fazali boshqariluvchi to'g'rilagichlarning ishlash prinsipini 3.5- rasm-dan tushuntirish mumkin. Sinxronlashtiruvchi qurilma SQ arrasimon kuchlanish generatori AKG ni boshqaradi. Bu generator faza bo'yicha tarmoq kuchlanishi U_t bilan sinxronlashtirilgan davomiyligi 180° elektr gradusiga teng bo'lgan ustun kuchlanishi U_{ust} ni shakllantiradi.

3.5- rasm. Boshqariluvchi to'g'rilagich sxemasi.

Taqqoslash sxemasi *TS* da turli qutbli U_b va U_{ust} (3.6- rasm) kuchlanishlari taqqoslanadi. $U_a=U_b$ ga teng bo'lganda taqqoslash sxemasi *TS* uzunligi $l=180^\circ$ - a bo'lgan U_{ts} kuchlanishini hosil qiladi. l burchak boshqarish ventilining ochilish davomiyligini aniqlaydi. Tranzistorliga nisbatan tiristorli boshqarish ventili uchun impuls shakllantiruvchi yordamida qisqa U_{ish}

3.6- rasm. Boshqariluvchi to'g'rilagich tizimida signallar diagrammasi.

larni olish kerak. Bu impulslar tiristorning boshqarish elektrodiga beriladi va uni ochadi. Tiristorning yopilishi esa uning asosiy elektrodida (anod va katodda) qutblar o'zgarganda ro'y beradi.

Ventillarning barcha boshqarish sxemalari faza prinsipi bo'yicha ishlaydi, ya'ni bunda boshqarish burchagi deb yuritiladigan ventilni ochish burchagi α o'zgartiriladi. Shuning uchun boshqarish tizimida asosiy element fazani surish qurilmasi (FSQ) hisoblanadi.

Boshqarish impulslarining faza surilishini ta'minlash usullari bo'yicha tizimlar «gorizontal» va «vertikal» prinsipi bo'yicha qurilgan bitta va ko'p kanalli tizimlarga bo'linadi. Bir kanalli tizimda barcha boshqarish impulslarining faza surilishi bitta FSQ da amalga oshiriladi, ularni ayrim ventillarni boshqarish kanallari bo'yicha taqsimoti maxsus kommutator orqali amalga oshiriladi (3.7- rasm, *a*).

3.7- rasm. Uch fazali nul sxemali o'zgartgich $BO'-D$ tizimi:
a — tizim kuchli zanjirining soddalashtirilgan prinsipial sxemasi; *b* — ekvivalent sxemasi.

Ko'p kanalli tizimda impulsni faza surilishi har bir kanalda o'zining FSQ orqali amalga oshiriladi (3.7- rasm, *b*).

Zamonaviy boshqarish tizimlari 3.6- rasmda foydalanilgan «vertikal» boshqarish prinsipi bo'yicha qurilmoqda. Bu holda boshqarish kuchlanishi ustun kuchlanishi bilan taqqoslanadi. Kuchlanishni o'zgartirish bilan faza surilishini olish mumkin.

Uch fazali nul sxemali o'zgartgich-dvigatel tizimidagi jarayonlar va tizimning statik tavsiflarini ko'rib chiqamiz. Ekvivalent sxemada (3.7- rasm, *b*) quyidagi belgilashlar qabul qilingan: e_{2a} , e_{2b} , e_{2s} — EYK larning oniy qiymatlari, bu EYK kuchli transformator ikkilamchi chulg'amlarining fazalarida hosil bo'ladi: i_a , i_b , i_s — ventillardan o'tayotgan toklarning oniy qiymatlari: U_d va i_d — o'zgartgich chiqishidagi to'g'rilangan tok va kuchlanishning oniy qiymatlari: I_d — to'g'rilangan tokning o'rtacha qiymati: r_{tr} va X_{tr} — transformator fazalari qarshiliklarining aktiv va induktiv tashkil etuvchilarini uning ikkilamchi zanjiriga keltirilgan qiymatlari:

$$r_{tr} = R_2 + R_1 \left(\frac{w_2}{w_1} \right)^2; \quad X_{tr} = X_2 + X_1 \left(\frac{w_2}{w_1} \right)^2; \quad (3.3)$$

bu yerda: R_1 va R_2 — transformator fazasi birlamchi va ikkilamchi chulgʻamlari qarshiliklarining aktiv tashkil etuvchilari, X_1 va X_2 — mos ravishdagi qarshiliklarning induktiv tashkil etuvchilari; w_1 va w_2 — birlamchi va ikkilamchi chulgʻamlarning oʻramlar soni.

Toʻgʻrilangan EYK oʻrtacha qiymati quyidagi formula boʻyicha aniqlanadi:

$$E_d = E_{dmax} \cos a \quad (3.4)$$

bu yerda: E_{dmax} -a = 0 boʻlgandagi maksimal EYK quyidagicha aniqlanadi:

$$E_{dmax} = \sqrt{2} E_2 \frac{mq}{p} \sin \frac{p}{mq} \quad (3.5)$$

Bu yerda: E_2 -q = 1 boʻlganda transformator ikkilamchi chulgʻami EYK ning faza qiymati, q = 2 boʻlganda esa liniya EYK ning qiymati olinadi.

BT-D tizimi yakor zanjiridan umumiy kuchlanish tushishi ventildagi kommutatsiya jarayonidagi kuchlanish tushishi DU_X , ventilning ochiq holdagi kuchlanish tushishi DU_V (dvigatel choʻtkalaridan kuchlanish tushishi hisobga olinganda), transformator aktiv qarshiliklaridagi kuchlanish tushishi DU_R , reaktor aktiv qarshiliklaridagi kuchlanish tushishi DU_p va yakordagi kuchlanish tushishi DU_{ya} yigʻindisiga teng.

BT-D tizimi parametrlarini aniqlaymiz. Kuchlanish tushishi DI_b oʻzgartgichning taktiga bogʻliq $DU_V = qU_{OV} + DU_R$. Oʻzgartgichning bir taktli sxemasida DI_R kuchlanish tushishi:

$$DU_R = r_{tr} \left(1 - \frac{gmq}{4p} \right) I_d. \quad (3.6)$$

Berilgan a qiymatida kommutatsiya burchagi g ni quyidagi koʻrinishda aniqlaymiz:

$$g = \arccos \left(\cos a - \frac{mq X_{tr} I_d}{p E_{dmax}} \right) - a. \quad (3.7)$$

Agarda g burchak 20—30° dan ortmasa, u holda $gmq \ll 4p$ boʻladi va shuning uchun $DU_R \gg r_{tr} I_d$ deb qabul qilinadi.

Uch fazali nol sxema uchun kuchlanishning kamayishi ventillardagi kommutatsiya jarayoni bilan bogʻliq. Bu kuchlanishni quyidagi formla boʻyicha aniqlaymiz:

$$DU_x = \frac{X_{tr}mq}{2p} I_d = 0,478X_{tr}I_d. \quad (3.8)$$

Shunday qilib, to'g'rilangan kuchlanishning o'rtacha qiymati U_d uchun boshqariluvchi o'zgartgichning uch fazali nol sxemasida ($m = 3, q = 1$), (3.8) ifodalardan foydalanib quyidagini olamiz:

$$U_d = E_d \max \cos a - DU_v - DU_r - DU_x \text{ yoki}$$

parametrlarning son qiymatlari qo'yilganda:

$$U_d = 1,17E_2 \cos a - DU_v - R_{ekv1} I_d, \quad (3.9)$$

bu yerda: $R_{ekv1} = r_{tr}(1-0,238g) + 0,478X_{tr}$; g - kommutatsiya burchagi, rad.

Uch fazali ko'priksimon sxemali boshqariluvchi to'g'rilagich ($m = 3$ va $q = 2$) to'g'rilangan kuchlanishining o'rtacha qiymatini hisoblash uchun (3.9) ifodani quyidagi ko'rinishda yozamiz:

$$U_d = 2,34E_2 \cos a - DU_v - R_{ekv2} I_d, \quad (3.10)$$

bu yerda: $R_{ekv2} = r_{tr}(1-0,476g) + 0,956X_{tr}$.

Olingan ifodalar, mexanik tavsiflarni hisoblash va yuritmaning rostlash xususiyatini baholash imkoniyatini beradi.

BT-D tizimining mexanik tavsiflari. (3.4) — (3.10) tenglamalariga muvofiq tizim o'rnatilgan rejimda ishlaganda uning kuchli zanjiri uchun quyidagi kuchlanishlar tenglamasini yozish mumkin:

$$E_d - DU_v - E = I_d(R_{ekv} + R_p + R_{ya}). \quad (3.11)$$

$I_d = I_{ya}$ deb qabul qilib, yuritma elektromexanik tavsifi tenglamasini olamiz:

$$w = (E_{d\max} \cos a - DU_v - r_u I_{ya}) K_E^{-1}. \quad (3.12)$$

bu yerda: $r_u = R_{ekv} + R_r + R_{ya}$ — yuritma tizimining yakor zanjiridagi umumiy aktiv qarshilik; R_{ekv} va $-DU$ qiymatlari o'zgartgichning fazalar va taktlar soni bilan aniqlanadi.

Mexanik tavsif tenglamasi:

$$w = (E_{d\max} \cos a - DU_v) K_E^{-1} - r_u M(K_E K_M)^{-1}, \quad (3.13)$$

(3.13) ga ko'ra, uzluksiz tok rejimida BT-D tizimining tavsiflari to'g'ri chiziqdan iborat bo'ladi. Bu tavsiflarning qattiqligi mustaqil qo'zg'atish chulg'amli dvigatelning mexanik tavsifidan pastroqda bo'ladi.

BT-D tizimida tezlik, rostdash burchagi α ni 0 dan 90° va undan ortiqroq o'zgartirib, rostlanadi.

Olingan mexanik tavsiflar ideal salt yurish tezligi ω_0^1 (3.8- rasm) dan o'tadigan parallel to'g'ri chiziqlar

3.8- rasm. BO'-D tizimining uzlukli va uzluksiz tok rejimlaridagi elektr mexanik tavsifi.

turkumini tashkil etadi va quyidagi ifoda bilan aniqlanadi:

$$\omega_0^1 = (E_{d \max} \cos \alpha - DU_V) K_E^{-1}. \quad (3.14)$$

Haqiqatda esa, uzlukli tok sohasi hisobiga kichik yuklamalarda real mexanik tavsiflarning ko'rinishi boshqacha bo'ladi va salt yurish tezligi ω_0 ning real qiymati o'zgaradi.

Uzluksiz toklarning chegara rejimidagi tokning o'rtacha to'g'rilangan chegara $I_{d \text{ cheg}}$ qiymatini quyidagicha aniqlash mumkin:

$$I_{d \text{ cheg}} = \frac{E_{d \max} \sin \alpha}{X_{mp} + \omega_m L_{yu}} \left(1 - \frac{p}{mq} \operatorname{Ctg} \frac{p}{mq} \right), \quad (3.15)$$

bu yerda: ω_m — o'zgaruvchan tok chastotasi, rad/s; $L_{yu} = L_r + L_{ya}$ — yuklama zanjiri induktivligi.

Chegaraviy uzluksiz tok nisbiy birliklarda katta va o'rtacha quvvatli qurilmalarda foizning ulushlaridan oshmaydi. Shuning uchun chegaraviy rejimda quyidagini qabul qilish mumkin:

$$U_{d \text{ cheg}} = E_{d \max} \cos \alpha - DU_V. \quad (3.16)$$

Shunday qilib, (3.14) va (3.15) ifodalarga muvofiq $I_{d \text{ cheg}}$ toklarning qiymati ordinata o'qi bo'yicha $DU_V K_E^{-1}$ qiymatga surilgan.

(3.15) — formula a ning qiymatidan katta bo'lgan burchak uchun to'g'ri keladi va bunda ishga tushayotgan ventildagi faza kuchlanishining oniy qiymati dvigatel EYK ga teng.

Invertor rejimida $b > b_{\max}$, $b_{\max} = p - a_{\min}$ oralig'ida (3.15) formuladan foydalanib bo'lmaydi.

BT-D tizimida reverslash usullari va ularning mexanik tavsiflari. BT-D tizimida dvigatelni quyidagi uchta usulda reverslash mumkin:

1. Yakor toki yo'nalishi o'zgaras bo'lganda dvigatel magnit oqimi yo'nalishini o'zgartirib (3.9- rasm, a).

2. Yakordagi kuchlanish qutblarini o'zgartirib (3.9- rasm, b) maxsus avtomatik ulagich qurilmasi — reversor yordamida.

3. Ikkita qarama-qarshi ulangan o'zgartgichlar yordamida dvigatel yakoriga qo'yilgan kuchlanish qutblarini o'zgartirib (3.9- rasm, d).

Birinchi ikkita usulning afzalliklari bitta ventil o'zgartgichni qo'llashdan iborat. Birinchi usulning kamchiligi revers operatsiyasining cho'zilib ketishidir. Chunki qo'zg'atish chulg'aming

3.9- rasm. BO'-D tizimida reverslashning prinsipial sxemasi:

a — dvigatel qo'zg'atish chulg'amini teskari ulash bilan;

b — dvigatel yakorini teskari ulash bilan;

d — ikkita komplekt o'zgartgichdan foydalanish bilan.

doimiyliigi katta (1,5 s gacha) bo'lganligi bois revers jarayonida yakordagi kuchlanish pasaytirish kerak. Bunda yakor zanjirida tokning sakrashlari sodir bo'lmasligi lozim.

Ikkinchi usul reverslash vaqtini 0,1 s gacha kamaytiradi, lekin «Oldga» (Old) va «Orqaga» (Orq) yurish kontaktorlaridan birini o'chirib ikkinchisini yoqish murakkablashadi. Masalan, «Oldga» aylanishidan oldin a burchagi ko'paytiriladi, shundan so'ng esa $E > E_d$ bo'lgan rejim olinadi.

Ventillar bir tomonga o'tkazish qobiliyatiga ega, shuning uchun to'g'rilangan tok I_d nolgacha tushadi. Shundan so'ng rostdlash burchagini $a > 90^\circ$ dan oshira borib, o'zgartgich invertor rejimida ishlashga tayyorlanadi. $E_{de} \gg E$ bo'lganda «ortga» kontaktorlari ulanadi. Demak, tokni katta sakrashsiz dvigatelni rekuperativ tormozlash amalga oshiriladi. (3.8- rasmdagi I kvadrantga qarang). a burchakni kamaytirib yuritma dvigatel rejimiga o'tadi.

Revers paytida maksimal tezkorlikni talab qiladigan yuritmalar uchun hamda yakor aylanishi yo'nalishi o'zgarmas bo'lganda dvigatel va tormozlash rejimini amalga oshirish kerak bo'lganda uchinchi usul qo'llaniladi. Bu holda ikkita komplekt o'zgartgichni qo'llash ularning ikkala tomonga o'tkazish imkonini beradi.

3.10- rasm. BO'-D reversiv tizimining ikkita komplekt ventildan foydalanilgan kuchli zanjir sxemasi:
 a — almashilgan nol chiqishli; b — ko'priksimon o'zgartgichli.

Asosan ikkita komplektli o'zgartgichlarning ikkita ulanish sxemasi qo'llaniladi: chorrahali (kesishgan) yoki sakkizsimon (3.10- rasm, a , b), qarama-qarshi parallel yoki teskari parallel ko'rinishdagi sxemalar (3.11- rasm, a , b) qo'llaniladi.

3.11- rasm. BO'-D tizimida o'zgartgichlarni qarama-qarshi parallel ulanish sxemasi:
 a — nol chiqishli; b — ko'priksimon.

Chorrahali sxemalarda ikkala o'zgartgich transformatorlari izolatsiyalangan ikkilamchi chulg'andan ta'minlanadi. O'zgartgichlar teskari-parallel ulanganda transformatorning bitta ko'p fazali guruh chulg'ami ishlatiladi.

Bu o'zgartgichlarning ishlash xususiyati asosan ularning qay yo'sinda boshqarilishiga bog'liq.

Agar 3.10- rasm, a dagi sxema o'zgartgichi $1O'$ yuritmaning dvigatel rejimini ta'minlayotgan bo'lsa va to'g'rilash rejimida ishlayotgan bo'lsa, u holda $2O'$ o'zgartgich yopiq bo'lishi va invertor rejimida ishlashga tayyor bo'lishi kerak.

Bu holda $1O'$ o'zgartirgan energiyani $2O'$ orqali tarmoqqa uzatilmasligi uchun, E_{d2} E_{d1} dan katta bo'lishi kerak.

Ko‘rinib turibdiki, umumiy holda quyidagi tengsizlik saqlanishi kerak:

$$E_{di} \leq E_{dt}, \quad (3.17)$$

bu yerda: E_{di} va E_{dt} — inverter va to‘g‘rilash rejimida ishlayotgan o‘zgartgichlarning to‘g‘rilangan EYK ning o‘rtacha qiymati.

Energiyani tarmoqqa uzatish yo‘li bilan generatorli tormozlash rejimida ham (3.17) ifoda saqlanishi kerak. Lekin bu holda faqat inverter ishlaydi, to‘g‘rilagich esa yopiq bo‘ladi yoki yuritmani dvigatel rejimida ishlatishga tayyor turadi.

O‘zgartgichlarni birgalikda va alohida boshqarishdagi tavsiflar bilan tanishib chiqamiz. Birgalikda boshqarilayotganda boshqarish signallari (3.17) tengsizlikni saqlagan holda ikkala o‘zgartgich komplektiga beriladi. Lekin bu holda o‘zgartgichlarning EYK lari orasida farq bo‘lgani uchun o‘zgartgichlar va yuritmaning kuchli zanjiri orasida tenglashtiruvchi toklar hosil bo‘ladi.

Ularni cheklash uchun ikkita $1P$ va $2P$ (3.10- rasm, *a*, *b*) yoki to‘rtta $1P—4P$ (3.11- rasm, *b*) tenglashtiruvchi reaktorlar qo‘llaniladi. Bundan tashqari yakordagi pulsatsiyalarni yo‘qotish uchun P reaktori qo‘llaniladi.

Reversiv yuritma mexanik tavsifining ko‘rinishi o‘zgartgichlarning ikkala komplektlarini boshqarish burchaklarini muvofiqlashtirish turiga bog‘liq.

Agarda tenglashtiruvchi kuchlanishning o‘rtacha qiymati nolga teng deb qabul qilinsa, u holda quyidagi shartlarga ega bo‘lamiz:

$$\begin{aligned} E_{d1} + E_{d2} - DU_{10} - DU_{20} &= 0; \\ \cos a_1 + \cos a_2 &= 2DU_0 \cdot E^{-1}_{dmax} = 2e. \end{aligned} \quad (3.18)$$

Tiristorli va tranzistorli o‘zgartgichlar uchun $E = 0$ deb qabul qilamiz va quyidagini aniqlaymiz:

$$a_1 + a_2 \gg \pi, \quad (3.19)$$

bu yerda: a_1 va $a_2 - IO'$ va $2O'$ o‘zgartgichlarning boshqarish burchaklari.

Boshqarish burchaklarini muvofiqlashtirishni boshqarish tizimining kosinusli rostdash tavsifi $a = \arccos$ bo‘lganda ta‘minlash mumkin, bu yerda — boshqarish signalining nisbiy qiymati.

Chiziqli muvofiqlashtiruvchi sxemaning kamchiligi tenglashtiruvchi toklarning mavjudligida va shu tufayli tenglashtiruvchi reaktorlarning qo‘llanishidadir.

Bu toklar bilan transformator va tiristorlar qo‘shimcha yuklanadi. Bu esa o‘z navbatida qurilma narxini oshiradi. Tenglashtiruvchi reaktorlar hisobiga yuritma inersiyasi ortib, tezkorligi esa pasayadi.

Bundan tashqari, transformatorlarning o‘rnatilgan quvvatidan to‘la foydalanib bo‘lmaydi, chunki o‘zgartgichning maksimal EYK ventillar ochilishining minimal o‘zish burchagini b_{min} ni cheklaydi:

$$E_{dp \max} = E_{d \max} \cos b_{min}. \quad (3.20)$$

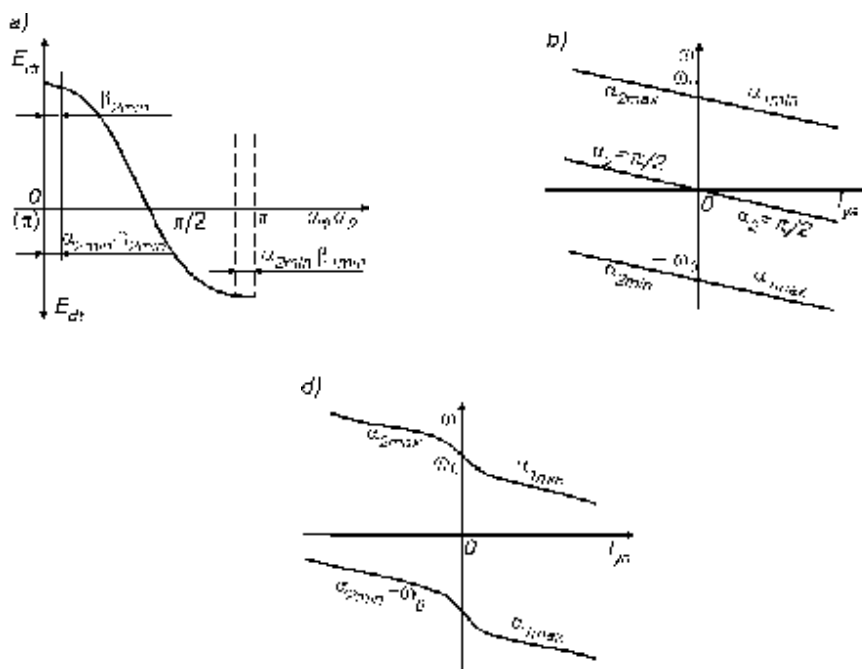
Bu yerda $E_{dp \max}$ — ikki komplektli tiristorning to'g'rilangan EYK ning maksimal qiymati.

Tenglashtiruvchi toklarni kamaytirish maqsadida quyidagi shart bajarilgan holda boshqarish burchaklarini chiziqsiz (to'la bo'lmagan) muvofiqlashtirish usuli qo'llaniladi:

$$\alpha_1 + \alpha_2 \gg \pi + \varphi$$

Bunday muvofiqlashtirishda yuritmaning energiyani tarmoqqa qaytarib, dvigatel rejimidan tormozlash rejimiga o'tishida elektromexanik tavsiflarini ideal salt yurish sohasida birmuncha qiyshayishiga olib keladi (3.12- rasm, b).

O'zgartgichlarni alohida boshqarish tenglashtiruvchi toklarni yo'qotish maqsadida qo'llanadi. Bu hol



3.12- rasm. BO'-D reversiv elektr yuritmasining roslash va elektromexanik tavsiflari:

a — boshqarish burchaklarini chiziqli to'g'rilashdagi roslash tavsifi; b — ventil komplektlarini birgalikda boshqarilganda va boshqarish burchaklarini chiziqli to'g'rilashda elektromexanik tavsiflar; d — boshqarish burchaklarini nochiziqli to'g'rilashdagi birgalikda boshqarishdagi elektr yuritmalarning elektromexanik tavsiflari.

da yuritmaning dvigatel rejimida boshqarish impulslari faqat bitta o'zgartgichga, masalan, $1O'$ ga beriladi. Ayni paytda $2O'$ yopiq holda bo'ladi. Generatorli tormozlash rejimiga o'tish uchun $1O'$ dan boshqarish impulslari olinib to'xtashdan so'ng $2O'$ ga beriladi va u inverter rejimida ishlaydi.

Yuritmaning bir rejimdan boshqasiga o'tishida uzlukli tok sohasi hosil bo'ladi. Boshqarish burchaklarini chiziqli muvofiqlashtirilganda esa w^1_0 nuqtasi

3.13- rasm. BO'-D yuritmasining o'zgartgich komplektlarini boshqarish burchaklarini chiziqli kelishtirilgan va alohida boshqarilgan holatdagi elektromexanik tavsiflari.

yaqinida mexanik tavsiflarning uzilishi sodir bo'ladi (3.13- rasm).

Alohida boshqarish quyidagi afzalliklari bilan tavsiflanadi: transformatorlardan to'liq foydalanish; tenglashtiruvchi reaktorlardan foydalanmaslik; invertorlarni qisqa tutashishiga yo'l qo'ymaslik; yuritmaning FIK ni oshirish va isroflarni kamaytirish. Shu bilan birga boshqarishning bunday usuli boshqarish qurilmalariga yuqori talablar qo'yadi. Yuritmaning dvigatel rejimidan tormozlash rejimiga to'xtab o'tgani sababli yuritmaning inertligi ortadi.

Bundan tashqari alohida boshqarish dvigatel rejimidan tormozlash rejimiga ravon o'tishni talab qiladigan yuritmalarda (masalan, liftlarda va yuk ko'tarish mexanizmlarida) qo'llanilmaydi.

Savol va topshiriqlar

1. O'zgarmas tok dvigateliga berilayotgan kuchlanish qiymatini o'zgartirish yo'llarini tushuntirib bering.
2. G-D tizimida tezlik tenglamasi qanday ko'rinishga ega?
3. G-D tizimida generator va dvigateli magnit oqimini o'zgartirgan holatidagi mexanik tavsiflar qanday ko'rinishga ega bo'ladi?
4. G-D tizimida momentni o'zgarmas holda saqlab tezlikni rostdash uchun nimani o'zgartirish kerak?
5. $P = \text{const}$ holda dvigatel tezligini qanday qilib rostdash mumkin?
6. G-D tizimida qanday asosiy tormozlash usuli qo'llaniladi?
7. G-D tizimining afzalliklari va kamchiligini ko'rsating.

8. Boshqariluvchi to'g'rilagich-dvigatel tizimining afzalliklari nimalardan iborat?
9. BO'-D tizimida mexanik tavsiflar qanday ko'rinishda bo'ladi?
10. BO'-D tizimi uzlukli tok zonasi qanday hisoblanadi va bu zona nimalarga bog'liq?
11. Uzlukli tok rejimida chegara toki qanday hisoblanadi?
12. BO'-D tizimini qanday reverslash sxemalari qo'llaniladi?
13. BO'-D tizimida o'zgartirgichni rostdash tavsifini chizib tushuntirib bering.
14. BO'-D tizimida ventil komplektlarini birgalikda va alohida boshqarishning afzalliklari va kamchiliklari nimalardan iborat?

IV bob. O'ZGARUVCHAN TOK DVIGATELLARI VA YURITMALARINING MEXANIK TAVSIFLARI

4.1. UMUMIY HOLATLAR

O'zgaruvchan tok elektr yuritmalari sanoatda, transportda, qurilish industriyasida va xalq xo'jaligining boshqa sohalarida keng ko'lamda qo'llanilmoqda. O'zgaruvchan tok mashinasining keng tarqalishiga sabab FIK va ishonchliligining yuqoriligi, yuritmalarning aksariyati tarmoqqa to'g'ridan-to'g'ri ulanganligi va shu bois, boshqarishning soddaliligi, elektr mashinaning arzonligi, ularga xizmat ko'rsatish va ulardan foydalanishga bo'lgan talablarning oddiyligidadir.

Foydalanilayotgan dvigatel turiga qarab, nafaqat o'zgaruvchan va o'zgarmas tok yuritmalari, balki yuritmalarni asinxron, sinxron va odimlovchi kabi boshqa ko'rinishlarini ham ta'kidlash mumkin. Asinxron dvigatel atamasi o'rniga asinxron yuritma atamasini qo'llab, biz bu turdagi dvigatellarning nafaqat biror-bir xususiyatlarini, balki elektrlashtirilgan agregatning ravon ishga tushirilishi, bosh statik momentini ta'minlashni ko'zda tutamiz.

Asinxron va sinxron mashinalar asosida qurilgan an'anaviy yuritmalar bilan bir qatorda so'nggi yillarda universal va odimlovchi dvigatelli, ikki yoqlama ta'minlanuvchi o'zgaruvchan tok yuritmalari qo'llanilmoqda.

4.2. ASINXRON DVIGATELNING MATEMATIK MODELI

Asinxron dvigatel (AD)ning matematik modelini ekvivalent almashtirish sxemasi yoki Park-Gorev differensial tenglamalari tizimi ko'rinishida tasvirlash qabul qilingan. Odatda, ekvivalent sxemalardan mashinaning o'rnatilgan tavsiflarini o'rganish uchun, Park-Gorev tenglamasidan esa elektr dinamik jara-yonlarni tadqiq etish uchun foydalaniladi.

Ekvivalent almashtirish sxemasini qurishda, ishlayotgan mashina stator va rotor chulg'amlarini yulduz usulida ulangan holda bitta fazasidagi hodisalar ko'rib chiqiladi. Rotor va stator chulg'amlari orasidagi elektromagnit bog'lanish rotor chulg'amida EYK E_2S orqali induksiyanayotgan o'zaro induksiya oqimi Φ bilan amalga oshiriladi. Birlamchi zanjirning induktiv qarshiligi X_1 statorning sochilish oqimi Φ_{1S} dan yuzaga keladi, rotorning induktiv qarshili X_{2S} esa — sochilish oqimi Φ_{2S} hisobiga yuzaga keladi. Rotordagi tok chastotasi statoridagi tok chastotasi f_1 bilan $f_2 = f_{1S}$ ko'rinishida bog'langan. Statorning r_1 va rotorning qarshiliklari r_2 aktiv mashinaning konstruktiv jihatlari bilan aniqlanadi. U holda rotor toki

$$I_2 = E_2 S / \sqrt{r_2^2 + (x_2 S)^2}, \quad (4.1)$$

yoki

$$I_2 = E_2 / \sqrt{(r_2 S^{-1})^2 + x_2^2}, \quad (4.2)$$

bu yerda: E_2 — rotor EYK, S — sirpanish.

(4.2) ifodaga ko'ra dvigatel rotorini qo'zg'almas bo'lib qoladi, rotor zanjiridagi aktiv qarshilik esa qo'shimcha qarshilik hisobiga o'zgaradi, bu qarshilik

$$r_{qo'sh} = r_2/S - r_2 = r_2 \cdot (1-S)/S \quad (4.3)$$

ga teng.

Bu yerda asinxron mashina fazasining ikkilamchi zanjir parametrlarini birlamchiga keltirilgan almashtirish sxemasi 4.1-rasmda keltirilgan. Bu yerda x_m va r_m — magnitlovchi kontur qarshiligining induktiv va aktiv tashkil etuvchilari va I_m — mashina po'latining magnitlovchi toki.

Bu sxemaning kamchiligi stator toki I_1 , stator zanjiriga keltirilgan rotor toki I_2 va magnitlovchi I_m toklarining rotor sirpanishiga bog'liqligidadir.

Asinxron dvigatel fazasining almashtirish sxemasini olishda quyidagi joizliklarga yo'l qo'yiladi:

Birlamchi va ikkilamchi zanjir parametrlari (r_1 va r_2) o'zgarmas hisoblanadi, ya'ni ular mashina yuk

4.1- rasm. Asinxron mashina parametrlarini ikkilamchi zanjirdan (rotordan) birlamchi zanjirga (statorga) keltirilgan holatdagi bitta fazaning ekvivalent sxemasi.

lamlasiga (isishga) bog'liq emas, bundan tashqari r_2 chastotaga va rotordagi siqib chiqarish tokiga bog'liq emas, to'yinish esa x_1 va x_2 larga ta'sir etmaydi.

2. Magnitlovchi tokdan statorda hosil bo'ladigan kuchlanish tushishi hisobga olinmaydi.

3. Magnitlovchi kontur o'tkazuvchanligi doimiy deb qabul qilinadi. Shuning uchun yuklamadan qat'iy nazar I_2 toki qo'yilgan kuchlanishga chiziqli bog'liq bo'lib qoladi.

4. Mashinadagi ishqalanish hisobiga va po'latda hosil bo'ladigan qo'shimcha isroflar hisobga olinmaydi.

5. Yuqori garmonikali magnit yurituvchi kuchlar va dvigatel tokining o'zaro ta'siri natijasida hosil bo'ladigan titratuvchi va so'ndiruvchi parazit momentlar e'tiborga olinmaydi.

Qabul qilingan joizliklarni hisobga olgan holda rotorning statorga keltirilgan toki:

$$I_2 = U_1 / \sqrt{(r_1 + r_2' / S)^2 + (x_1 + x_2')^2}, \quad (4.4)$$

bu yerda: U_1 — faza kuchlanishi.

Shunday qilib, $S = 0$ bo'lganda I_2 ning qiymati nolga teng bo'lib qoladi va mashina tarmoqdan magnitlovchi tok I_m ni iste'mol qiladi. Dvigatel o'qidagi yuklama hisobiga sirpanish S ortishi bilan I_2 toki ham ortadi va $S = 1$ bo'lganda I_2 ning qiymati qisqa tutashuv tokiga teng bo'ladi. Bu tokni ishga tushirish toki deyiladi:

$$I_{2T} = U_1 / \sqrt{(r_1 + r_2')^2 + (x_1 + x_2')^2}. \quad (4.5)$$

4.3. ASINXRON DVIGATEL MEXANIK TAVSIFINING TENGLAMASI

Amalda yuqoridagi almashtirish sxemasini qurishda qabul qilingan joizliklar mashinaning magnitlanish tavsifini chiziqshastiradi. Bu esa o'z navbatida yuklama toklarining yuqori qiymatlarida mexanik tavsifni hisoblashda sezilarli xatolik kiritadi.

Dvigatelga tarmoqdan berilayotgan elektr quvvati magnitlovchi konturdagi P_m , stator misidagi (chulg'am simi) P_{m1} isroflarni o'rnini to'ldiradi, qolgani esa elektromagnit quvvatga aylanadi. Shunday qilib,

$$P_1 = P_m + P_{m1} + P = m_1 [I_m^2 (r_1 + r_m) + I_1'^2 r_1 + I_2'^2 \frac{r_2'}{S}], \quad (4.6)$$

bu yerdan:

$$P = m_1 \cdot I_2'^2 r_2' S^{-1}. \quad (4.7)$$

O'z navbatida

$$P = M \cdot \omega_0, \quad (4.8)$$

bu yerda: $\omega_0 = 2\pi f_1/p$; p — mashina statori juft qutblar soni; m_1 — fazalar soni; M — dvigatel momenti. (4.4) (4.7) (4.8) formulalar asosida bir necha o'zgartishlardan so'ng quyidagini olamiz:

$$M = \frac{m_1 U_1^2 r_2^1}{\omega_0 S \left[\left(r_1 + \frac{r_2^1}{S} \right)^2 + (x_2 + x_2^1)^2 \right]}. \quad (4.9)$$

Bu ifodadan ko'rinib turibdiki, $M = f(s)$ sirpanishga nisbatan murakkab funksiyadir. Uning hosilasini olib ekstremumga tadqiq etamiz:

$$M = \frac{m_1 U_1^2 r_2^1}{\omega_0 S \left[\left(r_1 + \frac{r_2^1}{S} \right)^2 + (x_2 + x_2^1)^2 \right]}. \quad (4.10)$$

Olingan ifodaning maxrajini nolga tenglashtirib, $M = f(s)$ bog'lanish maksimumga ega bo'ladigan kritik sirpanish S_k qiymatini aniqlaymiz:

$$S_k = \pm r_2^1 / \sqrt{r_1^2 + (x_1 + x_2^1)^2}. \quad (4.11)$$

Moment M ni $S < S_k$ va $S > S_k$ bo'lganda kamayishini quyidagicha tushuntirish mumkin. $S < S_k$ bo'lganda sirpanishning kamayishi dvigatel toki va momentining kamayishi bilan bog'liq, $S > S_k$ bo'lganda esa dvigatel toki ortsa ham uning elektromagnit momenti bilan bog'liq bo'lgan aktiv tashkil etuvchisi kamayadi. Bu esa dvigatel momentining kamayishiga olib keladi.

Moment M ni $S < S_k$ va $S > S_k$ bo'lganda kamayishini quyidagicha tushuntirish mumkin. $S < S_k$ bo'lganda sirpanishning kamayishi dvigatel toki va momentining kamayishi bilan bog'liq, $S > S_k$ bo'lganda esa dvigatel toki ortsa ham uning elektromagnit momenti bilan bog'liq bo'lgan aktiv tashkil etuvchisi kamayadi. Bu esa dvigatel momentining kamayishiga olib keladi.

Kritik sirpanish S_k ning musbat belgisi mashina ishlashining dvigatel rejimiga, manfiy belgisi esa generator rejimiga to'g'ri keladi.

Shuni ta'kidlash lozimki, o'zgaras tok mashinasidagidek r_1 ning nisbiy qiymati mashina quvvatining ortishi bilan kamaya boradi va quvvati 110 kW bo'lgan mashina uchun $x_1 + x_2$ qiymatining 10—15%ni tashkil etadi. Shuning

uchun (4.11) tenglamadan r_1 ni hisobga olmagan holda sodda shaklda foydalanish mumkin

$$S_k \gg r_2' / (x_1 + x_2') = r_2' / x_{qt}, \quad (4.12)$$

bu yerda: x_{qt} — keltirilgan qisqa tutashuv induktiv qarshiligi.

Lekin bu soddalashtirishni o'rta, ayniqsa, kichik quvvatga ega bo'lgan dvigatellar uchun qo'llab bo'lmaydi.

Asinxron dvigatel boshqacha ko'rinishdagi mexanik tavsif tenglamasini (4.9) va (4.11) formulalardan foydalanib olish mumkin. Buning uchun dvigatel M_{kd} va generator M_{kg} rejimlarda ishlagandagi kritik momentlar qiymatini aniqlaymiz:

$$M_{kd} = \frac{m_1 U_1^2}{2w_0 \left(\sqrt{r_1^2 + x_{k.m}^2} + r_1 \right)}. \quad (4.13)$$

$$M_{kg} = - \frac{m_1 U_1^2}{2w_0 \left(\sqrt{r_1^2 + x_{k.m}^2} - r_1 \right)}. \quad (4.14)$$

Kritik momentlar nisbati

$$\frac{M_{kg}}{M_{kd}} = \frac{\sqrt{r_1^2 + x_{k.m}^2} + r_1}{\sqrt{r_1^2 + x_{k.m}^2} - r_1} = - \frac{1 + \varepsilon}{1 - \varepsilon}. \quad (4.15)$$

Bu yerda quyidagi belgilanish qabul qilingan:

$$\varepsilon = r_1 / \sqrt{r_1^2 + x_{k.m}^2} = (r_1 / r_2^1) S_k \quad (4.16)$$

Formula (4.15) shuni ko'rsatadiki, mashina kritik momentining qiymati generator rejimida dvigatel rejimidagiga nisbatan ancha katta qiymatga ega bo'ladi.

Amaliyotda foydalanish uchun asinxron dvigatellar mexanik tavsifining (4.9) formulaga ko'ra soddaroq ko'rinishi qulaydir. Bu formulani (4.9), (4.12) va (4.16) tenglamalardan foydalanib aniqlaymiz:

$$M = 2M_{k-d}(1 + e)/(SS_k^{-1} + S_k S^{-1} + 2e). \quad (4.17)$$

Agarda stator aktiv qarshiligi ta'sirini hisobga olmasak, u holda $e = 0$ va (4.17) formula ($M_{k-d} = M_{k7} = M_k$ bo'lganda) quyidagi ko'rinishni oladi:

$$M = 2M_k/(SS_k^{-1} + S_k S^{-1}) = 2M_k \cdot S_k S / (S^2 + S_k^2). \quad (4.18)$$

(4.18) ifoda M. Kloss formulasi deb ataladi. (4.17) va (4.18) formulalar hisoblash ishlari uchun (4.9) tenglamaga nisbatan ancha qulaydir, chunki ular yordamida, hisobni faqat dvigatel parametrlari asosida amalga oshirish mumkin. Bu holda hamma hisoblash dvigatelning katalog qiymatlari bo'yicha amalga oshiriladi. Ammo olingan natija asinxron dvigatel tavsifining chiziqli qismi uchun yuqori aniqlikka ega bo'ladi. Kritik sirpanish S_k ning qiymati kataloglarda keltirilmaganligi sababli uni boshqa berilgan qiymatlar asosida aniqlab olish mumkin. (Masalan, mashinaning o'ta yuklanish qobiliyati M_k/M_{nom} orqali). U holda (4.17) formuladan quyidagini olamiz:

$$M_{k.d} / M_{nom} = (S_{nom} S_k^{-1} + S_k S_{nom}^{-1} + 2e) / (2(1 + \varepsilon)) = l_m, \quad (4.19)$$

bu yerda: kvadrat tenglamani yechib, quyidagini olamiz:

$$S_k = S_{nom} (g \pm \sqrt{g^2 - 1}), \quad (4.20)$$

bu yerda: $l_m = (l_m - 1)e$.

Faza rotorli asinxron dvigatellar uchun (4.9) va (4.17) ifodalar ishonchli natijalar beradi. Chunki, bu mashinalarda po'latning to'yinishi va rotor chulg'amidan tokni siqib chiqarish deyarli sezilmaydi.

4.4. ASINXRON DVIGATELLARNING MEXANIK TAVSIFLARI

Tarmoq kuchlanishi o'zgargan holatdagi tavsiflarni ko'rib chiqamiz. (4.3) ifodadan ko'rinib turibdiki, $I\ddot{y}_2$ tok qo'yilgan kuchlanishga to'g'ri proporsional, moment esa (4.9 ifodaga e'tibor bering) kuchlanishning kvadratiga to'g'ri proporsional.

Bu mexanik tavsiflarni kuchlanishning turli qiymatlarida qurish imkonini beradi (4.2- rasm), (4.11) dan ko'rinib turibdiki, kritik sirpanish S_k o'zgarmay qoladi. Chunki u kuchlanishga bog'liq emas. Kuchlanish 0,7 U_{nom} gacha pasayganda kritik moment, nominal rejimdagi momentning 49% ini tashkil etadi. Amalda esa dvigatel ishga tushirilayotganda

4.2- rasm. Ta'minot kuchlanishi turlicha bo'lgan asinxron dvigatelning mexanik tavsiflari.

ishga tushirish toki katta bo'lgani uchun kuchlanish bundan ham kamroq bo'ladi. Bu esa tarmoq ta'minot liniyasi uzun bo'lganda yoki katta mashinalarning quvvati ta'minlovchi transformator podstantsiyasi quvvatiga yaqin bo'lganda AD normal ishga tushirish hisoblarini to'g'ri bajarishni taqazo etadi.

Shu sabablarga ko'ra sanoat elektr tarmog'i kuchlanishini nominalga nisbatan $\pm 10\%$ o'zgarishiga ruxsat beriladi.

Ayniqsa, foydalanish shartlariga muvofiq yuklama ostida ishga tushiriladigan yuritmalar (transportyor, yuk ko'tarish qurilmalari, konvertor va boshqa mexanizm yuritmalari) uchun kuchlanishning pasayishi xavflidir. Masalan, yuklamasiz ishga

4.3- rasm. Asinxron dvigatelning nominal yoki pasaytirilgan kuchlanishdagi yoki statorga aktiv ($r_{qo'sh}$) va reaktiv ($X_{qo'sh}$) qo'shimcha qarshiliklar ulangan holatidagi mexanik tavsiflari.

kuchlanishning pasayishi xavflidir. Masalan, yuklamasiz ishga tushirganda (salt yurish) transportyorning statik momenti (0,2—0,3) M_{nom} qiymatdan ortmaydi. Agar transportyor yuritmasi to'la yuklanish bilan ishlayotganda o'chirib qo'yilgan bo'lsa, kamaytirilgan kuchlanish bilan qayta ishga tushirilayotganda $M_s \gg M_{nom}$ ga teng bo'lgan momentni bartaraf etishi kerak.

Katta quvvatli asinxron mashinalarni ishga tushirish tokini chegaralash yoki asinxron yuritmani ravonlik bilan ishga tushirish uchun stator zanjiriga aktiv yoki induktiv qarshilik kiritib ishga tushiriladi va bu qarshiliklar ishga tushirish oxirida zanjirdan chiqarib tashlanadi (4.3- rasm).

Bunday sxemalarning o'ziga xos xususiyatlari dvigatelga qo'yilgan kuchlanishni taxminiy qiymatiga bog'liqligidir.

Aktiv qarshilikning ulanishi yuritma ishga tushirayotganda quvvat koeffitsiyentini birmuncha oshirsa ham, reaktor yordamida ishga tushirishga nisbatan energiya isrofini ko'paytiradi.

Yuqori quvvatli elektr dvigatellari uchun iqtisodiy jihatdan arzon bo'lgan «chastotali» ishga tushirish qo'llanadi. Bu maqsadda dvigatelni ishga tushirayotganda chastotani ravon o'zgartiradigan, ya'ni ω_0 ni o'zgartiradigan maxsus o'zgartkich qo'llaniladi. Shu bilan bir vaqtda kuchlanish ham pasaytirilib ishga tushirish toki ham chegaralanadi.

6- misol. MT-63-10 rusumli faza rotorli asinxron dvigatelning generator va dvigatel rejimida ishlagan holatidagi tabiiy mexanik tavsifini quring. Dvigatelning pasport ko'rsatkichlari: $P_n = 60$ kW, $U = 380$ V, $n_n = 577$ ayl/min, chulg'amlarni

ulanishi e/e. Rotor ko'rsatkichlari: $I_{2n} = 160$ A, $E_{2p} = 253$ V. Bundan tashqari katalogda berilgan quyidagi ma'lumotlardan foydalaniladi: $R_1 = 0,0549$ W; $R_2 = 0,0332$ W; $X_1 = 0,16$ W; $X_2 = 0,0704$ W.

Yechimi. Rotordan statorga uzatish koeffitsiyenti

$$K = \frac{E_1}{E_2} = \frac{0,95U}{E_2} = \frac{0,95 \cdot 380}{253} = 1,43.$$

Keltirilgan qarshiliklar:

$$R_2^1 = R_2 K^2 = 0,0332 \cdot 1,43^2 = 0,0677 \text{ W.}$$

$$X_2^1 = X_2 K^2 = 0,0704 \cdot 1,43^2 = 0,1437 \text{ W.}$$

$$X_k = X_1 X_2^1 = 0,16 + 1,143 = 0,3037 \text{ W.}$$

Kritik sirpanish qiymati:

$$S_k = \pm \frac{0,0677}{\sqrt{0,0549^2 + 0,3037^2}} = \pm 0,22;$$

$$aS_k = \frac{R_1}{R_2^1} S_k = \frac{0,0549}{0,0677} 0,22 = 0,1785.$$

Sinxron burchak tezlik:

$$\omega_o = \frac{2p \cdot 600}{60} = 62,8 \text{ rad/s.}$$

Dvigatel rejimidagi kritik moment (kN•m):

$$M_{kd} = \frac{3 \cdot \left(\frac{380}{\sqrt{3}}\right)^2 \cdot 10^{-3}}{2 \cdot 62,8 \left(0,0549 + \sqrt{0,0549^2 + 0,3037^2}\right)} = 3,18 \text{ kNm.}$$

Generator rejimidagi kritik moment:

$$M_{kg} = 3,18 \frac{0,0549 + \sqrt{0,0549^2 + 0,3037^2}}{0,0549 - \sqrt{0,0549^2 + 0,3037^2}} = - 4,56 \text{ kNm.}$$

Tabiiy mexanik tavsif tenglamasi:

a) dvigatel rejimi

4.4- *rasm.* Faza rotorli asinxron dvigatelning dvigatel va generator rejimidagi tabiiy tavsiflari (6- misol).

$$M_d = \frac{2 \cdot 3,18(1+0,1785)}{\frac{S}{0,22} + \frac{0,22}{S} + 0,357} = \frac{7,49}{\frac{S}{0,22} + \frac{0,22}{S} + 0,357} ;$$

b) generator rejimi

$$M_g = \frac{-2 \cdot 4,56(1-0,1785)}{\frac{S}{-0,22} + \frac{-0,22}{S} - 0,357} = \frac{-7,49}{\frac{S}{-0,22} + \frac{-0,22}{S} - 0,357} .$$

Hisoblash natijalarini 3- jadvalga kiritamiz:

3- *jadval*

S	0	± 0,038	± 0,1	± 0,18	± 0,22	± 0,25	± 0,4	± 0,75	± 1,0
$M_{d'}$ kNm	0	1,2	2,49	3,13	3,18	3,16	2,75	1,84	1,47
$M_{g'}$ kNm	0	- 1,35	- 3,26	- 4,46	- 4,56	- 4,51	- 3,73	- 2,24	- 1,71

4.5- *rasm.* Faza rotorli asinxron dvigatelning mexanik tavsiflari.

3- jadvalga muvofiq 4.4- rasmda dvigatelning tabiiy tavsifi qurilgan.

Asinxron dvigatelning rotor zanjiriga aktiv qarshilik ulangan holatidagi tavsiflari. Faza rotorli asinxron dvigatel metallurgiya va ko'tarma transport qurilmalarida keng qo'llaniladi. Katta quvvatli dvigatellar ventilyator, aerodinamik quvur va nasoslarda qo'llaniladi. Rotor zanjiriga qo'shimcha qarshilik ulash hisobiga bunda AD kritik sirpanishini, uning mexanik tavsifini, ishga tushirish toki va momentini o'zgartirish mumkin.

Nasos va ventilyator yuritmalarida faza to'rtli dvigatellarni qo'llash ularning umumdorligini tejamli ravishda rostlash imkonini beradi, bu bilan katta xo'jalik samaradorligiga erishiladi.

Kritik moment rotor zanjiriga kiritilgan aktiv qarshilikka bog'liq emas. Shuning uchun $r_{qo'sh}$ ni tanlash bilan AD mexanik tavsifini shunday o'zgartirish mumkinki, maksimal moment qiymatiga dvigatel ishga tushirilayotgan paytda, ya'ni $w = 0$ bo'lganda erishish mumkin (4.5- rasm).

Qo'shimcha $r_{qo'sh}$ qarshilikni ko'paytirish rotor tokining aktiv tashkil etuvchisini $I\ddot{y}_{2a} = I\ddot{y}_2 \cos y_2$ ortishiga olib keladi, chunki

$$\cos Y_2 = \frac{r_1 + R_2^1 S^{-1}}{\sqrt{(r_1 + R_2^1 S^{-1})^2 + x_{k.t}^2}}, \quad (4.21)$$

bu yerda: — mashina ikkilamchi zanjirining keltirilgan to'rtli aktiv qarshiligi.

Shu sababli faza rotorli dvigatel qisqa tutashgan rotorli dvigatelga nisbatan kichik toklarda katta ishga tushirish momentiga ega.

Bunday mashinalarning ko'rsatilgan xususiyatlari ularni og'ir ishga tushirish yuritmalarida (ko'tarma kranlar, metallurgiya qurilmalari, rotatsion mashinalar) keng qo'llash imkoniyatini yaratdi.

Faza rotorli dvigatellarning ishga tushirish qarshiliklarini hisoblash. Agarda dvigatel momenti 0 dan (0,7-0,8) M_K oralig'ida o'zgartirish bilan qanoatlansak, uning mexanik tavsiflarini to'g'ri chiziq bilan almashtirish va quyidagi grafoanalitik usulni

4.6- rasm. Faza rotorli dvigatelning ishga tushirish qarshiligini hisoblash uchun grafiklar.

to'g'ri chiziq bilan almashtirish va quyidagi grafoanalitik usulni qo'llab ishga tushirish qarshiliklarini hisoblash mumkin.

Ishga tushirish reostatining qayta ulanish momentlari oralig'ini $M_1 = (0,7-0,8)M_k$ va $M_2 = (1,2-1,5)M_k$ deb belgilab, yuqorida ko'rsatilgan usullardan birini qo'llab dvigatelning tabiiy tavsifini hisoblab chiqamiz. Shundan so'ng (4.6- rasm 0, *mqn* chizig'i) uni qurib boshlang'ich sun'iy tavsif 0, *a* to'g'ri chizig'ini quramiz. U koordinatalari (w_0 ; $M = 0$) bo'lgan 0_1 , nuqta va koordinatalari ($w = 0$; $M = M_1$) bo'lgan *a* nuqtalardan o'tadi, *b* nuqtada birinchi pog'ona qarshiligi chiqarib tashlanadi, yuritma *c* nuqtaga — yangi 0, *dc* tavsifga o'tadi.

Shundan so'ng oraliq tavsiflarni qurish jarayoni shunga o'xshash usulda davom etadi. Yuritma tabiiy tavsifga chiqqanda $M_1 = \text{const}$ bo'lgan nuqta vertikal yaqinida joylashadi. Agar bu hol ro'y bermasa, qayta ulash momenti M_2 ning qiymatini shunday o'zgartirish kerakki, toki qidirilayotgan *n* nuqtaning holatini olish mumkin bo'lsin.

Shu bilan ishga tushirish diagrammasini qurish jarayoni tugaydi.

Ishga tushirish pog'ona qarshiligi qiymatini aniqlash uchun quyidagi formuladan foydalanamiz:

$$mr_t = S, \quad (4.22)$$

to'la qarshilikning nisbiy qiymati $r_t = r_2 + r_{qo'sh}$; Nominal momentga mos keladigan $m = 1$ da, quyidagi tenglamalarni olamiz:

$$\begin{aligned} pb_1 \in S_1 &= r_2 + r_{1qo'sh}; \quad ph_1 \in S_4 = r_2 + r_{4qo'sh}; \\ pd_1 \in S_2 &= r_2 + r_{2qo'sh} \dots\dots\dots \\ pf_1 \in S_3 &= r_2 + r_{3qo'sh} \quad pq_1 \in S_{nom} = r_2, \end{aligned}$$

bu yerda: r_2 — nisbiy birliklarda mashina rotorining qarshiligi; pb_1 , pd_1 , pf_1 , $ph_1 \dots pd_1$ (4.6- rasm).

Pog'ona qarshiliklar soni xuddi o'zgarmas tok dvigatellari kabi aniqlanadi. Sirpanish qiymatlarini mos bo'laklarni bo'lish yo'li bilan aniqlaymiz, masalan,

$$S_1 = pb_1/0_10; \dots; \quad S_{nom} = pq_1/0_10.$$

4.7- rasm. Rotor zanjiriga induktiv va aktiv qarshiliklarini ketma-ket (*a*) va parallel (*b*) ulanish sxemalari.

Oxirgi bosqichda ishga tushirish pog'ona qarshiliklari $R_1 \dots R_m$ aniqlanadi:

$$R_4 = (r_{1qo'sh} - r_{2qo'sh})R_{2nom};$$
$$\dots R_i = (r_{iqo'sh} - r_{(i+1)qo'sh})R_{2nom} \dots$$

Shundan so'ng bu pog'ona qarshiliklari konstruktiv jihatdan hisoblanishi kerak, ya'ni qarshiliklarning elementlari kataloglardan tanlanib, ishga tushirayotganda joiz tok qiymati va uning davomiyligi bo'yicha issiqlik hisobi bajariladi.

Rotor zanjiriga aktiv va induktiv qarshilik kiritilgan holatidagi tavsiflari. Ko'p pog'onali ishga tushirish reduktorlaridan foydalanish mumkin bo'lmagan hollarda dvigatelni ishga tushirayotganda uning tezlani-

4.8- *rasm.* Dvigatel statoridagi tok va elektromagnit momentlarning tabiiy tavsifda (M_t, I_t) va sun'iy tavsiflarda aktiv-reaktiv qarshiliklarni ulab ishga tushirishdagi ($M_{a.r} I_{a.r.}$) bog'lanishlar.

4.9- *rasm.* Asinxron dvigatelning ishga tushirish reostatini hisoblash grafigi.

shini katta ravonlikda o'zgartirish maqsadida rotor zanjiriga simmetrik ravishda induktiv (reaktor) va aktiv qarshilik (rezistor) ulanadi (4.7- *rasm, a*).

Ishga tushirishning boshlanishida rotor tokining chastotasi tarmoq chastotasiga yaqin bo'lgani uchun reaktorning induktiv qarshiligi x_p katta bo'ladi va u ishga tushirish tokini chegaralaydi. Dvigatel tezligi orta borishi bilan rotor EYK kamaya boradi. Lekin shu bilan bir vaqtda chastota kamayishi hisobiga x_p qarshilik kamaya boradi. Qarshiliklarni bunday ulanish sxemasi uchun dvigatel mexanik

tavsiflarini hisoblash (4.17) va (4.18) formulalar bo'yicha amalga oshiriladi, lekin oldindan kritik moment $M_{k.c.}$, sirpanish $S_{k.c}$ va E_c qiymatlarini aniqlash kerak.

Reaktor va rezistorlar parallel ulanganda yanada aniq tavsiflarni olish mumkin (4.7- rasm, *b*). Bu yerda ishga tushirish momentida induktivlik katta va rotordagi tok qo'shimcha qarshilik $r_{qo'sh}$ bilan chegaralanadi.

Shundan so'ng dvigatel tezligi orta borishi bilan toklar aktiv va induktiv qarshiliklari orasida qayta taqsimlana boradi. Bunday qayta taqsimlanish hisobiga ishga tushirish davomida dvigatel momentini bir xil qiymatda ushlab turish mumkin.

Ishga tushirishning oxirida qarshilik chiqarib tashlanadi va dvigatel tabiiy tavsifga o'tkaziladi (4.7- rasm, *1*, va *2* hamda *3*, *4* nuqtalar). Bunday sxemalarni katta quvvatga ega bo'lgan, og'ir sharoitlarda qo'llash maqsadga muvofiq.

7- misol. AK-51-6 rusumli faza rotorli asinxron dvigatel uchun ishga tushirish reostatini tanlang. Dvigatelning pasport ko'rsatkichlari: $P_n = 1,7 \text{ kW}$, $n_n = 905 \text{ ayl/min}$, $E_2 = 57 \text{ V}$, $I_{2n} = 20,2 \text{ A}$, $l = 2,0$, $R_2 = 0,155 \text{ W}$.

Burchak tezligining nominal qiymati:

$$\omega_n = \frac{2\pi \cdot 905}{60} = 94,7 \text{ rad/s}$$

Dvigatelning o'qidagi statik yuklama momenti uning nominal momentiga teng

$$M_s = M_n = \frac{P_n}{\omega_n} \approx \frac{1,7}{94,7} \cdot 10^3 = 17,95 \text{ N} \cdot \text{m}$$

Dvigatelning tabiiy mexanik tavsifi 4.9- rasmda keltirilgan.

Faza rotorli asinxron dvigatelning eng katta ishga tushirish momenti:

$$M_1 = 0,85 M_{qd} = 0,85 \cdot l \cdot M_n = 0,85 \cdot 2 \cdot 17,95 = 30,5 \text{ N} \cdot \text{m}$$

Qarshiliklarni chiqarishdagi moment

$$M_2 = 1,2 M_s = 1,2 \cdot 17,95 = 21,55 \text{ N} \cdot \text{m}$$

Yechimi. Tabiiy mexanik tavsifning M_1 va M_2 momentlariga mos keladigan *a* va *b* nuqtalaridan (4.9- rasm) sinxron tezlik ($S = 0$) chizig'i bilan kesishguncha to'g'ri chiziq o'tkaziladi, *t* nuqtadan *tq*, *te* va *tc* nurlari o'tkaziladi.

Pog'ona qarshiliklarining qiymatlari quyidagi ifodalardan aniqlanadi:

$$R_{p1} = \frac{e\partial}{ak} \cdot R_2 = \frac{0,41}{0,205} \cdot 0,155 = 0,31 \text{ W},$$

$$R_{p2} = \frac{ce}{ak} \cdot R_2 = \frac{0,24}{0,205} \cdot 0,155 = 0,18 \text{ W},$$

$$R_{p3} = \frac{ac}{ak} \cdot R_2 = \frac{0,145}{0,205} \cdot 0,155 = 0,11 \text{ W},$$

Ishga tushirish reostatining to'liq qarshiligi:

$$R_p = \frac{a\partial}{ak} \cdot R_2 = \frac{0,7951}{0,205} \cdot 0,155 = 0,6 \text{ W.}$$

4.5. ASINXRON DVIGATELLARNING TORMOZLASH REJIMLARI

Asinxron dvigatelli ko'p yuritmalar uchun ishga tushirishga nisbatan tormozlash rejimi katta ahamiyatga ega. Chunki bu rejimga ishonchlilik va soz ishlash talablari qo'yiladi. Ko'pincha berilgan holatda aniq to'xtash va aniq vaqt orasida tormozlash talab etiladi.

Asinxron dvigatellarda quyidagi: tarmoqqa energiyani qaytarish yo'li bilan generator rejimida tormozlash; mashina generator rejimida ishlab statorga o'zgarmas tok bilan turli qo'zg'atish hosil qilgan holda dinamik tormozlash, teskari ulash bilan tormozlash; o'z-o'zini qo'zg'atib kondensatorli yoki magnitli dinamik tormozlash rejimlari qo'llanadi. Stator magnit maydoni qo'zg'atish usuli bo'yicha ikkita guruhga bo'linadi: o'zgaruvchan yoki o'zgarmas tok tarmog'i orqali mustaqil qo'zg'atishli (rekuperativ teskari ulash va dinamik tormozlash) va kondensator batareyasi orasida energiya almashuvi hisobiga yoki dvigatel statori qisqa tutashtirilganda magnit oqimi o'zinduksiya EYK hisobiga hosil bo'ladigan o'z-o'zini qo'zg'atish orqali.

Yuqorida qayd etilgan rejimlarni qisqa tutashgan va faza rotorli mashinalar uchun qo'llash mumkin.

Energiyani tarmoqqa qaytarib tormozlash. Boshqa mashinalar kabi asinxron dvigatel uchun ham elektromagnit induksiya prinsipini qo'llab (dvigatel va generator rejimida ishlash qobiliyati) uni generator rejimida ishlashiga imkon yaratish mumkin. Agarda mashina o'qida yuklama bo'lmasa (salt yurish) u holda tarmoqdan olinayotgan energiya rotordagi mexanik isroflar, po'latdagi isroflar hamda statoridagi isroflarni qoplash uchun sarflanadi. Mashina o'qiga rotorning aylanish tomoni bo'yicha ta'sir etayotgan tashqi moment qo'yish bilan sinxron tezlikka erishish mumkin. Bu holda rotordagi isroflar tashqi energiya manbayi

4.10- rasm. Asinxron dvigatelning reaktiv statik moment qo'yilganda generator tormozlash rejimidagi mexanik tavsiflari:

- a — juft qutblar sonini o'zgartirilgan holatidagi;
- b — tezlikani chastotali rostlangan holatidagi.

hisobiga qoplanadi, tarmoqdan esa faqat statordagi isroflarni qoplash uchun energiya iste'mol qilinadi. Shundan so'ng tezlikning sinxronidan yuqoriga o'zgarishi asinxron mashinani generator rejimiga o'tishga olib keladi.

Bu rejimda ishlaganda stator simlarini (chulg'amini) oldingi yo'nalishdagi magnit maydoni kesib o'tadi, rotor simlarini esa teskari yo'nalishda kesib o'tadi. Shuning uchun rotor EYK E_2 o'z ishorasini o'zgartiradi, ya'ni $E\ddot{y}_2S = (-s)E\ddot{y}_2 \gg -E\ddot{y}_2S$. Rotordagi tok quyidagiga teng bo'ladi:

$$I_2^1 = \frac{-E_2^1 S}{r_2^1 + jx_2^1(-S)} = \frac{E_2^1}{-\frac{r_2^1}{S} + jx_2^1}. \quad (4.22)$$

4.11- rasm. Asinxron dvigatelning ulanish sxemasi va mexanik tavsiflari: *a* — reaktiv statik momentda teskari ulanish rejimida;
b — shuning o'zi, aktiv statik momentda.

Bu ifodadan ko'rinib turibdiki, AD generator rejimiga o'tishi bilan faqat rotor tokining aktiv tashkil etuvchisi o'z yo'nalishini o'zgartiradi. Chunki dvigatel o'qidagi aylantiruvchi moment dvigatel rejimiga nisbatan o'z yo'nalishini o'zgartirgani uchun $I\ddot{y}_{2a}$ tokining aktiv tashkil etuvchisi ishorasining o'zgarishi elektromagnit quvvatining manfiy bo'lishiga olib keladi, ya'ni tarmoqqa qaytariladi, chunki $S < 0$ bo'lib

$$P = m_1 \cdot I_2'^2 \cdot r_2' / S = m_1 \cdot U_1^2 \cdot r_2' / (S[r_1 + r_2' / S]^2 + x_{k.t}^2).$$

Ikkilamchi kontur reaktiv quvvatining belgisi mashinaning ishlash rejimiga bog'liq bo'lmagan holda o'zgarmay saqlanishi quyidagi ifodadan ko'rinadi:

$$P_{2p} = m_1 U_1^2 \cos y_2 = \frac{m_1 U_1^2 x_{k.t} \cdot S^2}{\left((r_1 S + r_2')^2 + x_{q.t}^2 S^2 \right)}. \quad (4.23)$$

Asinxron dvigatellarda reaktiv statik moment mavjud bo'lganda energiyani tarmoqqa qaytarib, generator tormozlashni ularning qutblar sonini o'zgartirish yoki aylanish tezligini chastotali, chastota-tokli va vektor usulida rostlab amalga oshirish mumkin. Birinchi holda (4.10- rasm, *a*) mashina statorini kam qutblar sonidan ko'p qutblar soniga o'zgartirib, sinxron tezlik kamaytiriladi $\omega_2 < \omega_1$ va bunda butun davr davomida dvigatel ikkinchi kvadrantda ishlayotganda tormozlash energiyani tarmoqqa qaytarish bilan amalga oshiriladi.

Tezlikni chastota yordamida rostlayotganda stator ta'minot chastotasini asosiydan kamaytira borib, (f_1 dan to $f_2 < f_1$ va $f_3 < f_2$) dvigatelni bir mexanik tavsifdan boshqasiga o'tkaziladi (4.10-rasm, *b*).

Yuritma ishchi nuqtasi ikkinchi kvadrantda joylashgan mexanik tavsif bo'laklari bo'yicha harakatlanishi davomida energiyani tarmoqqa qaytarib tormozlash rejimida ishlaydi. Dvigatelni ta'minlovchi chastotani ravon va avtomatik ravishda o'zgartirib ozgina o'zgaruvchi moment bilan yuritmaning tormozlash rejimini olish mumkin. Lekin

12- rasm. Dinamik tormozlashda asinxron dvigatel stator chulg'amlarini o'zgarmas (to'g'rilangan) tok manbayiga ulash sxemasi.

bunda ma'lum qonuniyat bo'yicha kuchlanishni ham o'zgartirish kerak.

Teskari ulab tormozlash. Bu ko'rinishdagi tormozlash dvigatel rotorini statik moment ta'sirida stator maydoni aylanishiga teskari bo'lgan yo'nalishda aylanishidan yuzaga keladi. Reaktiv moment mavjudligida tormozlash vaqti kam bo'lib, mashina tormozlash rejimidan dvigatel rejimiga o'tadi (4.11- rasm, *a*). Boshida dvigatel 1 nuqtada dvigatel rejimida ishlayotgan edi, stator chulg'ami ikkita fazasining o'rnini almashtirgandan so'ng mashina magnit maydonining aylanish yo'nalishi va elektromagnit moment yo'nalishi o'zgaradi (2 nuqta). Yuritma harakati nol nuqtasigacha sekinlashadi, shundan so'ng rotor reverslanadi va dvigatel teskari tomonga aylanib, harakat nuqtasi 3 ga chiqadi.

Faza rotorli dvigatellar uchun katta qo'shimcha qarshilik bo'lgan paytda yuritma M_{tr} tormozlash momenti bilan to'liq to'xtashi mumkin (4.11- rasm, *a* dagi 5 nuqta).

Aktiv qarshilik momenti mavjud bo'lganda (4.11- rasm, *b*), xuddi oldingi holatdagidek magnit maydonining aylanish yo'nalishi o'zgarsa, dvigatel ishlash

rejimini o'zgartiradi, ya'ni ikkinchi kvadrantda teskari ulab tormozlash, uchinchi kvadrantda rotor aylanish yo'nalishini reverslab dvigatel rejimi, to'rtinchi kvadrantda yangi rejim-energiyani aylanish yo'nalishini reverslab dvigatel rejimi, to'rtinchi kvadrantda yangi rejim-energiyani tarmoqqa qaytarib, generator rejimi sodir bo'ladi va dvigatel 3 nuqtada o'rnatilgan tezlikda ishlaydi.

Faza rotorli dvigatellar uchun aktiv statik moment mavjud bo'lgan teskari ulab tormozlash rejimini stator fazalarining o'rnini almashtirmasdan turib ham olish mumkin. Faqat bu holda rotorga katta qo'shimcha qarshilik kiritiladi (4.11- rasm, b). 1 nuqtadagi dvigatel rejimidan qo'shimcha qarshilik r_q kiritilib 4 nuqtaga o'tkaziladi, shundan so'ng u o'z harakatini sun'iy tavsif bo'yicha sekinlashtira boradi va to'rtinchi kvadrantga o'tadi. 5 nuqta asinxron dvigatelning teskari ulash rejimidagi o'rnatilgan tezligiga mos keladi.

Teskari ulab tormozlash tavsiflarining kamchiligi, bu ularning katta qiyalikka (yumshoq) ega bo'lishida va energiyaning ko'p sarflanishidadir. Bu energiya to'laligicha dvigatelning ikkilamchi zanjirida sarflanib issiqlikka aylanadi.

Tormozlashdagi statik moment M_s ma'lum bo'lsa, u holda bu nuqtadagi sirpanishni (4.12) tenglama yordamida hisoblash mumkin. Shundan so'ng (4.22) formula yordamida qo'shimcha qarshilikni hisoblash mumkin.

Elektrodinamik (dinamik) tormozlash. Agar AD statori tarmoqdan uzib qo'yilsa, u holda qoldiq magnitlovchining magnit oqimi rotorda EYK va

4.13- rasm. Asinxron dvigatelni qo'zg'atish tokining turli qiymatlarida o'zgartirib yoki rotor zanjirida turli qo'shimcha qarshilik kiritib olingan dinamik tormozlashdagi mexanik tavsiflari.

tokni shakllantiradi. Rotordagi bu kichik qiymatga ega bo'lgan magnit oqim va tok katta elektromagnit moment hosil qila olmaydi. Shuning uchun magnit oqimini sezilarli darajada ko'paytirish imkonini topish kerak. Buni dinamik tormozlash rejimida mashina statorini o'zgarmas yoki to'g'rilangan tok manbayiga ulash bilan amalga oshirish mumkin. Bundan tashqari dvigatelning o'z-o'zini qo'zg'atish sxemasini ham yaratish mumkin. Buning uchun esa stator chulg'amlariga kondensator ulash lozim bo'ladi. Natijada asinxron mashinaning mustaqil qo'zg'atish va o'z-o'zini qo'zg'atish yo'li bilan dinamik tormozlash rejimini olamiz. Mustaqil qo'zg'atishda statorda hamda aylanayotgan rotor chulg'amlarida EYK va tok hosil qiladigan o'zgarmas oqim induksiyalanadi.

Stator chulg'amlarini o'zgarmas (to'g'rilangan) tok tarmog'iga ulash uchun turli ulanish sxemalari qo'llaniladi, ularning ba'zilar 4.12- rasmda keltirilgan.

Stator chulgʻamini oʻzgarmas tok bilan taʼminlaganda statorga keltirilgan rotor toki quyidagi formula yordamida aniqlanadi:

$$I_2^1 = \frac{I_1 X_\mu}{\sqrt{\left(\frac{r_2^1}{n}\right)^2 + (x_m + x_2^1)^2}}, \quad (4.24)$$

bu yerda: $v = w w_0^{-1} = 1 - S$.

Mashinaning elektromagnit momenti qiymati uning ikkilamchi zanjiridagi stator toki bilan aniqlanadi, yaʼni

$$M = \frac{m_1 I_2^{12} r_2^1}{w_0 n} = \frac{m_1 I_1^2 x_m^2 r_2^1}{w_0 n \sqrt{\left(\frac{r_2^1}{n}\right)^2 + (x_m + x_2^1)^2}} \quad (4.25)$$

Bu tenglamani ekstremumga tadqiq etib, rotorning nisbiy kritik tezligini aniqlash mumkin, bunda moment ham maksimum qiymatga erishadi:

$$n_{kr} = r_2^1 / (x_m + x_2^1), \quad (4.26)$$

$$M_{kr} = \frac{m_1 I_1^2 x_m^2}{2 w_0 (x_m + x_2^1)}. \quad (4.27)$$

Yuqoridagi (4.25) — (4.27) formulalarga asosan *AD* mexanik tavsifi uchun quyidagi ifodani olish mumkin:

$$M = 2M_{kr} / (v/v_{kr} + v_{kr}/v). \quad (4.28)$$

(4.24) — (4.28) formulalarning tahlili va *AD* dinamik tormozlashni tavsiflovchi fizik hodisalardan quyidagi xulosalarni chiqarish imkonini beradi.

1. Dinamik tormozlash rejimida asinxron mashinaning mexanik tavsifining xususiyatlari dvigatel rejimidagi shunga oʻxshash tavsiflarning xususiyatlariga oʻxshash boʻladi, yaʼni kritik moment ikkilamchi konturning aktiv qarshiligiga bogʻliq emas, kritik tezlik v_{kr} esa S_{kr} kabi dvigatel rejimida r_2^1 ga proporsionaldir.

2. Tok I_1 va parametr x_m dvigatel rejimidagi qiymatlardan tubdan farq qiladi, chunki bu parametrlar stator magnit zanjirining toʻyinishiga bogʻliq.

3. Dvigatel rejimida mashinaning stator toki rotor sirpanishining funksiyasi bo'lib, dinamik tormozlashda esa u o'zgarmas qiymatga ega.

4. Natijaviy magnit oqimi rotorning kichik tezliklarida va dinamik tormozlashda ortib boradi. Chunki bu holda rotor reaksiyasining magnitsizlantirish harakati kamaya boradi, dvigatel rejimida esa u o'zgarmas bo'lib qoladi.

4.13- rasmda tavsiflar keltirilgan bo'lib, ulardan 1 va 2 o'zgarmas r_{21} qarshiligida va stator tokining ikki xil $I_{11} < I_{12}$ qiymatida, 3 va 4 tavsiflar esa toklarning shu qiymatlarida qarshiliklarning qiymatini o'zgartirib $r_{22} > r_{21}$ olingan. Taqqoslash uchun dvigatel rejimida ishlayotgan mashinaning mexanik tavsifi keltirilgan.

Agar rotor zanjiridagi aktiv qarshilikni o'zgartirish mumkin bo'lsa, u holda taxminan moment o'zgarmas bo'lib qolgandagi tavsifni yuritma tezligi keng diapazonda o'zgariganda olish mumkin.

Magnitlovchi konturning reaktiv qarshiligi magnit zanjiri to'yinmagan holat uchun quyidagi formula orqali aniqlanadi:

$$x_m = U_0/I_0 \sin j_0, \quad (4.29)$$

bu yerda: U_0, I_0 — mashinaning salt yurishdagi faza kuchlanishi va toki.

4.6. ASINXRON DVIGATELLARNING TEZLIGINI ROSTLASH

Asinxron dvigatellarning tezligini rostdash uch xil usulda amalga oshirilishi mumkin. Birinchi usul — parametrik rostdash bo'lib, u dvigatelning ayrim parametrlarini o'zgartirish bilan bog'liq. Bunda stator zanjirining aktiv yoki aktiv-induktiv qarshiliklarini; rotor zanjirining aktiv yoki aktiv-induktiv qarshiliklarini; mashinaning qutblar sonini o'zgartirish mumkin.

Ikkinchi usul rotor zanjiriga qo'shimcha EYK kiritib yoki qo'shimcha EYK hosil qilish maqsadida maxsus qo'shimcha chulg'am qo'llash orqali bajariladi (o'zgaruvchan tok kollektorli mashinalar).

Tezlikni rostdashning uchinchi usuli dvigatel ta'minot manbayi qiymatlarini o'zgartirish bilan bog'liq. Bu esa dvigatel kuchlanishini; dvigatel ta'minot manbayi chastotasini; dvigatel ta'minotini impuls ravishda o'zgartirish orqali amalga oshiriladi. Hozirda asinxron mashina tezligini rostdashning quyidagi: chastota orqali rostdash, bunda chastota boshqariladi va statoridagi kuchlanish shakllantiriladi; chastota-tokli boshqarish, bunda chastota boshqariladi va tok shakllantiriladi; vektorli boshqarish, bunda mashinaning asosiy magnit ilashishi vektori shakllantiriladi; momentni bevosita boshqarish usullari mavjud.

Asinxron mashina uchun tarmoqdan berilgan quvvat quyidagi ko'rinishga keltiriladi:

$$P_t = M\omega_0 = P_t S + P_t(1-S) = D P + P_m, \quad (4.30)$$

bu yerda: P_t , P_m , $D P$ — mos ravishda tarmoqdan berilgan, mexanik ishga aylantirilgan va isrof bo'layotgan quvvatlar; M — elektromagnit moment.

Tezlikni rostdash rejimlari mashina parametrlarini uzoq vaqt nominal qiymatdan og'ishiga olib keladi. Shuning uchun bu yerda: energiya isrofi qurilmaning FIK va quvvat koeffitsiyenti muhim rol o'ynaydi.

Rotor zanjiriga qo'shimcha qarshilik kiritish. Simmetrik aktiv qarshiliklar kiritilganda kritik sirpanish ortadi, kritik moment esa o'zgarmay qoladi. Demak, tezlikni yuklama momenti o'zgarmay qolganda ham rostdash mumkin. Sirpanish energiyasi qo'shimcha qarshiliklarda chiqib ketganligi uchun mashinaning qizishi xuddi nominal rejimdagidek saqlanib qoladi. $S_i = 0,5$ ga teng bo'lgandayoq umumiy sirpanish

4.14- rasm. Ko'p fazali asinxron dvigatelning stator fazalari seksiyalarining ulanish sxemalari: juft qutblar sonini $2p = 8$ (a) va $2p = 4$ ni seksiyalarni ketma-ket (b) va parallel (d) ulagan holatdagi sxemalari.

4.15- rasm. Ikki tezlikli dvigatelning mexanik tavsiflari:

a — o'zgarmas moment rejimida; b — o'zgarmas quvvat rejimida.

isroflari mexanik ishga aylanadigan quvvatga teng bo'ladi. $M_c = M_{nom}$ bo'lganda rostdash diapazonini quyidagi formula orqali hisoblash mumkin:

$$D = w_{nom}/w_{nom} = 1 - S_{nom}/n = [1 - S_{nom}/(m_1 - 1)] \cdot m_1, \quad (4.31)$$

bu yerda: w_{nom} va w_{min} — dvigatel burchak tezligining nominal va minimal qiymatlari; n_{min} — minimal tezlikning nisbiy qiymati; m_1 — ishga tushirish momentining nisbiy qiymati.

Odatda m_1 ning qiymati $m_1 = 1,5-2,0$ oralig'ida beriladi, u holda $D = (3\ddot{2})(1 - S_{nom})$ yuritmaning FIK ni topamiz:

$$h = P_m/P_t = M_{nom}w/M_{nom}w_0 = n_i.$$

FIK ning o'rtacha qiymati:

$$h_{ur} = (D + 1/2D) \cdot h_t,$$

bu yerda: h_t — dvigatelning nominal qiymatlari berilganda tabiiy tavsifdagi FIK.

Bu holda dvigatelning quvvat koeffitsiyenti ham o'zgaradi. Induktiv qarshilik S_{kr} va M_{kr} qiymatlarini kamaytiradi va quvvat koeffitsiyentini pasaytiradi. Shuning uchun amalda asosan rotorda faqat aktiv-induktiv qarshilikdan foydalaniladi. Rostlashning bu usuli reostatli rostlashga qaraganda faqat ravonligi bilan farq qiladi.

Bunday rostlash usullarida quvvat isrofi katta bo'ladi. Shu bois bu usul amalda kam qo'llanadi.

Statordagi kuchlanishni o'zgartirib asinxron mashinalarning tezligini rostlash. Kuchlanishni kamaytirganda kritik sirpanish o'zgarmaydi, kritik moment esa kamayadi (4.2- rasmga qarang). Bunday rostlash usulidagi tavsiflar statorga qo'shimcha qarshilik kiritilgandagi ifodalarga yaqin bo'ladi. Kichik tezliklarda mumkin bo'lgan moment qiymatini oshirish maqsadida faza rotorli dvigatellarda rotorga qo'shimcha qarshilik kiritish mumkin. Yuritma energetikasi, taxminan, statorga qo'shimcha qarshilik kiritilgandagidek; tezlk kamayishi bilan qurilmaning FIK va quvvat koeffitsiyenti kamayadi. Statordagi kuchlanish ortganda tezlik asosiy tezlikdan birmuncha yuqoriroq bo'lishi mumkin. Ammo bu holda mashina to'yinib, po'latdagi isroflar to'satdan ortib ketadi.

Agarda avtotransformator qo'llanilsa, kuchlanish pasayganda statordagi aktiv va induktiv qarshilik ko'payadi, kritik sirpanish esa kamayadi. Bunday sxemada rostlash diapazoni $D = 1,2\text{--}1,3$ ga teng bo'ladi.

Tezlikni mashinaning juft qutblar sonini o'zgartirib rostlash. Oddiy texnologik va ishlab chiqarish jarayonlarini bajaradigan ko'plab mexanizmlar tezlikni ravon rostlashni talab qilmaydi. Ular uchun tezlikni ikki, uch pog'onada rostlashga mo'ljallangan yuritmalar yetarli bo'ladi. Bu mexanizmlarga yuk va passajir tashuvchi liftlar, yog'ochga ishlov beruvchi dastgohlar, markazdan qochma separatorlar va boshqa mashinalar kiradi.

Bu holda yuritmada ko'p tezlikli elektr dvigatelidan foydalaniladi. Bunday dvigatellar konstruktiv jihatdan ikki turda: statorning bitta paziga turli juft qutbli bir nechta chulg'amlar joylashgan; chulg'am seksiyalarni ma'lum tarzda ulaganda juft qutblar sonini o'zgartirish imkonini beradigan bir nechta chulg'amli qilib bajariladi.

Agarda asinxron mashinada stator qutblar soni o'zgartirilsa, rotorning qutblar sonini ham shu songa o'zgartirish kerak. Bu jarayon «olmaxon katakli» rotorli bo'lgan mashinalarda avtomatik tarzda amalga oshirilganligi bois ko'p tezlikli dvigatellar faqat qisqa tutashgan rotorli bo'ladi.

Statorning bir pazida bir nechta chulg'amli ko'p tezlikli dvigatel boshqacha turdagi dvigatellardan o'zining

4.16- rasm. $CHO'-AD$ yuritma mexanik tavsiflari: a — o'zgarmas momentda; b — o'zgarmas quvvatda; d — ventilyatorli yuklamada.

o'lchamlari, massasi, FIK va quvvat koeffitsiyentining pastligi tufayli orqada qoladi. Juft qutblar sonini 2 : 1 nisbatda almashlab ulash sxemasi 4.14- rasmda keltirilgan.

Bu yerda soddalashtirish maqsadida statorning bitta faza chulg'ami keltirilgan. Chulg'amlarni ulanish sxemasidan ko'rinib turibdiki, sektsiyalar ketma-ket hamda parallel ulanganda ham juft qutblar soni olinadi. Ko'p tezlikli dvigatelga ega bo'lgan yuritmalarda tezlik chulg'amlarni turli ravishda ulash bilan rostlanadi. Bu ulanishlarni o'zgarmas moment hamda o'zgarmas quvvat rejimida amalga oshirish mumkin.

4.7. ASINXRON DVIATELLAR TEZLIGINI CHASTOTALI ROSTLASH

Akademik M. P. Kostenko ilk bor chastotali boshqarish nazariyasiga asos soldi. O'zbekistonda asinxron dvigatellarni chastotali boshqarish nazariyasi akademik M. Z. Homudxonov tomonidan rivojlantirildi.

Prinsipning mohiyati tezlikni boshqarishda quvvatni (energiyani) $P_{em} = M_{em} \cdot \omega$ hamda uning tarkibiy qismlarini boshqarishdadir.

Ulardan biri ustida to'xtalib o'tamiz: chastota berilganda kuchlanishni boshqarish qonunini ham shakllantirish kerak. Bu prinsipni amalga oshirish oson bo'lib, u $\omega_0 = 2\pi f_1/p$ nisbatga asoslangan, bu yerda: f_1 — statorni ta'minlayotgan ta'minot manbayi chastotasi.

Shuning uchun stator toki chastotasini o'zgartirganda rotor aylanish tezligini keng ko'lamda ravon rostlash mumkin. Tezlikni rostlashning bu usuli asosan sirpanishdagi isroflar $DP = P_p S$ bilan tavsiflanadi. Bu isroflar chastota o'zgarishining katta diapazonida ham o'zgaradi. Hozirgi vaqtda o'zgaruvchan tok dvigatellarining tezligini rostlash uchun ishonchli va tejamkor statik o'zgartgichlar yaratilgan.

Chastota o'zgartgichi-asinxron dvigatel ($CHO'-AD$) tizimini optimal boshqarish qonunlari. Kuchli yuritmaning asosiy chiqish koordinatasi — bu elektrmagnit momentidir. Chastotali boshqarishda uning qiymati statorga berilayotgan o'zgaruvchan tok chastotasi va kuchlanishiga bog'liq. Shuning uchun ikkita bir-biriga bog'liq bo'lmagan boshqarish kanallarining mavjudligi $CHO'-AD$ tizimida optimal boshqarish imkonini beradi. Bu qonunni ikkita bir-biriga bog'liq bo'lmagan boshqarish kanallarining mavjudligi $CHO'-AD$ tizimida optimal boshqarish imkonini beradi. Bu qonunni M. P. Kostenko yaratgan bo'lib, u

quyidagicha asoslanadi. Aytaylik, yuritma tezligini rostdashda dvigatelning yuklanish qobiliyati $l_m = M_k \cdot M^{-1}_{nom}$ o'zgarmas saqlansin. U holda stator chulg'amidagi aktiv kuchlanish tushishini hisobga olmagan holda quyidagi taxminiy tenglikni yozish mumkin:

$$\left(\frac{\Phi_1}{\Phi_2}\right)^2 = \frac{M_1}{M_2}; \quad \frac{U_1}{U_2} \gg \frac{f_1 \Phi_1}{f_2 \Phi_2}.$$

Bundan:

$$\frac{U_1}{U_{nom}} = \frac{f_1}{f_{nom}} - \sqrt{\frac{M_1}{M_{nom}}} \quad \text{yoki} \quad g = a \sqrt{m} \quad (4.32)$$

Absolut yoki nisbiy birliklardagi (4.32) ifoda $l_m = \text{const}$ bo'lgandagi chastotali boshqarishning optimal qonunining matematik ifodasini ko'rsatadi. (4.32) ifodaga muvofiq dvigatelni boshqarib quvvat koeffitsiyenti va yuritmaning absolut sirpanishini o'zgartirmay saqlab qolish mumkin. Uning FIK esa, tezlikning o'zgarishiga bog'liq bo'lmaydi. Mana shunda chastotali boshqarishning optimallik mezoni o'z ifodasini topadi.

Yuklama momenti o'zgarmas bo'lganda:

$$g = a \quad \text{yoki} \quad U/f = \text{const}. \quad (4.33)$$

Quvvat $P = \text{const}$ o'zgarmas bo'lganda:

$$g = \sqrt{a}. \quad (4.34)$$

Ko'pincha yuklama tezlikka bog'liq bo'ladi yoki $m = a^n$. (4.32) tenglama quyidagi ko'rinishni oladi:

$$\frac{U_1}{U_{nom}} = \left(\frac{f_1}{f_{nom}}\right)^{1+0,5n} \quad \text{yoki} \quad g = a^{1+0,5n} \quad (4.35)$$

Xususiyl holda «ventilyator» yuklamasida $g = a^2$.

Barcha keltirilgan yuklamalarda dvigatel o'ta yuklanishini nazariy jihatdan o'zgarmas saqlab qoladigan yuritmaning mexanik tavsiflari 4.16- rasmda keltirilgan.

Grafiklardagi punktir chiziqlardan ko'rinib turganidek, kuchlanishni (4.32) formula bo'yicha hisoblab dvigatel o'ta yuklamasini (ayniqsa o'zgarmas statik qarshilik momenti bo'lganda) saqlab bo'lmaydi.

4.16- rasm. CHO'-AD yuritma mexanik tavsiflari: a — o'zgarmas momentda; b — o'zgarmas quvvatda; d — ventilyatorli yuklamada.

Grafiklardagi punktir chiziqlardan ko'rinib turganidek, kuchlanishni (4.32) formula bo'yicha hisoblab dvigatel o'ta yuklamasini (ayniqsa o'zgarmas statik qarshilik momenti bo'lganda) saqlab bo'lmaydi.

Chastotali boshqaruvda o'zgarmas o'ta yuklanishda statorda kuchlanish tushishini kompensatsiyalovchi optimal qonuniyat quyidagi ko'rinishda:

$$\frac{U_{1-l_1 Z_1}}{U_{nom}} = a \sqrt{m} \quad (4.36)$$

Mazkur (4.36) formula bo'yicha hisoblanib qurilgan mexanik tavsiflar 4.16- rasm, a dagi uzluksiz chiziqlar bilan ko'rsatilgan.

O'ta yuklanish o'zgarmas bo'lganda chastotali boshqarishning optimal qonuniyati bilan birga boshqa qonunlar ham qo'llaniladi (mashina magnit oqimi- ning doimiyliigi, isroflarning kamligi va h.k). Bu holda asinxron yuritma quyidagi xususiyatlarga ega bo'ladi:

1. Stator rotor toklari va oqim (po'latdagi isrofdan tashqari) o'zgarmas bo'lib qoladi. Shuning uchun a o'zgarganda mexanik tavsiflar vertikal bo'yicha parallel tarzda siljiydi (4.16- rasm, a).

2. Maksimal oqim bilan ishlayotganda dvigatel mexanik tavsifning ish qismida, tabiiy tavsifga nisbatan ancha qattiqlikka va katta kritik momentga ega bo'ladi.

3. Yuklama kamayganda oqim ortiqcha qiymatga ega bo'ladi, bu esa isroflarning ortishiga va o'zgaruvchan momentda mazkur boshqarish qonunining optimal bo'lmasligiga olib keladi. Eng kam isrof bo'yicha boshqarilganda zarur bo'lgan rotordagi tokni oqimga ko'paytmasiga proporsional bo'lgan momentni hosil qilish, mashinaning qo'zg'atish bilan bog'liq bo'lgan o'zgaruvchan va o'zgarmas isroflar teng bo'lganda amalga oshiriladi. Bunday boshqarish yuritmaning FIK optimalligini, isroflarning esa eng kam bo'lishini ta'minlaydi.

Chastota o'zgartgichlari ko'pincha kuchlanish manbalari tavsifiga emas, balki tok manbasi tavsifiga ega bo'ladi. Bunday tizimda o'zgartgichdan iste'mol etiladigan tok, faqat boshqarish signali bilan aniqlanadi va dvigatelning ishlash rejimiga hamda parametrlariga bog'liq bo'lmaydi.

Chastotali boshqariladigan yopiq tizimlarda tezlikni roslash diapazoni 50 : 1 gacha kengaytiriladi. Chastota-tok va vektorli boshqarish prinsiplarida ishlaydigan asinxron yuritmalarda tezlikni roslash diapazonini 1000 : 1 gacha kengaytirish imkoniyati mavjud. Lekin bu holda statik noustuvorlik rejimi yuzaga kelish ehtimolini hisobga olish zarur.

4.8. SINXRON MASHINALARNING MEXANIK VA BURCHAK TAVSIFLARI

Elektr yuritma tizimlarida sinxron dvigatellar keng qo'llanilmoqda. Bu an'anaviy katta quvvatga ega bo'lgan ayon qutbli ($2p = 4$) va ayonmas qutbli ($2p = 2$) rotorli mashinalar bilan birga maxsus sohalarda ishlaydigan yangi konstruksiyaga ega bo'lgan dvigatellarning paydo bo'lishi bilan bog'liqdir.

Sinxron dvigatellar (SD) ma'danni maydalashda va sement ishlab chiqarishda, katta kompressorlarda va boshqa katta quvvatga ega bo'lgan qurilmalarda hamda elektrlashtirilgan agregatning quvvat koeffitsiyentini oshirish hisobiga sezilarli darajada elektr energiyani iqtisod etishni ta'minlaydigan qurilmalarda ishlatiladi.

Statordagi aktiv qarshilikni hisobga olmay ($r_1 = 0$) quyidagini yozish mumkin:

$$U_1 \cos q = E + I_d X_d; \quad U_1 \sin q = I_d X_d \quad (4.37)$$

$$g = y + q,$$

bu yerda: d va q — ikki fazali umumlashtirilgan elektr mashinasining bo'ylama va ko'ndalang o'q chizig'i; E — sinxron dvigatelning (CD) elektr magnit qo'zg'atish manbasi kuchlanishi; g, y, q — elektr birliklardagi burchak.

Elektrmagnit quvvat uchun quyidagi taxminiy tenglikni olamiz:

$$P \gg mUI \cos g = mU [I_q \cos q - I_d \sin q]. \quad (4.38)$$

(4.37) formuladan I_q va I_d toklarining qiymatini (4.38) ga qo'yib quyidagini aniqlaymiz:

$$P = m \left[\frac{UE \sin q}{X_d} - \frac{U^2 \sin 2q}{2} \left(\frac{1}{X_q} - \frac{1}{X_d} \right) \right]. \quad (4.39)$$

SD ning elektromagnit momenti

$$M = \frac{m}{\omega_0} \left[\frac{UE \sin q}{X_d} - \frac{U^2 \sin 2q}{2} \left(\frac{1}{X_q} - \frac{1}{X_d} \right) \right]. \quad (4.40)$$

(4.40) tenglama shuni ko'rsatadiki, SD ning elektromagnit momenti aktiv va reaktiv tashkil etuvchilardan iborat ekan. Ayon qutbli tizimga ega bo'lgan dvigatellarda reaktiv moment tavsifining ish qismi qiyaligini oshirishga moyillik qiladi.

Har qanday sinxron mashinaning asosiy bog'lanishi statik burchak tavsifi $M = f(q)$ bo'ladi (4.15- rasm).

Lekin shuni ta'kidlash joizki, yuklamaning geometrik burchagi q^1 elektr burchaklar qiymatidan ancha farq qiladi, masalan, $q^1 = q/p$.

Sinxron mashinalar uchun, asinxron mashinalari kabi statik va dinamik ustuvorlik tushunchasi mavjud. Masalan, CD burchak tavsiflari statik ustuvor ($M/q < 0$ bo'lganda) ishlash qismlaridan iborat.

Bu tushunchalar nochiq tizimlarning ustuvor va noustuvor tushunchalariga o'xshash. Haqiqatda (4.17-

4.17- *rasm*. Burchak statik tavsiflari:
 a — ochiq ko'rsatilgan qutbli; b — reaktiv dvigatel.

rasm, b ga qarang) agar 1 nuqtada ishlayotgan yuritma uchun eng kam tashqi ta'sir berilganda burchak $q_1 \pm q$ qiymatga o'g'adi, bunda CD elektr magnit momenti ortib (kamayib) rotorning aylanishini tezlatadi (sekinlatadi) va burchak q ni q_1 holatga qaytaradi. Shu jarayonlarni 2 nuqtada qaraganda q_2 burchak dvigatel o'zining burchak tavsifidagi 1 nuqtadan o'tgunga qadar ortishini ko'ramiz. Bundan ko'rinib turibdiki CD uchun ustuvor ishlash yuklama burchagining $-p/2 < q < p/2$ oralig'ida bo'lishi mumkin. Sinxron mashinaning nominal momentini odatda $M_{\max}$ ning yarmiga teng, deb qabul qilinadi, shuning uchun $l_m \gg 2$ ga teng bo'ladi.

Savol va topshiriqlar

1. Asinxron dvigatel mexanik tavsifining tenglamasi qanday ko'rinishga ega?
2. Kritik sirpanish va kritik moment deganda nimani tushunasiz? Ularning tenglamasini yozing.
3. Statorga berilayotgan kuchlanish o'zgartirilsa, asinxron dvigatelning mexanik tavsiflari qanday ko'rinishga ega bo'ladi?
4. Stator zanjiriga aktiv va induktiv qarshilik kiritilganda mexanik tavsif qanday ko'rinishga ega bo'ladi?
5. Rotor zanjiriga qo'shimcha qarshilik kiritilgandagi mexanik tavsiflarni chizing.
6. Rotor zanjiriga aktiv va induktiv qarshiliklarni ulash sxemasini tagvirlab bering.

7. Rotorga aktiv va induktiv qarshilik kiritilib dvigatelni ishga tushirayotganda statordagi elektrmagnit moment va tok qanday o'zgaradi?
8. Asinxron dvigatelni tormozlashning qanday usullarini bilasiz?
9. Energiyani tarmoqqa qaytarib tormozlashni tushuntirib bering. Tormozlashning mazkur usulida asinxron dvigatelning mexanik tavsiflari qanday ko'rinishda bo'ladi?
10. Asinxron dvigatel o'qida aktiv va reaktiv statik moment bo'lganda teskari ulab tormozlash sxemasini va mexanik tavsiflarini chizib ko'rsating.
11. Asinxron dvigatelni dinamik tormozlashda stator chulg'amlari qanday ulanadi?
12. Dinamik tormozlashdagi mexanik tavsiflarni chizib ko'rsating.
13. Asinxron dvigatel tezligini rostlash usullarini tushuntirib bering.
14. Chastota o'zgartgichlarining funksional sxemasini chizib ko'rsating.
15. Sinxron dvigatel mexanik tavsifini chizing.

V bob. ELEKTR YURITMALARNING PARAMETRLARI VA TUZILISH SXEMALARI

5.1. INERSIYA MOMENTI VA ELEKTR MEXANIK VAQT DOIMIYLIGI

Zamonaviy elektr yuritma murakkab elektromexanik tizim bo'lib, bunda ishlash rejimini o'zgarishi fizika qonunlari asosida turli jarayonlarda kechadi. Bu jarayonlar dvigatelni qizishga va natijada uning parametrlarini o'zgarishga olib keladi.

O'tkinchi jarayonlarni to'la tahlil etish ancha murakkab masala bo'lib, uni yechishda tizimning tavsiflari va bog'lanishlarning noxizirligi masalani yanada murakkablashtiradi. Amalda o'tkinchi jarayonlarni tadqiq etishda dinamikaga kamroq ta'sir etadigan ikkilamchi omillar hisobga olinmasa, masala ancha soddalashadi. Bu holatda tavsiflarni chiziqilashtirish va parametrlarni o'zgarimas deb qabul qilish mumkin.

Krivoship-shatunli mexanizmlar, robotlarda, elektr mashina magnit zanjirining to'yinish zonasida ishlayotganda va h.k. hollarda parametrlari o'zgarishi mumkin.

Mazkur bobda elektr yuritmalarda mexanik va elektrmagnit jarayonlarning kechishini belgilaydigan asosiy parametrlar ko'rib chiqiladi. Bu birinchi navbatda, yuritmaning inersiya momenti, konturlar va chulg'amlarning aktiv va induktiv qarshiliklaridir.

Elektr mashina qurilmasining *inersiya momenti* uni o'tkinchi jarayonlarda o'zini tutishini ko'rsatadigan asosiy parametrlaridan biridir. Ayrim aylanuvchi detallarning inersiya momentini ularning geometrik o'lchovlari orqali aniqlash mumkin. Lekin bu ancha murakkab usul hisoblanadi. Elektr dvigatel rotor uchun bu usulni qo'llab bo'lmaydi. Chunki rotor murakkab shaklga ega bo'lgan elementlardan va turli xil materiallardan tashkil topgan. Shuning uchun inersiya momenti tajriba yo'li bilan aniqlanadi va kataloglarda keltiriladi. Inersiya momentini salt yurish isroflari va o'z-o'zidan to'xtash egri chizig'i bo'yicha aniqlash mumkin. Buning uchun salt yurishda dvigatel ma'lum tezlikkacha chiqarib o'chirib qo'yiladi va ossillograf yordamida $w = f(t)$ egri chizig'i olinadi. Shundan so'ng salt yurish isrofi tezlikning turlicha qiymatlari uchun aniqlanadi va $M_{s.yu.} = f(w)$ egri chizig'i quriladi.

Yakor zanjirini o'chirib qo'yib tormozlash rejimida harakat tenglamasini quyidagicha yozish mumkin:

$$M_{s.y.} = Jdw/dt,$$

bu yerdan:

$$J = -M_{s.y.}/dw/dt. \quad (5.1)$$

Tizimning inersiya momenti elektr yuritma dinamikasiga katta ta'sir ko'rsatadi va harakat tenglamasiga kiruvchi elektr mexanik vaqt doimiysini aniqlaydi:

$$M_d - M_q = J \cdot dw/dt. \quad (5.2)$$

Dvigatel momentini tezlikning chiziqli funksiyasi deb qabul etib, quyidagini olamiz:

$$M_{q.t.-cw} - M_c = J \cdot dw/dt. \quad (5.3)$$

bu yerda: $M_{q.t.}$ — rotor qo'zg'almay turgandagi moment yoki qisqa tutashish momenti; M_q — qarshilik momenti (statik moment) bu yerdan:

$$T_m \cdot dw/dt + w = (M_{q.t.} - M_q), \quad (5.4)$$

bu yerda: $T_m = J/c$ — elektromexanik vaqt doimiysi $c = M_{q.t.}/w_0$ — koeffitsiyent; w_0 — salt yurish tezligi.

Mustaqil qo'zg'atishli o'zgarmas tok dvigateli uchun

$$M_{q.t.E} = K_m \cdot I_{q.t.} = K_m \cdot U/r_{ya.z},$$

bu yerda: K_m — moment M va tok I orasidagi bog'liqlik koeffitsiyenti; $r_{ya.z.}$ — yakor zanjirining qarshiligi.

Bu yerdan

$$C = K_m \cdot U/(r_{ya.z.} \cdot w_0) = K_E \cdot K_m/r_{ya.z.} \quad (5.5)$$

Bundan kelib chiqadiki,

$$T_m = J \cdot r_{y.z.}/(K_E \cdot K_m). \quad (5.6)$$

Shunday qilib, elektromexanik vaqt doimiysi nafaqat inersiya momenti, balki yakor zanjiri qarshiligi bilan ham aniqlanadi va uning ortishi bilan vaqt doimiysi ham ortadi.

Vaqt doimiysi T_m ning ifodasiga K_E va K_m koeffitsiyentlari ham kirganligi uchun u mashinaning konstruktiv xususiyatlariga ham bog'liqdir.

5.2. O'ZGARMAS TOK MASHINALARI CHULG'AMLARINING INDUKTIVLIGI VA ELEKTRMAGNIT VAQT DOIMIYLIGI

Elektr zanjirlarining qarshiligi va ularning induktivligi elektrmagnit jarayonlarning xarakterini va o'tish vaqtini belgilaydi. Ma'lum haroratga (odatda 15°C da) keltirilgan chulg'am qarshiliklari kataloglarda beriladi. Oddiy hisoblashlarda qarshilikni dvigatel ishlayotgan haroratga keltirish mumkin:

$$r_x = r_{15^\circ\text{C}}(1 + \alpha t)$$

bu yerda: α — elektr qarshiligining issiqlik koeffitsiyenti, u mis uchun 0,004 ga teng; harorat farqi $t = J_x - 15$.

Shuni hisobga olish kerakki, yakor zanjiri qarshiligi sifatida nafaqat chulg'amlar qarshiligini, balki barcha bog'lovchi kabellar qarshiligini tushunish kerak. Bundan tashqari ekvivalent qarshilikni o'zgartgichdagi kommutatsion hodisalar va dvigatel cho'tkasi kontaktidagi kuchlanish tushishi hisobiga ortishini e'tiborga olish kerak.

Po'lat o'zaklarda joylashgan chulg'amlarning induktivligini aniqlash ancha murakkab. Ular, birinchidan, noxiziq zveno bo'lsa, ikkinchidan bitta magnit zanjiri bilan, ayniqsa o'zgaruvchan tok mashinalarida, bir nechta chulg'amlarga bog'liq. Shuning uchun nafaqat sochilish induktivligini, balki chulg'amlar orasidagi o'zaro induktivlikni ham qarab chiqish kerak. Hisoblarda bundan tashqari magnit zanjirining to'yinishini ham e'tiborga olish kerak.

O'zgarmas tok mashinasi yakor chulg'amining induktivligi Umanskiyning empirik formulasi orqali aniqlanadi:

$$L_{ya} = b \cdot U_{nom} / (p \cdot w_{nom} \cdot I_{nom}), \quad (5.7)$$

bu yerda: U_{nom} , I_{nom} , w_{nom} — kuchlanish, tok va tezlikning nominal qiymatlari; p — mashinaning juft qutblar soni; $p \cdot w_{nom}$ — yakor chulg'ami tokining chastotasi.

Koeffitsiyent b ni yakor reaksiyasini kompensatsiyalovchi chulg'ami bo'lgan katta mashinalar uchun 0,25, kompensatsiyalovchi chulg'ami bo'lmagan kichik mashinalar uchun esa 0,6 deb qabul qilinadi.

Yakorning induktivligi va aktiv qarshiligi qiymatlari bo'yicha dvigatelning elektrmagnit vaqt doimiysi aniqlanadi, ya'ni:

$$T_{ya} = L_{ya} / r_{ya}. \quad (5.8)$$

Qo'zg'atish chulg'ami induktivligi tabiiy ravishda qo'zg'atish toki funksiyasi bo'lib, to'yinishga bog'liq ravishda bir necha marta o'zgaradi. Qo'zg'atish

chulg'aming induktivligini aniqlash uchun mashinaning magnitlovchi egri chizig'i yoki generator rejimida salt yurish tavsifidan foydalaniladi.

Juft qutblarda $2p$ da joylashgan barcha qo'zg'atish chulg'ami uchun:

$$L_q = 2p_p w_n dF_n / di_q. \quad (5.9)$$

bu yerda: $2p_p$ — mashinaning qutblar soni; w_n — bitta qutbdagi o'ramlar soni; F_n — qutbni kesib o'tadigan magnit oqimi.

Shuni e'tiborga olish kerakki, o'tkinchi jarayonlarni EHMda hisoblayotganda magnit oqimining tokka bog'liqligidan foydalanish kerak, qo'zg'atish zanjiri uchun:

$$U_q = i_q r_q + w_q \bullet dF_n / dt. \quad (5.10)$$

5.3. O'ZGARMAS TOK ELEKTR YURITMALARINING UZATISH FUNKSIYALARI VA TUZILISH SXEMALARI

Chastota va uzatish funksiyasidan foydalanish usullari asosan chiziqli tavsifga ega bo'lgan tizimlar uchun qo'llaniladi. Bunday tizimlarga birinchi navbatda mustaqil qo'zg'atishli o'zgarmas tok dvigatelli yuritmalar kiradi.

Mustaqil qo'zg'atishli o'zgarmas tok dvigatelli elektr yuritma dinamikasining tahlili natijasida ikkita tenglama — yakor zanjiridagi EYK ning muvozanat tenglamasi va harakat tenglamasini quyidagicha yozish mumkin:

$$\left. \begin{aligned} U &= E + I r_{ya} + L_{ya} \frac{dI}{dt}; \\ M_{\delta} - M_k &= J \frac{d\omega}{dt}. \end{aligned} \right\} \quad (5.11)$$

Bu holatda magnit oqimi va statik momentni (qarshilik momenti) o'zgarmas deb qabul qilamiz, ya'ni $F = \text{const}$ va $M_q = \text{const}$. Mos ravishda quyidagilarni qabul qilamiz: $E = K_E \omega$, $M_a = K_m I$, $M_q = K_m I_c$.

Keltirilgan tenglamalarda E — yakor EYK, r_y va L_y — yakor zanjiri parametrlari, I_q — statik yuklamaga mos keladigan tok.

(5.11) tenglama, tabiiyki, faqat elektr yuritma holatini taxminiy ifodalaydi. Aslida esa yakor reaksiyasi, kommutatsiyalovchi seksiyalardagi toklar va boshqalar hisobiga qo'shimcha bog'lanishlar ham kuzatiladi.

Amaliy hollarda (5.11) tenglama bilan ifodalangan matematik model ham qo'llanishi mumkin. (5.11) tenglamani quyidagi ko'rinishda ifodalash ham mumkin:

$$U-E = (r_{ya} + I_{ya}p) \cdot I; \quad I = (J/K_M) \cdot p\omega + I_q \quad (5.12)$$

Birinchi tenglikdan quyidagi kelib chiqadi:

$$I r_{ya} = (U-E)/(1 + T_{ya}p)$$

bu yerda: $T_{ya} = L_{ya}/r_{ya}$ — demak, tizim kirishida dvigatel EYK va kuchlanishi orasidagi farqni ko'rsatuvchi differensial zveno bo'lsa, u holda vaqt doimiyligi T_{ya} bo'lgan inersion zvenodan keyin yakor zanjiridagi kuchlanish tushishiga mos kuchlanish olamiz. Yuklama toki I_q bilan aniqlanadigan kuchlanish tushishini hisobga olmagan holda, (5.12) ifodadagi ikkinchi tenglikka muvofiq quyidagicha yozamiz:

$$I r_{ya} - I_q r_{ya} = (J r_{ya}/K_M) \cdot p \cdot \omega \quad \text{yoki}$$

$$I r_{ya} - I_q r_{ya} = (J r_{ya} K_E \cdot K_M) \cdot p E,$$

bu yerda: $J r_{ya}/(K_E \cdot K_M) = T_M$ — elektromexanik vaqt doimiyligi.

Shundan so'ng quyidagini olamiz:

$$E = (I r_{ya} - I_q r_{ya})/(T_M p).$$

Shunday qilib, uzatish ko'effitsiyenti $1/T_M$ bo'lgan integrallovchi zvenoning chiqishida dvigatel EYK ga teng bo'lgan kuchlanish olamiz. Endi bu kuchlanishni tizimning kirishiga berishimiz mumkin. Natijada mustaqil qo'zg'atishli o'zgarmas tok dvigatelining tuzilish sxemasiga ega bo'lamiz: (5.1- rasm)

Tizim chiqishida dvigatel aylanish tezligini olish uchun, ketma-ket uzatish funksiyasi $1/K_E$ bo'lgan inersiyasiz zveno ulaymiz. Tashqi ta'sir M_q ham uzatish funksiyasi r_{ya}/K_M bo'lgan inersiyasiz zveno orqali kiritilgan. Uning chiqishida esa I_q toki bilan belgilanadigan kuchlanish tushishini olamiz.

5.1- rasm. Mustaqil qo'zg'atishli o'zgarmas tok dvigatelining tezlikni mo'tadillash tizimidagi tuzilish sxemasi.

Keltirilgan tuzilish sxemasi tezlikni boshqarish uchun mo'ljallangan elektromexanik tizimlarni tadqiq etishda foydalaniladi.

Ushbu tuzilish sxemasi mustaqil qo'zg'atishli o'zgarmas tok dvigateli uchun uzatish funksiyasini yozishga imkon beradi:

$$W_{\partial}(p) = \frac{w}{U}(p) = \frac{\frac{1}{1+T_{ya}p} \cdot \frac{1}{T_M p}}{1 + \frac{1}{1+T_{ya}p} \cdot \frac{1}{T_M p}} \cdot \frac{1}{K_E} = \frac{K_{\partial}}{T_{ya}T_M p^2 + T_M p + 1}, \quad (5.13)$$

bu yerda: $K_{\mathbb{I}} = 1/K_E$ — dvigatelning uzatish koeffitsiyenti.

Elektromexanik tizimlarining dinamikasini tadqiq etishda uzatish funksiyasiga qisqartishlar kiritiladi. Masalan, ko'pincha elektromagnit vaqt doimiysidan ancha kam bo'lganligi ($T_{ya} < T_M$) uchun uni hisobga olmasa ham bo'ladi, natijada quyidagini olamiz:

$$W_d(p) = 1/(1 + T_M p).$$

Bundan tashqari tizimni ishlab chiqayotganda rostlagichlarni sintezlashni soddalashtirish maqsadida dvigatel EYK ta'siri hisobga olinmaydi. Masalan, bo'ysinuvchan tizimlarni sintez qilayotganda xuddi shunday yo'l tutiladi. Bunda teskari bog'lanish zanjiri uzilganday bo'lib, uzatish funksiyasi quyidagi ko'rinishga ega bo'ladi:

$$W_{\mathbb{I}}(p) = K_d/[T_M p (1 + T_{ya} p)]. \quad (5.14)$$

Tashqi ta'sir M_q ning ta'sirini tadqiq etayotganda uzatish funksiyasi quyidagi ko'rinishda yoziladi $W_{\mathbb{I}}(p) = w/M_q(p)$.

Mos ravishda tizim kirishiga statik qarshilik momenti M_q berilib, tuzilish sxemasi quyidagi ko'rinishga keltiriladi (5.2- rasm):

$$W_D(p) = \frac{w}{M_k} = \frac{\frac{1}{T_M p} \cdot \frac{r_{ya}}{K_E K_M}}{1 + \frac{1}{T_M p} \cdot \frac{1}{1+T_{ya}p}} = \frac{K_{\partial}(1+T_{ya}p)}{1+T_M p(1+T_{ya}p)}, \quad (5.15)$$

bu yerda: $K_d^* = r_{ya}/K_E K_M$.

5.2- rasm. Mustaqil qo'zg'atishli o'zgarmas tok dvigatelining tashqi ta'sir uchun tuzilish sxemasi.

5.4. ASINXRON DVIGATELLI ELEKTR YURITMALARNING UZATISH FUNKSIYALARI VA TUZILISH SXEMALARI

O'zgaruvchan tok elektr yuritmalarining dinamikasini to'liqligicha tadqiq etish juda murakkab masaladir. Bu murakkablik ikkita sababga bog'liq: birinchidan, bu elektromagnit jarayonlarning murakkabligi bo'lsa, bu tizim tenglamasiga kiradigan parametr va vaqt doimiylarining bir necha o'zaro bog'langan konturlarga tegishli bo'lganida, ikkinchidan, tavsiflarning noxiziqligidadir. Shu bois, elektrmagnit jarayonlar kamdan-kam holatlarda tahlil qilinadi.

Asosan o'zgaruvchan tok yuritmasi dinamikasini tatbiq qilayotganda elektrmagnit hodisalar hisobga olinmay, faqat mexanik jarayonlar ko'riladi. Mexanik jarayonlarni tahlil etishda ham soddalashtirish qo'llaniladi. Bu asosan mexanik tavsifning ish bo'laklarini chiziqlashtirish bilan bog'liq. Bu holda asinxron dvigatelning uzatish funksiyasi aperiodik zveno holida yozilishi mumkin, ya'ni

$$W_{\text{q}}(p) = K_{\text{q}}/(1 + T_{\text{M}}r), \quad (5.16)$$

bu yerda: T_{M} — mexanik tavsifning tanlangan chiziqlashtirilayotgan bo'lagiga mos keladigan elektromexanik vaqt doimiysi, $T_{\text{M}} = Jw_{\text{s.yu.}}/M_{\text{q.t.}}$, $w_{\text{s.yu.}}$ — tanlangan tavsifdagi salt yurish tezligi; $M_{\text{q.t.}}$ — ishga tushirish momenti (qisqa tutashuv momenti).

Fizik jihatdan T_{M} dvigatelni ishga tushirish momentiga teng bo'lgan o'zgarmas moment bilan yuklama statik momenti mavjud bo'lmaganda salt yurish tezligigacha ko'tarilish vaqtidir. Shuni hisobga olish kerakki, bir tavsifdan ikkinchi tavsifga o'tayotganda vaqt doimiysi o'zgaradi. Chunki $w_{\text{s.yu.}}/M_{\text{q.t.}}$ nisbat bilan belgilanadigan tavsifning qiyaligi o'zgaradi.

Asinxron dvigatelli elektr yuritmalarda mexanik o'tkinchi jarayon Kloss tenglamasi bilan ifodalanadigan noxiziq mexanik tavsiflardan foydalanib hisoblanadi. Natijada $t = f(w)$ yoki $t = f(s)$ bog'lanishlarini yozamiz.

Ko'pincha chastotali boshqariladigan yuritmalar uchun elektromexanik o'tkinchi jarayonlarni hisoblash zaruriyati tug'iladi. Hisoblashlarga eng kamida to'rtta tenglama asos qilib olinadi. Bulardan ikkitasi stator yoki rotor toklari uchun, ikkitasi esa oqim ilashishi uchun.

Asinxron dvigatel tenglamasiga quyidagi o'zgaruvchilar kiradi: U_{c} , U_{p} kuchlanishlar, I_{c} , I_{p} toklar va y_{c} , y_{p} oqim ilashishi, ulardan ikkitasi asosiy, deb qabul qilinadi.

Asos uchun stator yoki rotor oqim ilashishini va stator toki olinganda ishlash uchun qulay bo'lgan sxema uziladi. y_{c} ga yo'naltirilgan tenglamalar tizimi quyidagi ko'rinishda bo'ladi:

$$p y + I_1 r_{\text{c}} = U_1; \quad w_0 y + I_2 r_{\text{c}} = U_2;$$

$$I_1 = \frac{T_p^1}{T_c(1+T_p^1\rho)} \left[\frac{1+T_p^1\rho}{T_p^1} \cdot \frac{y}{r_c} + T_c(w_0 - w)I_2 \right];$$

5.3- *rasm*. Asinxron dvigatelning tuzilish sxemasi.

U_{s1} va U_{s2} ikki fazali mashinaning stator kuchlanishi; I_{s1} va I_{s2} stator toklari r_c , L_c va r_p , L_p — mos ravishda stator va rotor chulgʻamlarining parametrlari; L_m — magnitlovchi kontur induktivligi; y_c — stator oqimining ilashishi; w_0 — magnit maydonining aylanish tezligi; P_p — dvigatel qutblar soni.

$$I_2 = \frac{T_p^1}{T_c(1+T_p^1\rho)} \cdot \frac{w_0 - w}{r_c} (y - T_c I_1 r_c);$$

$$M_\partial = \frac{mp_n}{2} y I_2 = Jp w - M_c;$$

$$T_c = L_c / r_c \quad T_p^1 = L_p^1 / r_p \quad L_p^1 = L_p - (L_m^2 / L_c).$$

Bu tenglamalarga mos keladigan tuzilish sxemasi 5.3- rasmda keltirilgan. Baza qiymatlari asinxron dvigatelning rejimiga qarab tanlanadi.

Savol va topshiriqlar

1. Dvigatelning inersiya momenti nimalarga bog'liq?
2. Elektr yuritmaning inersiya momenti qanday aniqlanadi?
3. Elektr yuritmaning harakat tenglamasini yozing.
4. Elektr yuritmaning dinamik momenti qanday aniqlanadi?
5. Elektromexanik vaqt doimiyligi nima va u qanday aniqlanadi?
6. Elektr mashina yakorining induktivligi qanday aniqlanadi?
7. Elektromagnit vaqt doimiyligi nima va u qanday aniqlanadi?
8. Yakor zanjiridagi EYKlar muvozanati tenglamasi qanday tashkil etuvchilardan iborat?
9. O'zgarmas tok dvigatelining tuzilish sxemasini tasvirlab bering.
10. O'zgarmas tok dvigatelining uzatish funksiyasini yozing.
11. Asinxron dvigatelning elektromexanik vaqt doimiyligi ifodasini yozib bering.
12. Asinxron dvigatelning tuzilish sxemasini tasvirlab bering.

VI bob. ELEKTROMEXANIK TIZIMLAR DINAMIKASI

6.1. ELEKTROMEXANIK TIZIMLARDAGI O'TKINCHI JARAYONLAR

Zamonaviy ishlab chiqarishda elektromexanik qurilmalar vositasida ishchi mashinalari samarali boshqariladi. Bunda mexanizmning ish organida kerakli tezlik va tezlanishlarni ta'minlashni, kuchlarni cheklashni hamda mo'tadillashni talab qiladigan rejim elektr yuritma bloklariga dasturlash qurilmasi orqali yoki operator vositasida beriladigan buyruqlar hisobiga ta'minlanadi. Bir rejimdan boshqasiga o'tish boshqarish ta'sirini o'zgartirish hisobiga amalga oshiriladi.

Shuni qayd etish kerakki, zamonaviy elektr yuritma ko'pincha o'tkinchi rejimda ishlaydi. Bunda jarayonlarning xarakteri, davomiyligi, tezlanishlar, momentlarning yuqori qiymatlari va boshqa omillar texnologik jarayonga sezilarli ta'sir ko'rsatadi. Ko'p hollarda ish mashinalari unumdorligini oshirish uchun ishga tushirishda eng kam o'tkinchi jarayon vaqti va eng kam tormozlash vaqti talab qilinadi. Bu vaqt ichida texnologik jarayon to'xtagan yoki sekin o'tayotgan bo'ladi. Lekin jarayonlarni tezlashtirish tebranishlarning kattalashuviga, joiz tok va momentlarning cho'qqilari paydo bo'lishiga olib keladi.

Elektr yuritma dinamikasini tahlil etayotganda, hatto oddiy holatlarda ham mexanik inersiyani hisobga olish kerak. Agarda barcha massalar dvigatel o'qiga keltirilsa, ya'ni bitta massali tizim ko'rilsa, u holda bu tizim birinchi darajali differensial tenglama bilan, ya'ni harakat tenglamasi deb ataladigan tenglama bilan ifodalanadi.

Hozirda barcha ishlab chiqarish jarayonlarini jadallashtirish munosabati bilan, ko'pincha dinamikani tahlil etayotganda elektrmagnit hodisalarni, ya'ni zvenolar-ni elektrmagnit inersiyasini hisobga olish zarur. Masalan, mustaqil qo'zg'atishli o'zgarmas tok dvigatelli yuritmada, agar boshqarish yakor zanjiri orqali amalga oshirilayotgan bo'lsa, faqat yakor vaqt doimiysini hisobga olish kerak. Murakkab tizimlarda esa bir nechta vaqt doimiylarini hisobga olish zarur.

Chiziqli xususiyatga ega bo'lgan tizimlarni tadqiq etish, odatda, chuqur ishlab chiqilgan chiziqli differensial tenglamalar nazariyasi bo'yicha amalga oshiriladi. Bu holda barcha yechimlar tahlil qilishga qulay bo'lgan analitik shaklda olinib, bunda har bir parametr va vaqt doimiysining dinamikaga ta'sirini ko'rish mumkin. Bu esa parametrlarni bir necha bor o'zgartirish bilan amalga oshiriladi.

6.2. ELEKTR YURITMALARNING MEXANIK O'TKINCHI JARAYONLARI

Avval eng oddiy tizim variantini ko'rib chiqamiz, bu tizim uchun $M_q = \text{const}$ va $J = \text{const}$. barcha mexanik bog'lanishlarni qattiq, deb hisoblaymiz.

Bunday shartlarda tizimning dinamikasi bitta momentlar muvozanati tenglamasi bilan ifodalanadi:

$$M_d - M_q = J \cdot dw/dt.$$

Mexanik tavsifni to'g'ri chiziq deb qarab, quyidagini yozish mumkin:

$$w = w_0 \cdot (1 - M_d/M_{q.t.}), \quad (6.1)$$

bu yerda: $M_{q.t.}$ — dvigatelning rotorini qo'zg'almas bo'lgandagi qisqa tutashish momenti, bu yerdan

$$M_d = M_{q.t.} \cdot (1 - w/w_0). \quad (6.2)$$

Harakat tenglamasiga (6.2) ni qo'yib, quyidagini olamiz:

$$J \cdot dw/dt + M_{q.t.} \cdot w/w_0 = M_{q.t.} - M_q. \quad (6.3)$$

Qisqa tutashish momenti mustaqil qo'zg'atishli o'zgaras tok mashinalarida yakorga qo'yilgan kuchlanishga, o'zgaruvchan tok mashinalarida esa kuchlanish kvadratiga proporsional bo'ladi. Shuning uchun tenglamaning birinchi qismi qisqa boshqarish ta'sirini, ikkinchisi esa tashqi ta'sirni ko'rsatadi.

$M_{q.t.}/w_0 = c$ dvigatel mexanik tavsifi qattiqligini belgilovchi burchak koeffitsiyentidir. Shuning uchun quyidagini yozish mumkin:

$$J \cdot dw/dt + cw = M_{q.t.} - M_q. \quad (6.4)$$

Tenglamani c ga bo'lib, quyidagini olamiz:

$$J/c \cdot dw/dt + w = w_0 - (1/c) \cdot M_q. \quad (6.5)$$

Quyidagi belgilashlarni kiritamiz: $K_c = 1/c$ va $J/c = T_M$, bu yerda T_M — elektromexanik vaqt doimiysi

$$T_M \cdot dw/dt + w = w_0 - K_c \cdot M_q. \quad (6.6)$$

T_M ni moment va tezlikning nominal qiymatlari orqali ifodalash ham mumkin

$$C = \frac{M_{q.t.}}{w_0} = \frac{M_{nom}}{w_0 - w_{nom}} = \frac{M_{nom} w_0}{(w_0 - w_{nom}) w_0} = \frac{M_{nom}}{w_0 S_{nom}},$$

bu yerda:

$$T_M = J \cdot w_0 S_{nom} / M_{nom}. \quad (6.7)$$

bu yerda: S_{nom} — nominal sirpanish.

Mustaqil qo'zg'atishli o'zgaras tok mashinasi uchun elektromexanik vaqt doimiysi ifodasiga yuritma parametrlari va dvigatelning konstruktiv koeffitsiyentlarini kiritish ham mumkin. Bu holda

$$c = M_{q.t.}/w_0 = K_E \cdot K_M \cdot I_{q.t.}/U = K_E \cdot K_M / r, \quad (6.8)$$

bu yerda: r — yakor zanjiri qarshiligi.

$$T_M = J \cdot r / (K_E \cdot K_M). \quad (6.9)$$

Elektromexanik vaqt doimiysi ifodasiga ko'ra, u inersiya momenti va yakor zanjiri qarshiligiga bog'liq bo'ladi.

O'zgaras tok mashinasi uchun (6.8) ni hisobga olgan holda

$$K_s M_q = M_q / C = K_M \cdot I_q \cdot r / (K_E \cdot K_M) = D w_q. \quad (6.10)$$

Bu tezlikni statik qarshilik momenti M_q va unga mos keladigan qarshilik toki I_q ta'siri ostida pasayishini ko'rsatadi. Shunday qilib, (6.6) ifodani quyidagi ko'rinishga keltirish mumkin.

$$T_M \cdot \frac{dw}{dt} + w = w_0 - D w_q \quad (6.11)$$

yoki

$$T_M \cdot \frac{dw}{dt} + w = w_q \quad (6.12)$$

mos ravishda xarakteristik tenglama quyidagi ko'rinishga ega:

$$T_M p + 1 = 0, \quad (6.13)$$

uning ildizi $p = -1/T_M$. Tezlik uchun o'tkinchi jarayonda ifoda quyidagi ko'rinishda yozilishi mumkin

$$w = A e^{-t/T_M} + w_q.$$

Umumiy holda quyidagi ko'rinishda yozilgan boshlang'ich shartlar uchun $t = t_0$ bo'lganda $w = w_{\text{bosh}}$, $A = w_{\text{bosh}} - w_0$ ni olamiz, bu yerdan

$$w = w_q (1 - e^{-t/T_M}) + w_{\text{bosh}} \cdot e^{-t/T_M}. \quad (6.14)$$

O'tkinchi jarayonda dvigatel momenti ifodasini yozish uchun (6.14) ni (6.12) formulaga qo'yamiz

$$M_d = M_{q.t} \left[1 - \frac{w_q}{w_0} (1 - e^{-t/T_M}) - \frac{w_{bosh}}{w_0} e^{-t/T_M} \right]. \quad (6.15)$$

$M_{q.t.}/w_0 = c$ mexanik tavsifning burchak koeffitsiyenti bo'lganligi uchun

$$M_d = M_{q.t.} - cw_q(1 - e^{-t/T_M}) - cw_{bosh}e^{-t/T_M}$$

yoki

$$M_d = M_{q.t.} - (M_{q.t.} - M_q)(1 - e^{-t/T_M}) - (M_{q.t.} - M_{bosh})e^{-t/T_M}, \quad (6.16)$$

bu yerdan

$$M_d = M_q(1 - e^{-t/T_M}) + M_{bosh}e^{-t/T_M}. \quad (6.17)$$

Mustaqil qo'zg'atishli o'zgarmas tok dvigateli uchun $M_D = K_m I$ ni e'tiborga olgan holda yakor tokini quyidagicha yozish mumkin:

$$I = I_q(1 - e^{-t/T_M}) + I_{bosh}e^{-t/T_M}, \quad (6.18)$$

Dvigatelni ishga tushirishdagi tok va tezlik grafiklari 6.1- rasmda, yuklama tushgandagi grafiklar esa 6.2- rasmda keltirilgan. Shunga o'xshash grafiklarni (6.14), (6.17), (6.18) tenglamalar bo'yicha tormozlash va reverslash

6.1- rasm. $M_q = \text{const}$, $M_q = kw$ va $M_q = kw^2$ bo'lgandagi o'tkinchi jarayon grafiklari.

jarayonlari uchun ham olish mumkin. Ular w_{bosh} , I_{bosh} , M_{bosh} — boshlang'ich shartlari bilan farqlanadi. Reverslash jarayonida tezlik nol qiymatga erishganda uzilish sodir bo'ladi. Chunki statik (qarshilik) momenti reaktiv bo'lsa, o'z ishorasini sakrab o'zgartiradi.

6.2- rasm. Yuklama berilganda moment va tezlikning o'zgarish grafiklari.

Shuning uchun barcha jarayonni ikki bosqichga bo'lish mumkin. Boshlang'ich tezlikdan to'xtagunga qadar va nol tezlikdan (to'xtagandan) teskari tomonga aylanuvchi yangi turg'un tezlikkacha bo'lgan bosqich. Qarshilik (statik) moment aktiv bo'lganda, uning ishorasi o'zgarmaydi va barcha jarayon bitta tenglama bilan aniqlanadi.

Shunga o'xshash bog'lanishlar $M_q = M_0 + Kw$ bo'lgan holat uchun ham olinishi mumkin. Bunda harakat tenglamasi quyidagi ko'rinishga ega bo'ladi:

$$M_d - M_0 - Kw = J \cdot dw/dt,$$

yoki

$$J \cdot dw/dt + M_{q.t.} \cdot w/w_0 + Kw = M_{q.t.} - M_0. \quad (6.19)$$

$M_{q.t.}/w = c$ deb belgilasak, u holda

$$J \cdot dw/dt + (c + K) \cdot w = M_{q.t.} - M_0, \quad (6.20)$$

yoki $c\ddot{w} + K = c$ deb belgilab, quyidagi ifodaga ega bo'lamiz:

$$J \cdot dw/dt + c\ddot{w} = M_{q.t.} - M_0. \quad (6.21)$$

Olingan bu ifoda (6.4) ga o'xshash bo'lib, tezlik, moment va tok uchun tenglamalar oxirgi ko'rinishda quyidagicha yoziladi:

$$w = w_T (1 - e^{-t/T_M^{\ddot{w}}}) + e^{-t/T_M^{\ddot{w}}}, \quad (6.22)$$

$$M = M_T (1 - e^{-t/T_M^{\ddot{M}}}) + M_{bosh} e^{-t/T_M^{\ddot{M}}}, \quad (6.23)$$

$$I = I_T (1 - e^{-t/T_M^{\ddot{I}}}) + I_{bosh} e^{-t/T_M^{\ddot{I}}}. \quad (6.24)$$

Bu yerda farq vaqt doimiysi $T_M^{\ddot{w}} = J/c\ddot{w}$ va w_T , tezlik I_T tok va M_T momentlarning turg'un qiymatlaridadir. Momentning o'rnatilgan qiymati mexanik tavsif bilan statik moment chizig'i kesishgan nuqtasi bilan aniqlanadi (6.3- rasm). Bu holda elektromexanik vaqt doimiysini quyidagicha yozish mumkin:

$$T_M^1 = \frac{J}{C^1} = \frac{J}{C+K} = \frac{J}{\frac{M_{q.t.}}{w_0} + \frac{M_T - M_0}{w_T}}.$$

6.3- rasm. Statik momentlar turlicha bo'lgan holat uchun mexanik travsifdagi ish nuqtalari.

6.3- rasmga muvofiq $M_{q.t.}/w = M_t/(w_0 - w_t)$ bo'lgani uchun quyidagini olamiz:

$$T_M^1 = \frac{J}{\frac{M_{q.t.}}{w_0} + \frac{M_T - M_0}{w_T}} = \frac{J w_T (w_0 - w_T)}{M_T w_0 - M_0 (w_0 - w_T)} = \frac{J w_T S_T}{M_T w_0 - S_T}, \quad (6.25)$$

bu yerda:

$$S_T = (w_0 - w)/w_0.$$

Xususiyl hollarni ko'rib chiqamiz. Tezlikka proporsional bo'lgan statik momentning tashkil etuvchisi bo'lmagan, ya'ni $M_t = M_0$ da

oldingi olingan natijaga kelamiz. Agarda doimiy tashkil etuvchi bo'lmasa, ya'ni $M_0 = 0$ bo'lsa, u holda

$$T_M^1 = J w_t S_t / M_t,$$

bu yerda: $w_T = w_{T0}$ T_M va T_M^1 vaqt doimiylarining qiymatlari orasidagi bog'lanish:

$$\begin{aligned} T_M^1 &= \frac{J w_T S_T}{M_T} = \frac{J w_T S_{nom}}{M_{nom}} = \frac{J w_0 S_{nom}}{M_{nom}} \frac{w_T}{w_0} = T_M = \\ &= \frac{(1 - S_T)}{w_0} = T_M (1 - S_T). \end{aligned} \quad (6.27)$$

Demak, statik (qarshilik) momentga tezlik chiziqli ravishda bog'liq bo'lsa, vaqt doimiysi kamroq bo'ladi va o'tkinchi jarayon tezroq kechadi. 6.1- rasmda solishtirish uchun tezlik va moment o'zgarishining egri chiziqlari ham $M_q = M_0$ da hamda $M_q = kw$ bo'lganda keltirilgan. Shu rasmda $M_q = kw^2$ bo'lgan hol uchun egri chiziqlar keltirilgan. Ko'rinib turibdiki, bu holda jarayonlar tezroq kechadi.

6.3. O'ZGARADIGAN PARAMETRLARDA MEXANIK O'TKINCHI REJIMLAR

Oddiy elektr yuritma tizimlarida elektr zanjiriga qo'shimcha element-qarshilik kiritib parametrik boshqarish amalga oshiriladi. Bu holda tabiiyki, zanjir parametrlari «sakrab» (birdaniga) o'zgaradi. Parametrlarni o'zgartirib, quyidagilar amalga oshiriladi: faza rotorli asinxron dvigatel va o'zgarmas tok dvigatelinini ishga tushirish jarayoni, ularning tezliklarini parametrik boshqarish, tormozlash rejimini amalga oshirish, reverslash va boshqalar.

Bunda o'tkinchi jarayonlarni tahlil etishni bosqichma-bosqich amalga oshirish kerak. Ularning har birida parametrlarni o'zgarmas deb qabul qilib bo'laklarning (bosqichlarning) bir-biri bilan tutashgan joyida boshlang'ich shartlarni o'zgartirib ulash kerak.

Mustaqil qo'zg'atishli o'zgarmas tok dvigatelinini ishga tushirish dinamik jarayonini ko'rib chiqamiz. Avval ko'rsatilganidek, dvigatelni ishga tushirish diagrammasida maksimal tok I_1 va pog'onalarni chiqarishdagi tok I_2 reostatning barcha pog'onalarida o'zgarmas bo'lib qoladi. Natijada uchastkaning boshida tok I_1 ga, oxirida esa I_2 ga teng bo'ladi. Mexanik o'tkinchi jarayon shartlarida zanjirlardagi induktivlikni hisobga olmaganimiz sababli tokning I_2 va I_1 gacha o'sishi sakrash bilan yuz beradi. Har bir bo'lakda elektromexanik vaqt doimiysi o'z qiymatiga ega bo'ladi va u yakor qarshiligiga proporsional bo'ladi:

$$T_M = J r / K_E \cdot K_M,$$

ya'ni, birinchi pog'ona qarshiligida elektromexanik vaqt doimiysi eng katta qiymatga teng bo'lib, tabiiy tavsifga o'tayotganda minimal qiymatga ega bo'ladi. Shunga mos ravishda pog'onalarda dvigatelning ishlash vaqti ham turlicha bo'ladi, ya'ni eng katta vaqt birinchi pog'ona qarshiligida bo'lsa, oxirida vaqt minimal qiymatga ega bo'ladi.

Tezlikning orta borish tenglamasi hamma pog'onalar uchun bir xil bo'ladi, ya'ni:

$$w = w_{qx}(1 - e^{-t/T_M}) + w_{bosh}e^{-t/T_M}, \quad (6.28)$$

bu yerda: w_{qx} — ko'rilayotgan pog'onadagi mexanik tavsifda ishlayotgandagi tezlikning turg'un qiymati. Har bir pog'ona uchun o'zining w_{qx} qiymati mavjud. w_{q1} , w_{q2} va h. k. (6.4- rasm). Tezliklar mexanik tavsifning berilgan statik yuklamaga muvofiq tokka (momentga) to'g'ri keladigan vertikal bilan kesishgan nuqtasi bilan aniqlanadi.

6.4- rasm. Dvigatelni reostat yordamida ishga tushirilgan holatidagi mexanik tavsiflar.

Yakor tokining ifodasi quyidagicha yoziladi:

$$I = I_q(1-e) + I_1 e ,$$

bu yerda: $I_1 = I_{\text{bosh}}$ — reostatni o'zgartirgan holatidagi har bir uchastka (bo'lak) boshidagi jarayonda hosil bo'ladigan tok: $I_q = M_q/K_M$. Ishga tushayotganda tok va tezlik o'zgarishining egri chizig'i 6.5- rasmda keltirilgan. Egri chiziq xarakteri odatda uchastka uzunligini qayd etuvchi rele yoki tok relesi yordamida avtomatik ravishda ta'minlanadi.

Shunga o'xshash jarayonni dvigatelni tormozlashda ham olamiz. Teskari ulab tormozlashda odatda bitta pog'ona qarshilik ulanadi. Tabiiyki, bu holda katta pog'ona qarshiligi kiritilgani uchun tormozlash bos

6.5- rasm. Dvigatelni ishga tushirayotgan holatidagi tok va tezlik grafiklari.

qichida eng katta vaqt doimiysiga ega bo'lamiz. Lekin tormozlash vaqti katta bo'lmaydi. Chunki, tormozlash jarayonida dvigatel momenti bilan qarshilik momentining ayirmasi $M_d - M_q$ emas, balki ularning yig'indisi ta'sir etadi.

Reverslash jarayoni eksponensial qonunga bo'ysunadi, agar statik moment aktiv bo'lsa, bir tomondan boshqa tomonga ravon aylanadi.

Tormozlashda tok (moment)ning quyidagi tenglamasidan foydalaniladi:

$$I = I_q(1-e) + I_{t.\text{bosh}} e ,$$

bu tenglamada $I_{t.\text{bosh}}$ — tormozlashdagi tokning boshlang'ich qiymati. Asosan $I_{t.\text{bosh}} = I_1$ bo'ladi. Shunga mos ravishda $M_{t.\text{bosh}} = M_1 = K_M I$. Keyinchalik nol tezlikda harakat boshlayotgan paytda quyidagi tenglama kuchga kiradi:

$$I = I_q(1-e) + I_{\text{tez.bosh}} \cdot e .$$

Bu yerda $I_{\text{tez.bosh}}$ — tezlatish nol tezlikdan boshlanayotganda tormozlash pog‘ona qarshiligi chiqarib tashlangan paytdagi dvigatel toki, odatda $I_{\text{t.bosh}} = I_1$ bo‘ladi.

Shunday qilib, reverslash jarayoni ikki bosqichda kechadi.

Tormozlashdagi tezlikning o‘zgarishi (6.28) tenglamaga bo‘ysunadi. Agar revers boshlanguncha dvigatel M_q qarshilik momenti yoki I_q toki bilan ishlayotgan bo‘lsa, u holda boshlang‘ich tezlik sifatida quyidagi qabul qilinadi:

$$w_{\text{bosh}} = -w + Dw_q = -w_0 + (I_q r_{ya}/K_E)$$

6.6- *rasm*. Dvigatelni reverslayotganda tok va tezlikning o‘zgarish grafigi.

Reverslash vaqtida dvigatelning o‘zini tutishi (o‘tkinchi jarayon grafigi) 6.6-rasmda keltirilgan.

Shunga o‘xshash o‘tkinchi jarayon, ya’ni tezlik bilan momentning o‘zgarishi faza rotorli asinxron dvigatellarda ham kechadi.

6.4. ELEKTR YURITMALARNI ISHGA TUSHIRISH VA TORMOZLASH VAQTI

Yuqorida ko‘rib chiqilgan elektr yuritmaning harakat tenglamasi o‘tkinchi jarayonlarning o‘tish vaqtini belgilaydi. Ish agregatini ishga tushirish va uni to‘xtatish jarayonlari ishlab chiqarish siklining ajralmas qismidir. Bu jarayonlarga to‘g‘ri keladigan vaqtning davomiyligini bilish kerak. Chunki bu vaqtda agregat foydali ish bajarmaydi. Ishga tushirish va tormozlash uchastkalarini qisqartirib, ish unumdorligini oshirish mumkin.

Ko‘pgina ish agregatlarida $J = \text{const}$ bo‘ladi. Bu shartni qabul qilib quyidagini yozish mumkin

$$dt = J \frac{d\omega}{M_{\partial} - M_c},$$

bu yerdan

$$t = J \int_{w_1}^{w_2} \frac{1}{M_{\partial} - M_c} dw. \quad (6.29)$$

Ushbu (6.29) ifodani integrallash dvigatel momenti va qarshilik momenti tezlikni ma'lum bo'lgan funksiyasi, ya'ni $M_d = f(w)$ va $M_q = f(w)$ bo'lganda amalga oshirilishi mumkin. Foydalanilayotgan asosiy dvigatellar uchun momentning tezlikka bog'liqligi, tezlikning chiziqli funksiyasidir. Statik (qarshilik) momentning qiymati ko'pincha o'zgarmas yoki tezlikka chiziqli bog'liq holda ko'riladi. Shuning uchun (6.29) ifodani integrallash qiyinchilik tug'dirmaydi.

Lekin boshlanishida xususiy oddiy hollarni ko'rib chiqamiz. Ko'pincha ishga tushirishda dvigatel momenti o'zgarmas saqlab turiladi. Bu reostat seksiyalarini ketma-ket chiqarish bilan (6.6- rasm) yoki yopiq tizimlarda tokni chegaralovchi teskari bog'lanishlar kiritish yo'li bilan amalga oshiriladi.

Odatda, dvigatel momentning o'rtacha qiymati nominal qiymatdan ortib ketadi va $M_d = l_m M_{nom}$ deb qabul qilinishi mumkin, bu yerda: $l_m > 1$. Bir necha mexanizmlar uchun statik moment asosan ishqalanish bilan aniqlanadi va uni ham o'zgarmas deb qabul qilish mumkin. $M_d = \text{const}$ va $M_q = \text{const}$ bo'lganda tezlatish vaqti quyidagicha aniqlanadi:

$$t_T = J \int_0^{w_q} \frac{1}{l_m M_{nom} - M_q} dw = \frac{J w_q}{l_m M_{nom} - M_q}. \quad (6.30)$$

Bu ifoda w_q — dvigatelning turg'un holatda $M_o = M_q$ bo'lgandagi tezligi qiymatiga to'g'ri keladi.

Salt ishlash rejimi uchun ifoda yanada soddalashadi:

$$t_{to} = J w_0 / (l_m \cdot M_{nom}). \quad (6.31)$$

Olingan ifodadan shu narsa ma'lum bo'ladiki, dvigatelning berilgan quvvatida tezlatish vaqti elektromexanik qurilmaning aylanayotgan qismlaridagi kinetik energiya zaxirasiga proporsional bo'ladi.

Shunga o'xshash ifodani dvigatel to'xtash vaqti uchun ham aniqlash mumkin. Ularda dvigatel momenti manfiy ishoraga ega bo'ladi:

$$t_{to'x} = J \int_{w_q}^0 \frac{1}{l_m M_{nom} - M_q} dw = J \frac{J w_q}{l_m M_{nom} + M_q}. \quad (6.32)$$

Faqat ishqalanish hisobiga to'xtatilganda:

$$t_{to'x} = J w_q / M_q.$$

Endi dvigatel momenti va dinamik moment chiziqli o'zgargan holatidagi qonuniyatni, ya'ni murakkabroq holatni ko'rib chiqamiz:

$$M_{din} = a - bw. \quad (6.33)$$

U holda o'tkinchi jarayon vaqtini aniqlaydigan ifoda quyidagi ko'rinishni oladi:

$$t_{i.t} = J \int_{w_1}^{w_2} \frac{dw}{a-bw}, \quad (6.34)$$

bu yerda: w_1 va w_2 — tezlikning dinamik momentlari M_{din1} va M_{din2} ga mos keladigan boshlang'ich qiymatlari.

Chiziqli ravishda o'zgaradigan moment uchun

$$\frac{M_{din} - M_{din1}}{M_{din2} - M_{din1}} = \frac{w - w_1}{w_2 - w_1},$$

bu yerdan:

$$\begin{aligned} M_{din} &= M_{din1} + \frac{M_{din2} - M_{din1}}{(w_2 - w_1)} (w - w_1) = \\ &= M_{din1} + \frac{M_{din1} - M_{din2}}{(w_2 - w_1)} w_1 - \frac{M_{din2} - M_{din1}}{(w_2 - w_1)} w. \end{aligned} \quad (6.35)$$

(6.35) ifodaga mos ravishda quyidagini olamiz:

$$\begin{aligned} a &= M_{din1} + \frac{M_{din1} - M_{din2}}{w_2 - w_1} w_1; \\ b &= \frac{M_{din1} - M_{din2}}{w_2 - w_1}. \end{aligned}$$

(6.34) ifodani berilgan w_1 - w_2 tezlikning o'zgarishi oralig'ida integrallaymiz:

$$t_{i.t} = J \int_{w_1}^{w_2} \frac{dw}{a-bw} = \frac{J}{b} \ln \frac{a-bw_1}{a-bw_2}.$$

Yuqorida a va b lar uchun aniqlangan ifodalarni o'rniga qo'yib, quyidagi ifodaga ega bo'lamiz:

$$t_{i.t} = J \int \frac{w_2 - w_1}{M_{din1} - M_{din2}} \ln \frac{M_{din1}}{M_{din2}}. \quad (6.36)$$

Ko'rilayotgan rejimga (ishga tushirish, tormozlash, tezlikni o'zgartirish) bog'liq ravishda (6.36) formulaga moment va tezliklar uchun turli boshlang'ich shartlarni kiritish kerak bo'ladi.

Olingan ifodada dinamik momentning chiziqli qonuniyat bilan o'zgarishidagi tezlatish davomiyligini (o'tkinchi jarayon vaqtini) aniqlashda foydalaniladi.

Bundan tashqari murakkab hollarda berilgan egri chiziqli bog'lanishni ayrim to'g'ri bo'laklarga bo'lib, har biri uchun jarayon davomiyligini (vaqtini) ayrim to'g'ri chiziqli uchastkalarining yig'indisi sifatida aniqlash ham mumkin.

6.5. MUSTAQIL QO'ZG'ATISHLI O'ZGARMAS TOK DVIGATELLI ELEKTR YURITMALARDA ELEKTROMEXANIK O'TKINCHI JARAYONLAR

Elektromexanik o'tkinchi rejimlar asosan o'zgarmas tok yuritmalari uchun tatbiq etiladi. Chunki ularda elektrmagnit jarayonlar mexanik jarayonlarga nisbatan tezlikka juda katta ta'sir qiladi. Elektromexanik jarayonlarni tahlil etish ancha qiyin. Chunki, bunda differensial tenglamalarning darajasi ancha yuqori bo'ladi. Bundan tashqari odatda, elektromexanik o'tkinchi jarayonlarni tadqiq etish nochiziqli bog'lanishlarni (gisterzis, to'yinish va h. k.) hisobga olish zarurligi bilan bog'liq. Shuning uchun hozirda real tizimlarni tadqiq etish uchun raqamli modellash uslubidan foydalaniladi. Bu holda EHMda olingan natija aynan shu qaralayotgan qurilmaga taalluqli bo'ladi.

Turli elektr mexanik tizimlarini o'tkinchi jarayonlarga tatbiq etish uchun umumiy analitik yechimga ega bo'lish kerak. Bu esa parametrlarni o'tkinchi jarayonni kechish vaqtiga ta'sirini, tokning maksimal qiymatlari va boshqalarni aniqlash imkoniyatini beradi. Lekin bunda bir nechta joizliklar va soddalashtirishlar kiritilib, iloji boricha nochiziqli bog'lanishlarni ularga mos bo'lgan chiziqli bog'lanishlar bilan almashtirish darkor.

Bog'lanishlarni chiziqlashtirish maqsadida mustaqil qo'zg'atishli o'zgarmas tok dvigatellari uchun elektromexanik o'tkinchi jarayonlarni tahlil etishda quyidagi shartlarni qabul qilamiz:

— chulg'amlar (yakor, kompensatsiya va boshqalar) induktivligini o'zgarmas deb qabul qilinadi;

— yakor reaksiyasi ta'siri ahamiyatga olinmaydi;

— uyurma toklar va gisterzis hisobga olinmaydi.

Ushbu shartlar bajarilganda dvigatel magnit oqimini o'zgarmas deb qabul qilish mumkin. Bundan tashqari soddalashtirish maqsadida jarayonlarni o'zgarmas statik moment yoki tezlikka chiziqli bog'liq, deb qaraladi.

Boshqarish ta'siri asosan yuritma tizimida ishlatilayotgan ta'minot manbayi bo'lgan o'zgartgichning xususiyatlari bilan aniqlanadi.

$U = \text{const}$ bo'lgan holni ko'rib chiqamiz. Bu holda EYK $E = K_E \omega$ va dvigatel momenti $M = K_M I$ bo'ladi.

Dvigatel ishini ifodalovchi tenglamalar quyidagi ko'rinishda bo'ladi:

$$K_M I - M_q = J d\omega/dt, \quad (6.37)$$

$$U = K_E \omega + I r + L dI/dt. \quad (6.38)$$

Tezlikning differensial tenglamasini olish uchun (6.37) tenglamani tokka nisbatan yechamiz:

$$I = J/K_M \cdot dw/dt + M_q/K_M, \quad (6.39)$$

yoki

$$I = (J/K_M) \cdot (dw/dt) + I_q, \quad (6.40)$$

bu yerda: I_q — statik (qarshilik) momenti M_q ga mos keladigan tok.

Vaqt bo'yicha differensiallaymiz:

$$dI/dt = (J/K_M) \cdot (d^2w/dt^2). \quad (6.41)$$

(6.40) va (6.41) ifodalarni (6.38) ga qo'yib, quyidagini olamiz:

$$U = K_E w + \frac{J_r}{K_M} \frac{dw}{dt} + I_q r + \frac{J_L}{K_M} \frac{d^2w}{dt^2}. \quad (6.42)$$

Aniqlangan tenglamani K_E ga bo'lamiz:

$$\frac{J_L}{K_E K_M} \frac{d^2w}{dt^2} + \frac{J_r}{K_E K_M} \frac{dw}{dt} + w = \frac{U}{K_E} - \frac{I_q r}{K_E}. \quad (6.43)$$

Ushbu ifodada $J_r/(K_E K_M) = T_M$ — elektromexanik vaqt doimiysi:

$$J_L/K_E K_M = (J_r/K_E K_M) \cdot (L/r) = T_M \cdot T_y,$$

bu yerda: $T_{ya} = L/r$ — elektromagnit vaqt doimiysi. Vaqt doimiylarini (6.43) tenglamaga kiritib, quyidagini olamiz:

$$T_{ya} T_M \frac{d^2w}{dt^2} + T_M \frac{dw}{dt} + w = \frac{1}{K_E} U - \frac{r}{K_E} I_q. \quad (6.44)$$

Mazkur tenglamadagi birinchi tashkil etuvchi boshqarish ta'sirini, ikkinchisi — tashqi ta'sirni tashkil etadi.

Differensial tenglamalarni yechishning klassik usulini qo'llab (6.44) tenglamani yechamiz. (6.44) tenglamaning o'ng tomonini boshqacha ko'rinishda yozamiz. Buning uchun quyidagi belgilashlarni kiritamiz: $w_0 = U/K_E$, $Dw = I_q r/K_E$ — tezlikning statik tushishi; $w_q = w_0 - Dw_c$ — statik moment M_q ga mos keladigan tezlik. Bu holda quyidagini olamiz:

$$T_{ya}T_M \frac{d^2 w}{dt^2} + T_M \frac{dw}{dt} + w = w_q. \quad (6.45)$$

Salt yurishda o'ng tomonda ideal salt yurish tezligi w_0 bo'ladi.

Yakor tokining differensial tenglamasini aniqlash uchun (6.40) tenglamani tezlikni vaqt bo'yicha hosilasiga nisbatan yechamiz:

$$dw/dt = K_M(I - I_q)/J. \quad (6.46)$$

Tenglama (6.38) ni differensiallab quyidagini olamiz:

$$0 = K_E \frac{dw}{dt} + r \frac{dI}{dt} + L \frac{d^2 I}{dt^2}.$$

Olingan tenglikni $J/(K_E K_M)$ ga ko'paytirib quyidagini yozish mumkin:

$$\frac{JL}{K_E K_M} \cdot \frac{d^2 I}{dt^2} + \frac{dI}{dt} \cdot \frac{dw}{dt} + I = I_q, \quad (6.47)$$

yoki tezlik tenglamasidagi qiymatlardan foydalanib quyidagicha yozamiz:

$$T_{ya}T_M \frac{d^2 I}{dt^2} + T_M \frac{dI}{dt} + I = I_q. \quad (6.48)$$

Shunday qilib, tok uchun (6.48) va tezlik uchun (6.45) differensial tenglamalar bir-biriga o'xshash bo'ladi. Shuning uchun ularga bir xildagi xarakteristik tenglama mos keladi, ya'ni:

$$p^2 = \frac{1}{T_{ya}} p + \frac{1}{T_{ya}T_M} = 0. \quad (6.49)$$

Xarakteristik tenglama ildizlari quyidagicha topiladi:

$$\begin{aligned} p_1 &= -\frac{1}{2T_{ya}} + \sqrt{\frac{1}{4T_{ya}^2} - \frac{1}{T_{ya}T_M}}; \\ p_2 &= -\frac{1}{2T_{ya}} - \sqrt{\frac{1}{4T_{ya}^2} - \frac{1}{T_{ya}T_M}}, \end{aligned} \quad (6.50)$$

quyidagi nisbat $4T_{ya}/T_M \lessgtr 1$ ga bog'liq holda xarakteristik tenglama ildizlari haqiqiy va kompleks bo'lishi mumkin. Kompleks ildizlar uchun quyidagini yozish mumkin:

$$P_{1,2} = -a \pm jn, \quad (6.51)$$

bu yerda: $a = 1/2T_{ya}$;

Natijada tok va tezlik uchun o'tkinchi rejimda ifodalar quyidagi ko'rinishda bo'ladi:

$$I = A_1 e^{p_1 t} + A_2 e^{p_2 t} + I_q, \quad (6.52)$$

$$w = D_1 e^{p_1 t} + D_2 e^{p_2 t} + w_q. \quad (6.53)$$

Har bir rejim uchun (ishga tushirish, tormozlashning turlari, yuklama qabul qilish va tashlash) integrallash doimiyliklari A_1 , A_2 va D_1 , D_2 alohida aniqlanadi.

Agar ishga tushirish bir necha pog'onada amalga oshirilsa, u holda har bir pog'ona uchun integrallash doimiyliklari aniqlanadi. Bir pog'onadan ikkinchi pog'onaga o'tishda eksponenta darajalari P_1 va P_2 lar o'zgaradi. Chunki ularning tarkibiga yakor zanjiri qarshiligiga bog'liq bo'lgan T_{ya} va T_M lar kiradi.

Shuni qayd qilish lozimki, (6.52) va (6.53) tenglamaga kiradigan integrallash doimiyliklari o'zaro bir-biriga bog'liq bo'lib, ulardan birortasi aniqlansa, ikkinchisini osongina topish mumkin. Ikkinchi darajali tenglama uchun ikkita boshlang'ich shart kifoya bo'lib, ular umumiy holatda $t = 0$ bo'lganda $w = w_{bosh}$, $I = I_{bosh}$ ko'rinishni oladi.

Ikkinchi shartni (6.52) tenglamaga qo'yish uchun (6.46) tenglamadan foydalanamiz, $t = 0$ bo'lganda bu tenglamadan:

$$(dw/dt)_{bosh} = K_M(I_{bosh} - I_q)/J.$$

(6.53) tenglamani differensiallab quyidagini olamiz:

$$\frac{dw}{dt} = p_1 D_1 e^{p_1 t} + p_2 D_2 e^{p_2 t}. \quad (6.54)$$

Tezlikni vaqt bo'yicha hosilasining qiymatini (6.54) tenglamaga qo'yib, (6.53) da esa $w = w_{bosh}$ shartini qo'yib integrallash doimiyliklari D_1 va D_2 lar uchun ikkita tenglama olamiz. Ulardan doimiyliklar qiymatini aniqlash mumkin:

$$w_{bosh} = D_1 + D_2 + w_q$$

$$K_M(I_{bosh} - I_q)/J = pD_1 + pD_2 \quad (6.55)$$

A_1 va A_2 doimiyliklarini topish uchun (6.54) ifodani (6.40) formulaga qo'yamiz, u holda:

$$I = \frac{Jp_1 D_1 e^{p_1 t}}{K_M} + \frac{Jp_2 D_2 e^{p_2 t}}{K_M} + I_q,$$

bundan

$$A_1 = \frac{Jp_1 D_1}{K_M}, \quad A_2 = \frac{Jp_2 D_2}{K_M}.$$

O'tkinchi jarayonda tok va tezlikni aniqlash tenglamalariga Eyler formulalari yordamida sodda

ko'rinish berish mumkin: haqiqiy ildizlar uchun $p_{1,2} = -1/(2T_{ya}) \pm e$ bo'lganda:

$$I = A \cdot e^{-t/(2T_{ya})} \cdot sh(et + y) + I_q,$$

$$w = D e^{-t/(2T_{ya})} \cdot sh(et + y) + w_q. \quad (6.56)$$

$p_{1,2} = -1/(2T_{ya}) \pm jv$ bo'lgan kompleks ildizlar uchun

$$I = A \cdot e^{-t/(2T_{ya})} \cdot \sin(nt + y) + I_q,$$

$$w = D e^{-t/(2T_{ya})} \cdot \sin(nt + y) + w_q. \quad (6.57)$$

Integrallash doimiyliklari A , D , j va y larni boshlang'ich shartlardan aniqlash mumkin. Bu yerda ham ikkita doimiylikni, ya'ni D va y larni aniqlash yetarli. Haqiqiy tezlik ifodasi (6.57) ni differensiallab, quyidagini olamiz:

$$\frac{dw}{dt} = -D e^{-t/(2T_{ya})} \left[\frac{1}{2T_{ya}} \sin(nt + y) - n \cos(nt + y) \right].$$

$1/2T_{ya} = X \cos d$; $n = X \sin d$ deb belgilaymiz, bu yerda: X — o'zgarmas son bo'lib, uni quyidagicha aniqlash mumkin:

$(X \cdot \sin d)^2 + (X \cdot \cos d)^2 = X^2 = n^2 + (1/2T_{ya})^2$ yoki (6.51) ga muvofiq:

$$\begin{aligned} X &= \sqrt{n^2 + 1/4T_{ya}^2} = \sqrt{1/(T_{ya}T_M) + 1/4T_{ya}^2} = \\ &= 1/\sqrt{T_{ya}T_M}. \end{aligned}$$

U holda quyidagini olamiz:

$$dw/dt = -D e^{-t/(2T_y)} \cdot \left(1/\sqrt{T_{ya}T_M} \right) \sin(nt + y - d),$$

bu yerda: $d = \arctg 2T_{ya}$ yoki $d = \arcsin n/x = \arcsin n$.

Tok uchun (6.40) tenglamadan foydalanib, quyidagini yozamiz:

$$I = -DJ / \left(K_m \sqrt{T_{ya} T_m} \right) e^{-t/(2T_{ya})} \cdot \sin(nt + y - d) + I_q, \quad (6.58)$$

Demak,

$$A = -DJ / \left(K_m \sqrt{T_{ya} T_m} \right) \quad \text{va } j = y - d. \quad (6.59)$$

Olingan (6.56) va (6.57) tenglamalar $M_{kt} = \text{const}$ va $y = \text{const}$ bo'lgandagi barcha mustaqil qo'zg'atishli o'zgarmas tok dvigatellarining o'tkinchi rejimiga taalluqli bo'lib, ishga tushirish, tormozlash, yuklamani qabul qilish va tashlashdagi o'tkinchi jarayonlarni ifodalaydi. Misol tariqasida dvigatelni manbaga to'g'ridan-to'g'ri ulab ishga tushirish grafigi (6.7- rasmda) ko'rsatilgan.

8- misol. П-51 rusumli mustaqil qo'zg'atish chulg'amli o'zgarmas tok dvigateli quyidagi pasport ma'lumotlariga $R_n = 11 \text{ kW}$, $U = 220 \text{ V}$, $I_n = 59 \text{ A}$,

6.7- rasm. Mustaqil qo'zg'atishli dvigatelni reostatsiz ishga tushirganda tok va tezlikning o'tkinchi tavsifi.
1 — nisbiy birliklarda tok egri chizig'i; 2 — tezlik.

$n_n = 3000 \text{ ayl/min}$ ($\omega_n = 314 \text{ rad/s}$), $J = 0,0873 \text{ kg} \cdot \text{m}^2$, $h_n = 0,845$ ega bo'lib, ikki pog'onali ishga tushirish reostati yordamida ishga tushiriladi.

Agarda $M_q = 0,5 M_n$ va mos ravishda yuklama statik toki $I_s = 0,5 I_n$ bo'lsa, ishga tushirilayotganda $\omega = f(t)$ va $i = f(t)$ grafigi hisoblab qurilsin.

Yechimi: dvigatelning nominal qarshiligi

$$R_n = \frac{220}{59} = 3,73 \text{ W}.$$

Yakor qarshiligi

$$R_y = 0,5(1-0,845)3,73 = 0,288 \text{ W}.$$

Ishga tushirish qarshiligini grafik usulda hisoblaymiz (6.8- rasm). Maksimal ishga tushirish tokini

$$I_1 = I_{\text{maks}} = 2 I_n = 118 \text{ A deb belgilaymiz.}$$

Ikki pog'onada ishga tushirish uchun grafik usulda minimal ishga tushirish (qarshilikni chiqarish) tokini tanlaymiz:

$$I_2 = I_{\text{min}} = 0,78 I_n = 46 \text{ A}$$

6.8- rasm bo'yicha ishga tushirish qarshiligini aniqlaymiz:

$$R_{p1} = 0,3 \cdot 3,73 = 1,11 \text{ W};$$

$$R_{p2} = 0,12 \cdot 3,73 = 0,45 \text{ W.}$$

Dvigatel koeffitsiyenti:

$$C = \frac{U - I_n R_{ya}}{w_n} = \frac{220 - 59 \cdot 0,288}{314} = 0,645 \text{ B} \cdot \text{s/rad};$$

$$w_0 = \frac{U}{C} = \frac{220}{0,645} = 341 \text{ rad/s};$$

O'tkinchi jarayon grafigini quyidagi tenglamalar asosida hisoblaymiz:

$$w = w_q + (w_{\text{bosh}} - w_c) e^{-t/TM},$$

$$i = I_q + (I_{\text{bosh}} - I_c) e^{-t/TM}.$$

Birinchi ishga tushirish pog'onasi uchun:

$$w = w_{q1} + (0 - w_{q1}) e^{-t/TM},$$

$$i = I_q + (I_1 - I_q) e^{-t/TM}.$$

Yakor zanjirining to'liq qarshiligi:

$$R_1 = 0,288 + 1,11 + 0,45 = 1,848 \text{ W}$$

Elektr mexanik vaqt doimiysi:

$$T_{\text{m1}} = \frac{JR}{C^2} = \frac{0,0873 \cdot 1,848}{0,645^2} \gg 0,39 \text{ s.}$$

$I_q = 0,5$ $I_n = 0,5 \cdot 59 = 29,5$ A toki mos keladigan turg'un tezlik 6.8- rasmga muvofiq $\omega_{q1} = 254$ rad/s.

6.8- rasm. Ishga tushirish reostatlarini hisoblashga doir grafik.

Birinchi ishga tushirish pog'onasi uchun hisoblash formulalari quyidagi ko'rinishga ega bo'ladi:

$$\omega = 341 - 341e^{-t/0,39};$$

$$i = 29,5 + (118 - 29,5)e^{-t/0,39} = 29,5 + 88,5 e^{-t/0,39}.$$

Birinchi pog'onada ishga tushirish vaqti:

$$t_1 = T_{m1} \ln \frac{I_1 I_q}{I_2 I_q} = 0,39 \ln \frac{118 - 29,5}{46 - 29,5} = 0,62 \text{ s}.$$

Hisoblash formulalariga t ning $t = 0$ dan $t = 0,62$ s gacha bo'lgan qiymatlarini qo'yamiz.

Hisoblash natijalarini 4- jadvalda kiritamiz.

4- jadval

$t, \text{ s}$	0	0,2	0,3	0,4	0,5	0,62
$\omega, \text{ rad/s}$	0	10	140	161	185	203
$i, \text{ A}$	0	83,2	69,8	62,1	53,7	46

Ikkinchi ishga tushirish pog'onasi uchun o'tkinchi jarayon tenglamasi:

$$\omega = \omega_{q2} + (\omega_2 - \omega_{q2}) e^{-t/T_{m2}},$$

$$i = I_q + (I_1 - I_q) e^{-t/T_{m2}}.$$

Yakor zanjiri qarshiligi:

$$R_2 = 0,288 + 0,45 = 0,738 \text{ W}$$

Elektr mexanik vaqt doimiysi:

$$T_{M2} = \frac{0,0873 \cdot 0,738}{0,645^2} \gg 0,16 \text{ s.}$$

O'rnatilgan tezlik $w_{c2} = 308 \text{ rad/s.}$

Ikkinchi pog'onada ishga tushirish vaqti:

$$t_2 = T_{M2} \ln \frac{I_1 - I_q}{I_2 - I_q} = 0,16 \ln \frac{118 - 29,5}{46 - 29,5} = 0,16 \cdot 1,6 = 0,26 \text{ s.}$$

Ikkinchi pog'ona uchun hisoblash formulalari:

$$w = 308 + (203 - 308)e^{-t/0,16} = 308 - 105e^{-t/0,16}$$

$$i = 29,5 + 88,5e^{-t/0,16}.$$

Bu formulalarda t $t = 0$ dan $t = 0,26 \text{ s}$ gacha o'zgaradi.

Hisoblash natijalari 5- jadvalda keltirilgan.

5- Jadval

$t, \text{ s}$	0	0,05	0,1	0,15	0,2	0,26
$w, \text{ rad/s}$	203	227,5	248	262	277	284
$i, \text{ A}$	118	95	78	64,5	53,7	46

Uchinchi ishga tushirish pog'onasi (tabiiy tavsif bo'yicha) uchun hisoblash yuqoridagiga o'xshash olib boriladi:

$$R_3 = R_{ya} = 0,288 \text{ W};$$

$$w_{q3} = 328 \text{ rad/s}; t_3 \gg 4T_{M3} = 40,06 = 0,24 \text{ s};$$

$$w = 328 + (281 - 328)e^{-t/0,06} = 328 - 47e^{-t/0,06};$$

$$i = 29,5 + 88,5 e^{-t/0,06}.$$

Hisoblash natijalarini 6- jadvalga kiritamiz.

6-jadval

$t, \text{ s}$	0	0,05	0,1	0,15	0,2	0,24
$w, \text{ rad/s}$	286	310	320	326	327	327,6
$i, \text{ A}$	118	69,2	47,4	39,33	32,77	31,7

6- jadvaldagi ma'lumotlar bo'yicha 6.9- rasmda qidirilayotgan $w = f(t)$; $i = j(t)$ o'tkinchi jarayonlar qurilgan.

6.9- rasm. Mustaqil qo'zg'atishli dvigatelni ishga tushirishdagi $w = f(t)$ va $i = j(t)$ grafiklari.

6.6. QAYISHQOQ BOG'LANISHLI VA MEXANIK UZATMALARDA ORALIQ MAVJUD BO'LGAN TIZIMDAGI O'TKINCHI JARAYONLAR.

Odatda elektr mexanik tizimni, bajaruvchi mexanizm massalarini va mexanik uzatmaning barcha elementlarini dvigatel o'qiga keltirib, hamda ekvivalent massa m va unga mos keladigan dvigatel o'qidagi inertsia momenti J dan foydalanib bir massali deb qaraladi. Lekin bir qator hollarda, uzatmalardagi o'qlarning uzunligi katta bo'lganda tizimning o'zini tutishiga mexanik tugunlardagi qayishqoq deformatsiyalar sezilarli darajada ta'sir ko'rsatadi. Ayniqsa ular tezkorligi oshirilgan yuritmalarning zamonaviy tizimlarida yuzaga chiqayapti. Ko'pincha bo'ysunilgan rostlash tizimlarida aynan qayishqoq deformatsiyalar tezkorlikni cheklashga sabab bo'layapti. Shuning uchun elektr mexanik qurilmalarni kinematik zanjirida qayishqoq zvenolari bo'lgan ko'p massali tizim sifatida qaralmosda. Bunday mexanizmlarga qog'oz ishlab chiqaradigan mashinalar, metall kesuvchi stanoklarning ba'zi turlari, robotlar va shunga o'xshash boshqa mexanizmlar kiradi.

Oddiy holda ikki massali tuzilish sxemasini ko'rib chiqish mumkin (1.17 – rasmga qarang). Bu sxemada o'zaro qayishqoq zveno bilan bog'langan mexanizm massasi va dvigatel rotor massasini ayrim – ayrim hisobga olamiz. Mexanizm inertsia momentini dvigatel aylanish tezligiga keltiramiz. Uzatma elementlarining inertsia momentini hisobga olmaymiz, yoki ularni dvigatel va mexanizmga kiritamiz.

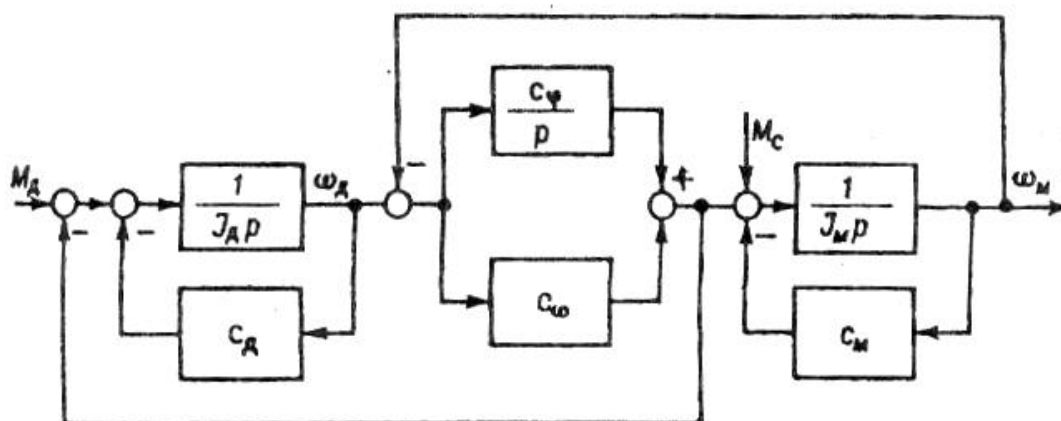
Ko'rilayotgan sxema quydagi tenglamalar bilan ifodalanadi (mos ravishda dvigatel, mexanizm va ulovchi qayishqoq o'q uchun):

$$\left. \begin{aligned} M_d - M_\kappa - M_{c.d.} &= J_g \frac{d\omega_d}{dt}; \\ M_d - M_c - M_{c.m} &= J_m \frac{d\omega_m}{dt}; \\ M_d &= C_\varphi (\varphi_g - \varphi_m) + C_\omega (\omega_d - \omega_m). \end{aligned} \right\} \quad (6.60)$$

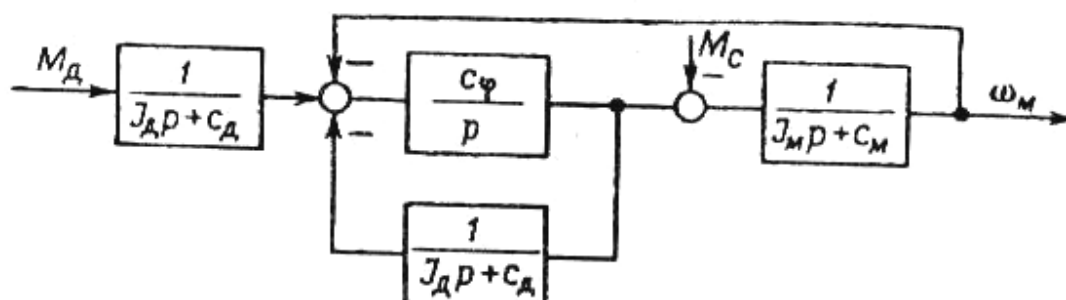
bu erda M_d – dvigatel momenti; M_c – ishchi mashina o'qidagi doimiy statik moment; M_q – qayishqoq deformatsiyalar momenti; $M_{c,d} = C_d \omega_d$ ba $M_{c,m} = C_m \omega_m$ –dvigatel va mexanizm o'qlaridagi tezlikka bog'liq bo'lgan qarshilik momentlari; φ_d ba φ_m –o'qlarning burilish burchaklari; ω_g ba ω_m –dvigatel va mexanizmning oniy aylanish tezligi.

Agarda $M_d = M_{d,T} - C_d \omega_d$ deb qabul qilsak C_d koeffitsienti dvigatel mexanik tavsifining qiyaligini hisobga olish mumkin. Bu holda tizimning kirishiga qisqa tutashish momenti M q.t yoki M q.t chizisli bog'liq bo'lgan kuchlanish U berilayapti deb hisoblash mumkin.

Bu tenglamalarga mos keladigan tuzilish sxemasi 6.10 – rasmda keltirilgan. Ko'p hollarda taxlil etishni soddalashtirish uchun uzatmadagi dissipativ kuchlari $C_\omega = 0$ deb hisobga olinmaydi. Bunday shartda agarda qayishqoq moment bo'yicha teskari bog'lanish kiritish nuqtasini boshqa joyga ko'chirsak 6.11 – rasmda keltirilgan tuzilish sxemasini olamiz.



6.10-rasm. Mexanik uzatmada qayishqoq zveno bo'lgan va chiziqli mexanik tavsifli yuritmaning tuzilish sxemasi



6.11-rasm. Mexanik uzatmada qayishqoq zveno bo'lgan va chiziqli mexanik tavsifli yuritmaning soddalashtirilgan tuzilish sxemasi

Bu sxemaga mos keladigan uzatish funksiyasi quyidagi ko'rinishga ega bo'ladi:

$$W(p) = \frac{\omega_m}{M_d}(p) = \frac{C_\varphi}{p(J_d p + C_g)(J_m p + C_m) + C_\varphi[(J_d + J_m)p + C_d + C_m]} \quad (6.61)$$

yoki $J_d/C_d=T_d$ va $J_m/C_m=T_m$ vaqt doimiyliklarini kiritib quyidagini olamiz

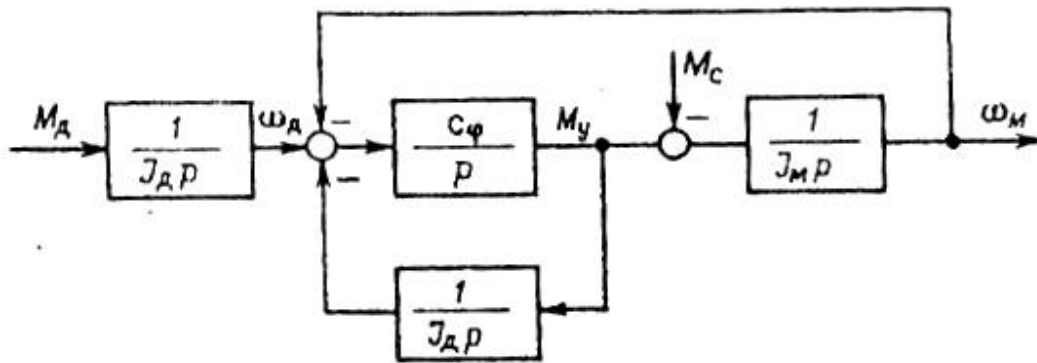
$$W(p) = \frac{\omega_m}{M_d}(p) = \frac{\frac{C_\varphi}{C_m C_g}}{p(1+T_d p)(1+T_m p) + C_\varphi \left[\frac{1}{C_m}(1+T_d p) + \frac{1}{C_d}(1+T_m p) \right]} \quad (6.62)$$

Bunga mos keladigan xarakteristik tenglama quyidagicha bo'ladi

$$\frac{C_d C_m}{C_\varphi} p(1+T_d p)(1+N_v h) + C_d (1+T_d p) + C_v (1+N_v h) = 0 \quad (6.63)$$

Masala yechimini yanada soddalashtirish maqsadida tezlikka bog'liq bo'lgan momentlar ta'sirini hisobga olinmaydi, ya'ni $C_d=0$ va $C_m=0$ deb hisoblanadi. Tabiiyki bunday joizlikda tizimning ishlashi uchun og'ir sharoitlar hosil bo'ladi. Haqiqatda esa dvigatel o'qida va mexanizm o'qida ventilyatorli yuklama bo'lib, u tizimning qayishqoqlik xususiyatlari natijasida paydo bo'ladigan tebranishlarni so'ndiradi. Tebranishlarni so'ndirishga mexanik tavsif qiyaligi ham moyillik qiladi, qiyalik oshgan sari so'ndirish ortib boradi.

Shunday qilib haqiqatda har doim tizim yaxshi sharoitda bo'ladi va uning soddalashtirilgan tahlil natijasida aniqlanadigan tebranuvchanligi kamroq bo'ladi.



6.12 – rasm. So'ndirishni hisobga olmaganda yuritmaning mexanik qismining soddalashtirilgan tuzilish sxemasi

Ko'rsatilgan soddalashtirishlar asosida olingan tuzilish sxemasi 6.12-rasmda keltirilgan. Bu sxemaga mos keladigan uzatish funksiyasi quyidagi ko'rinishga ega bo'ladi:

$$W(p) = \frac{C_\varphi}{p[J_m J_d p^2 + C_\varphi (J_d + J_m)]} \quad (6.64)$$

Bundan kelib chiqadigan yuritmaning mexanik qismi xususiy chastotali so'nmaydigan tebranishlar konservativ guruh va integrallovchi guruhlarining ketma – ket ulanishidan iborat. so'nmaydigan tebranishlar hususiy chastotasi

$$\Omega = \sqrt{C_{\varphi}(J_d + J_M)/(J_M J_d)}. \quad (6.65)$$

Olingan ifodani boshqacha ko'rinishda ham keltirish mumkin, ya'ni

$$\Omega = \sqrt{\frac{C_{\varphi}}{J_d} \sqrt{\frac{J_d + J_M}{J_M}}} = \Omega_d \sqrt{\frac{\gamma}{\gamma - 1}}, \quad (6.66)$$

bu yerda $\Omega_d = \sqrt{C_d/J_g}$ -o'qning uchini mexanizmga biki mahkamlangandagi dvigatel rotorining xususiy tebranish chastotasi; $\gamma = (J_d + J_M)/J_d$ va $\gamma = 1 + \xi$.

Mexanik uzatmalardagi qayishqoq deformatsiyalarni hisobga olgan holda o'zgarmas tok yuritmasining to'la tuzilish sxemasini ko'rib chiqamiz.

Bu holda sxema bo'yicha bitta fizik qiymatga ya'ni kuchlanish yoki kuchlanish tushishiga ega bo'lish maqsadga muvofiqdir. Mos holda vaqt doimiyliklari quyidagicha yozilishi mumkin

$$T_{M,d} = J_d r_{ya} / (K_E K_M) \quad \text{ba} \quad T_{M,M} = J_M r_{ya} / (K_E K_M)$$

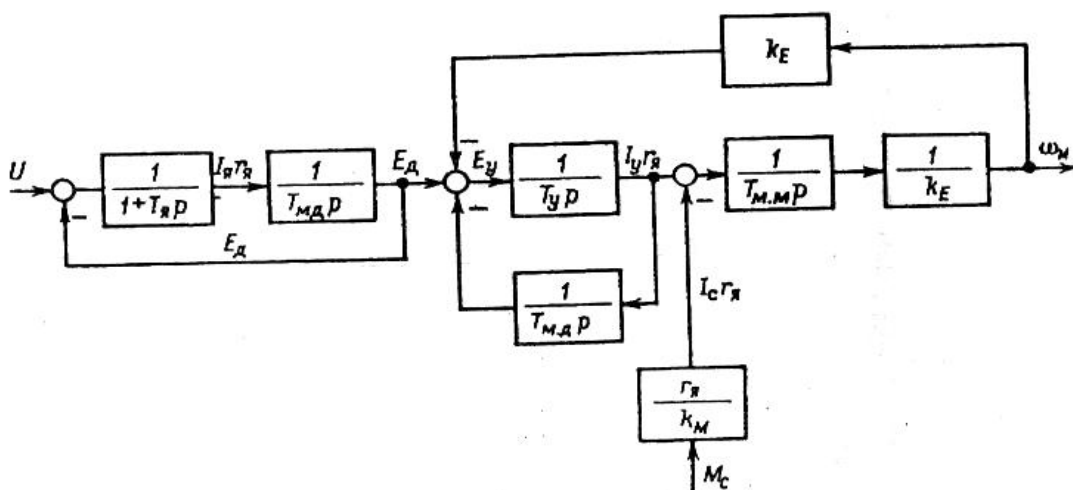
Ikkinch vaqt fizik ma'noga deyarli ega emas.

Bu vaqt doimiylik inertsia momenti mexanizmning inertsia momentiga teng bo'lgan fiktiv dvigatelning elektromexanik doimiyligidir.

Bikrlik koeffitsienti C_{φ} o'rniga unga mos bo'lgan vaqt birligida o'lchanadigan doimiylikni kiritamiz.

$$T_q = K_E K_M / (C_{\varphi} r_{ya}) \quad (6.67)$$

Yuqoridagilarni hisobga olganda o'zgarmas tok elektr yuritmasining tuzilish sxemasi 6.13 – rasmda keltirilgan ko'rinishga ega bo'ladi. Uni qurishda 5.1-rasmda tasvirlangan dvigatelning tuzilish sxemasidan foydalanilgan.



6.13 – rasm. Qayishqoq guruhli o'zgarmas tok yuritmasining

tuzilish sxemasi

Olingan sxema asosida uzatish funksiyasi uchun quyidagi ifodani yozamiz:

$$W(p) = \frac{\frac{1}{1+T_{ya}p} \cdot \frac{1}{T_{md}p}}{1 + \frac{\frac{1}{1+T_{ya}p} \cdot \frac{1}{T_{md}p} \cdot \frac{\frac{1}{T_{\kappa}p} \cdot \frac{1}{T_{mm}p}}{1 + \frac{1}{T_{md}pT_{\kappa}p}}}{1 + \frac{1}{T_{md}pT_{\kappa}p}}} \cdot \frac{1}{K_E} =$$

$$= \frac{T_{m,g} \frac{1}{K_E}}{[1+T_{md}p(1+T_{\kappa}p)](T_{m,g}T_{m,m}T_{\kappa}p^2 + T_{md} + T_{m,m})} \quad (6.68)$$

Bo'ysunilgan boshqaruvda dvigatel E.Yu.K ni hisobga olmaganimizda quyidagini olamiz:

$$W(p) = \frac{K_d}{p(1+T_{ya}p)(T_{md}T_{m,m}T_{\kappa}p^2 + T_{md} + T_{m,m})} \quad (6.69)$$

bu yerda

$$K_d = 1/K_E$$

Agarda mexanik uzatma biki bo'lsa, ya'ni $C_{\varphi} \rightarrow \infty$ va bunga mos ravishda $T_{\kappa} \rightarrow 0$ bo'lsa, u holda bir massali tizimning ifodasini olamiz

$$W(p) = \frac{K_d}{T_m p(1+T_{\kappa}p)}, \quad (6.70)$$

bu erda $T_m = T_{m,d} + T_{m,m}$

Shuni hisobga olish kerakki qayishqoq bog'lanishli tizimda statik moment bilan belgilanadigan tashqi ta'sirning katta ahamiyati bor. Shuning uchun tahlil qilishda 6.13 – rasmdagi tuzilish sxemasidan olinadigan tashqi ta'sirning uzatish funksiyasidan foydalaniladi.

Ba'zi hollarda uch massali va hatto n – massali tuzilmalarni ko'rib chiqishga to'g'ri keladi. Bularga mos tuzilish sxemalarini qo'shimcha bloklar, ya'ni quyushqoq bog'lanishli oraliq mexanik guruhlarini kiritish bilan olinadi.

Quyushqoq bog'lanishlarni hisobga olish bilan elektromexanik tizimlar dinamikasi va ularni sozlash qiyinlashadi. Tezlik xabarchilari tizimda dvigatel o'qiga joylashtiriladi va bu holda mexanizm massasi va qayishqoq bog'lanish tezlik bo'yicha teskari bog'lanib olingan zonadan tashqarida qoladi. Logarifmlik amplituda tavsifida amplitudaning maksimal qiymati konservativ guruhning xususiy chastotasi yaqinida kuzatiladi.

Qayishqoq bog'lanishlarning mavjudligi tizimga tuzatish kiritilishini birmuncha qiyinlashtiradi. $\xi > 4$ bo'lganda, sifatning zarur ko'rsatkichlariga bo'ysunilgan tizimni sozlashning shtat vositalari bilan erishiladi. Lekin bu holda ham, tok konturidagi uzatish koeffitsientini pasaytirib tezkorlikni kamayishiga olib

kelinadi. Bu hollarda tezlikning hosilasi bo'yicha teskari bog'lanish kiritish yaxshi natija beradi.

ξ ning qiymati kichik bo'lganda ($2 < \xi < 4$ oraliqda) tizimni sozlash bo'yicha qiyinchiliklar tug'iladi. Agarda talab etilayotgan jarayonni ta'minlash mumkin bo'lmasa, u holda tezlik konturida uzatish koeffitsientini kamaytirib tizim tezkorligi pasaytiriladi.

Ancha qiyin sharoitlarda, ya'ni dvigatel va mexanizm massalari bir – biriga yaqin bo'lganda ($0,2 < \xi < 2,0$) qo'shimcha tuzatish vositalaridan foydalanishga to'g'ri keladi, bu holda mexanizm o'qining tezligi va uning hosilasi bo'yicha teskari bog'lanish kiritiladi. Bu bog'lanishni amalga oshirish uchun mexanizm o'qiga xabarchi qo'yishga to'g'ri keladi.

«K» kuzatish koeffitsientiga tizimni teskari bog'lanish kiritilganda (6.61) dan kelib chiqqan holda quyidagi uzatish funktsiyasini olamiz

$$W(p) = \frac{C_{\varphi} K}{p(J_d P + C_d)(J_m P + C_m) + C_{\varphi} [(J_d + J_m)P + C_d + C_m] + C_{\varphi} K} \quad (6.71)$$

Bu ifodadan ko'rinib turibdi-ki uzatish koeffitsienti K ancha katta qiymat bo'lgan C_{φ} ga ko'paytiriladi, natijada tenglama ildizlari musbat yarim tekislikka o'tib ketishi mumkin, ya'ni tizim barqaror bo'lmay qoladi. Uzatish koeffitsienti K ning qiymati sezilarli darajada chegaralanishi kerak. Shuning uchun $d\omega/dt$ hosila bo'yicha signal kiritish maqsadga muvofiq bo'ladi.

Qayishqoq mexanik bog'lanishlarga ega bo'lgan ishchi mashina elektr yuritmasining boshqarish tizimini sintez qilayotganda birinchi navbatda ishchi mashinaning o'qini tebranishlarini yo'qotishga harakat qilishni ko'zda tutish kerak, chunki bu tebranishlar mashinaning ishlash sifatini yomonlashuviga olib keladi.

Dvigatel o'qining tebranishi texnologik jarayonga kam ta'sir qiladi, lekin bu tebranish asosan dvigatel va reduktor mexanik qism va detallarni tezroq ishdan chiqishiga olib keladi.

Mexanik uzatma oraliq guruhining qayishqoqlik xususiyatlari va qo'shimcha massalarini hisobga olib tizimni uchta massali tizim sifatida qaralganda bu tizimni sozlash katta qiyinchiliklar tug'diradi. Bu holda tizim ishlashini yaxshilash uchun ob'yekt holati kuzatuvchisini qo'llab adaptiv (moslanuvchi) boshqaruvchi qo'llashga to'g'ri keladi.

6.7. BO'YSUNILGAN ROSTLASH TIZIMLI ELEKTR YURITMALAR

Bo'ysunilgan rostlash tizimli elektr yuritmalar sanoatning mashinasozlik va metallurgiya sohalarida, qog'oz va kabel mahsulotlari ishlab chiqarishda keng ko'lamda qo'llanilib kelinmoqda. Bo'ysunilgan rostlash tizimlarida ketma – ket korreksiya (tuzatish) qo'llaniladi. Bu esa o'tkinchi jarayon sifat ko'rsatkichlarini biz xohlagancha etib sozlash imkonini beradi. Bo'ysunilgan rostlash tizimining

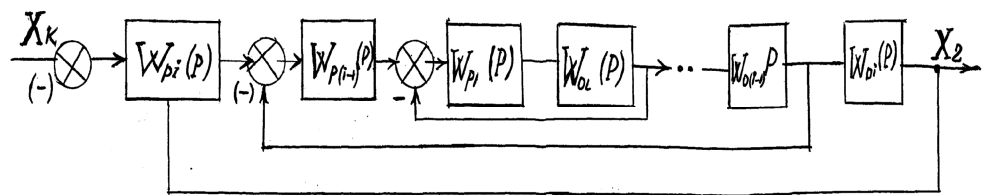
umumlashtirilgan tuzilish sxemasi (6.10 – rasm) ketma – ket korrektsiyali tizimning quyidagi xususiyatlarini aniqlashga imkon beradi:

1. Bunday tizimda koordinatalari rostlanadigan ob'yekt ketma –ket ulangan chiziqli aperiodik va integrallovchi guruhlardan tashkil topgan bo'lib, ularning uzatish funksiyalari 1 – rasmda quyidagicha belgilangan $W_{01}(P)$, $W_{02}(P)$ $W_{0i}(P)$. .

2. Rostlanadigan koordinata $X_1, X_2, \dots, X_i$ soni rostlash tizimida rostlanuvchi ob'yektdagi aperiodik va integrallovchi guruhlar soniga teng etib tanlanadi.

3. $W_{p1}, W_{p2}, \dots, W_{pi}(p)$ rostlagichlarning soni rostlash tizimida nazorat etilayotgan koordinata soniga teng. Barcha rostlagichlar o'zaro shunday ketma – ket ulangan-ki keyingi rostlagichga topshiriq sifatida undan oldingi rostlagichning chiqishi xizmat qiladi. Har bir rostlagich kirishiga shu rostlagich rostlaydigan o'zgaruvchi bo'yicha manfiy teskari bog'lanish beriladi va shunday qilib tizimda bir – birini ketma – ket o'rab oladigan birinchi ichki konturdan oxirgisigacha rostlash konturlari hosil bo'ladi, ya'ni rostlash konturlarining soni tizimda rostlanuvchi koordinatalar soniga teng.

4. Har bir o'zgaruvchini (koordinatani) cheklash undan oldingi rostlagichning chiqish signalini chegaralash bilan amalga oshiriladi.



6.10- rasm. Ketma – ket korrektsiyali bo'ysunilgan tizimning tuzilish sxemasi

5. Tizim rostlash qismining kirishida o'tkazish yo'li (palosa) ni aniqlaydigan va shu bilan birga barcha tizimni xalaqitga chidamliyligini ta'minlaydigan filtr o'rnatiladi. Bu filtrning vaqt doimiyliigi avtomatik rostlash tizimining asosiy parametri hisoblanib tizimning tezkorligini va rostlash aniqligini belgilaydi.

6. Rostlagichlar $W_{p1}(p), W_{p2}(p) \dots W_{pi}(p)$. W_{pi} ning uzatish funksiyalari ketma – ket korrektsiyalash usuli bilan tanlanadi, bu yerda standart ko'rinishdagi uzatish funksiyasi kompensatsiyalanadi.

Rostlagichlarning uzatish funksiyalari rostlash konturining maqbul uzatish funksiyalari asosida tanlanadi. Maqbul uzatish funksiyalari sifatida $(i+1)$ darajali $B_{i+1}(P)$ standart uzatish funksiyalari qabul qilinadi. Xususiy holda birinchi va ikkinchi yopiq rostlash konturlari uchun maqbul sifatida quyidagi uzatish funksiyalari qabul qilinadi:

birinchi kontur uchun ikkinchi darajali standart sozlashga mos keladigan uzatish funksiyasi

$$B_1(P) = \frac{1}{1 + 2T_\mu P + 2T_\mu^2 P^2}; \quad (6.60)$$

Ikkinchi kontur uchun uchinchi darajali standart sozlashga mos keladigan uzatish funksiyasi

$$B_2(P) = \frac{1}{1 + 4T_\mu P + 8T_\mu^2 P^2 + 8T_\mu^3 P^3}. \quad (6.61)$$

Umumiy holda yopiq optimal sozlangan i konturning uzatish funksiyasi quyidagi ko'rinishga ega bo'ladi

$$W_{yoi}(P) = B_{(i+1)}(P) = \frac{1}{2^i T_\mu P \frac{1}{B_i(P)} + 1}. \quad (6.62)$$

bu yerda $B_i(P)$ – i darajali standart uzatish funksiyasi T_μ - qoplanmaydigan vaqt doimiysi.

Ko'rib chiqilayotgan 6.10 – rasmdagi tizim uchun barcha teskari bog'lanishlar birlik teskari bog'lanish bo'lganligi uchun (6.62) formula asosida ochiq i konturning maqbul uzatish funksiyasi quyidagi ko'rinishga ega bo'ladi.

$$W_i(P) = \frac{B_i(P)}{2^i T_\mu P} \quad (6.63)$$

Har bir i kontur $W_p(P)$ uzatish funksiyali rostlagichga, $W_{yo(i-1)}(P)$ qB $i(P)$ uzatish funksiyali optimal sozlangan $(i-1)$ yopiq konturga va $W_{oi}(P)$ uzatish funksiyali rostlanuvchi ob'yektga egadir, ya'ni ochiq ravishdagi I konturning uzatish funksiyasi quyidagi tenglik bilan ifodalanadi.

$$W_i(P) = W_{pi}(P) \cdot W_{\ddot{e}(i-1)}(P) \cdot W_{oi}(P) = W_{pi}(P) \cdot B_i(P) \cdot W_{oi}(P) \quad (6.64)$$

(6.63) va (6.64) ifodalarni bir – biriga tenglab umumiy ko'rinishda ushbu konturni optimal sozlashni ta'minlaydigan I konturi rostlagichining uzatish funksiyasini olamiz,

$$W_{pi}(P) = \frac{1}{\frac{W_{oi}(P)}{2^i T_\mu P}} \quad (6.65)$$

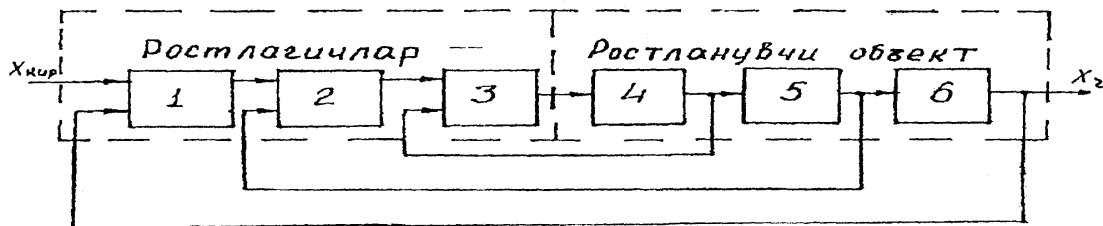
Shuni ta'kidlash lozimki konturlar sonining ortishi bilan rostlash tizimining tezkorligi pasaya boradi.

Shunday qilib biz umumiy holda bo'ysunilgan tizimni sintez qilish natijasida har bir konturdagi rostlagichning uzatish funksiyasini aniqlashni ko'rib chiqdik.

Misol tariqasida 6.11– rasmda keltirilgan umumiy ko'rinishdagi uchta konturli tizimning funksional sxemasini ko'rib chiqamiz. 6.12 - rasmda quyidagi

belgilashlar qo'llanilgan: 1 ÷ 3 rostlagichlar: 4 ÷ 6 boshqariluvchi ob'jekt guruhlari.

Rasmdan ko'rinib turibdi-ki tashqi kontur 1 – rostlagich va boshqariluvchi ob'jektning 6 – guruhi, bu konturga bo'ysunadigan ichki kontur 2 – rostlagich va boshqariluvchi ob'jektning 5 – guruhidan va oxirgi bo'ysinuvchi ichki kontur 3 – rostlagich va 4 – guruhdan tashkil topgan.



6.11- rasm. Bo'ysunuvchan rostlanuvchi tizimning umumlashtirilgan tuzilish sxemasi

Bo'ysunuvchi rostlashning parallel korreksiya (tuzatish)ga nisbatan afzalliklari koordinatalarni chegaralash masalalarini yechishni soddalashtirishdan, sozlashni yengillashtirishdan va turli ob'yektlarning boshqaruvchi qismlarini tashkil topishidan iborat.

Yetishmovchiligi esa – tezkorlikni bir oz pasayishidan iborat, chunki tizimni chiqishiga ta'sir to'g'ridan – to'g'ri emas, balki bir necha ichki konturlardan o'tibgina ta'sir etadi.

Ko'pchilik hollarda konkret elektr yuritmalarda ko'rsatilgan yetishmovchilik hisobga olinmaydi, balki tizimning afzalliklari hal qiluvchi ahamiyatga egadir.

Odatda rostlanuvchi ob'jekt matematik jihatdan ifodalanadi va ma'lum uzatish funksiyasiga ega bo'lgan guruhlariga bo'linadi. Ko'pchilik hollarda yopiq va ochiq rostlash tizimining xohlangan uzatish funktsiyasi oldindan ma'lum bo'ladi va u rostlanuvchi ob'jektning dinamikasiga qo'yilgan talablardan kelib chiqadi. Bo'ysunuvchan rostlash prinsipi rostlagichlar uzatish funksiyasini qidirishni va xohlagan boshqarishni amalga oshirishni yengillashtiradi.

Yuqorida keltirilgan tuzilish sxemasiga binoan yopiq tizimning uzatish funksiyasi quyidagicha yoziladi:

$$W_{yo}(P) = \frac{W_1(P)W_i(P)W_6(P)}{1 + W_1(P)W_i(P)W_6(P)} \quad (6.66)$$

bu yerda: $W_{yo}(P)$ – boshqariluvchi ob'ekt dinamikasiga qo'yilgan talablardan kelib chiqqan holda tanlanadi; $W_1(P)$ - qidirilayotgan rostlagichning uzatish funksiyasi; $W_i(P)$ – ichki konturning uzatish funksiyasi; $W_6(P)$ – boshqariluvchi ob'jektning oxirgi guruhining uzatish funksiyasi.

Shunga o'xshash oraliq ichki kontur uzatish funksiyasi yoziladi. Oxirgi ichki kontur uzatish funksiyasi quyidagicha yoziladi:

$$W_{i1}(P) = \frac{W_3(P)W_4(P)}{1 + W_3(P)W_4(P)} \quad (6.67)$$

bu yerda $W_{i1}(P)$ – birinchi ichki yopiq konturning maqbul uzatish funksiyasi; $W_4(P)$ – boshqariluvchi ob'jektning birinchi guruhining uzatish funksiyasi; $W_3(P)$ – qidirilayotgan rostlagichning uzatish funksiyasi: (6.67) va (6.68) dan quyidagilar kelib chiqadi

$$W_1(P) = \frac{W_{yo}(P)}{W_u(P)W_6(P) - W_{yo}(P)W_i(P)W_6(P)} \quad (6.68)$$

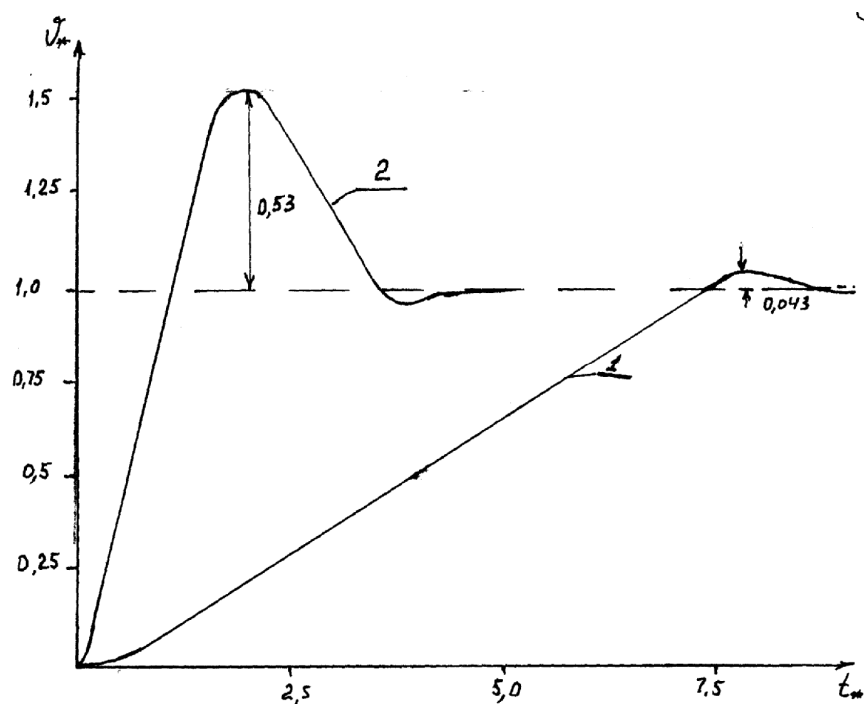
$$W_3(P) = \frac{W_{yo}(P)}{W_4(P) - W_{yo}(P)W_4(P)} \quad (6.69)$$

Bo'ysunilgan rostlash tizimini modul (texnik) optimum bo'yicha optimallashtirish. Maqbul uzatish funksiyasini tanlash uchun texnik optimum (modul bo'yicha optimum) deb nomlangan optimallashtirish taklif etiladi va u tebranuvchi guruh uzatish funksiyasiga mos keladi.

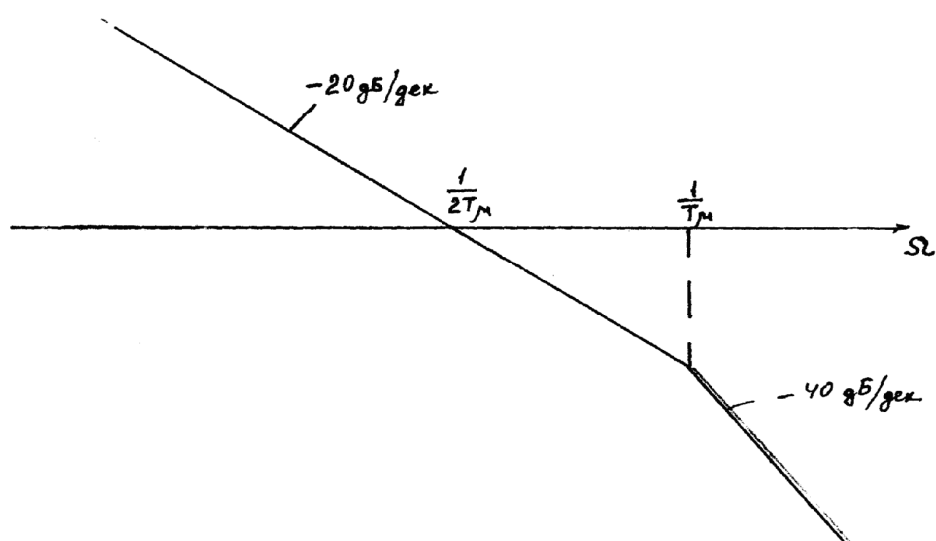
$$W_k(P) = \frac{1}{1 + 2pT\mu + p^2T_\mu^2} \quad (6.70)$$

Bu dempferlash koeffitsienti $1/\sqrt{2}$ ga teng bo'lgan tebranuvchi guruhning uzatish funksiyasi. Birlilik kirish signali berilganda guruhning chiqishida signal 6.12 – rasmda 1- egri chiziqda ko'rsatilganidek o'zgaradi.

O'ta rostlanish – 4,3% ni, o'tkinchi jarayon boshlangandan so'ng birinchi maksimum nuqtasiga erishish $4,6 T_\mu$ ni tashkil etadi. Tebranuvchi guruh (6.70) guruhning kirish va chiqishini quyidagi uzatish funksiyasi bilan birlashtirilganda hosil bo'ladi.



6.12- rasm. Optimallashtirilgan tizimning o'tkinchi jarayonlari: 1- modul (texnik) optimum bo'yicha; 2 – simmetrik optimum bo'yicha .



6.13- rasm. Modul (texnik) optimum bo'yicha optimallashtirilgan tizimning asimptotik LChT

$$W_o(P) = \frac{1}{2pT_\mu + (1 + PT_\mu)} \quad (6.71)$$

Ochiq tizimning (6.71) uzatish funksiyasining asimptotik logarifmik amplituda – chastota tavsifi (LChT) 6.13 – rasmda keltirilgan.

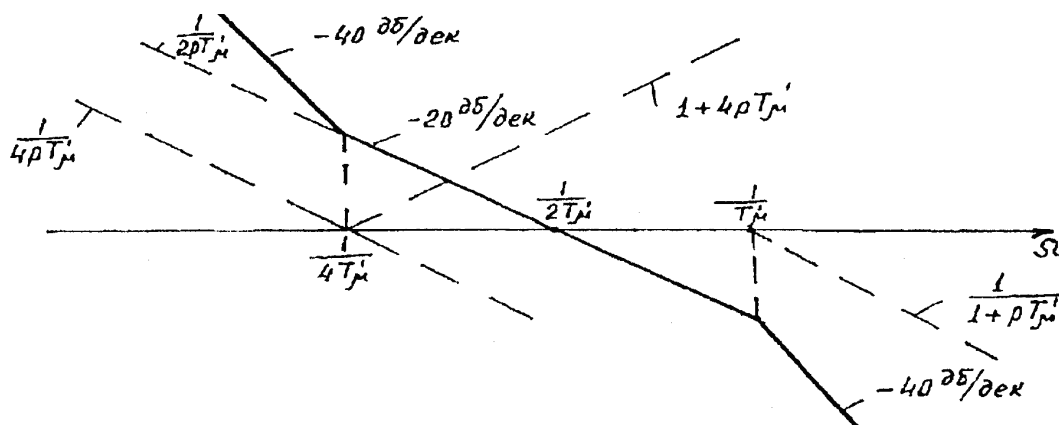
Yopiq tizimning maqbul uzatish funksiyasini tanlayotganda T_μ ni rostlanuvchi ob'yektning kompensatsiya qilinmaydigan (qoplanmaydigan) kichik vaqt doimiyligiga teng deb qabul qilinadi.

Bu vaqt doimiyligini prinsipial ravishda kompensatsiya qilib bo'lmaydi yoki tizimning to'siqlarga barqarorliklaridan kelib chiqqan holda mumkin emas. Tebranuvchi guruh tizimida kerakli statik hatolik (statizmni ta'minlaydi, shuning uchun statikada tashqi ta'sirlar ostida aniq rostlash talab etilsa, (tezlikni bir xil ushlab turish) u holda qo'shimcha integral rostlagich qo'llaniladi.

Bo'ysunilgan rostlash tizimini simmetrik optimum bo'yicha optimallashtirish. Simmetrik optimumga sozlanganda ochiq rostlash konturining uzatish funksiyasi quyidagi ko'rinishga keltiriladi:

$$W_o(P) = \frac{1 + 4pT'_\mu}{4pT'_\mu \cdot 2pT'_\mu(1 + pT'_\mu)} \quad (6.72)$$

bu yerda T'_μ orqali kompensatsiyalash mumkin bo'lmagan vaqt doimiyligi belgilanadi. Bu ochiq konturning asimptotik LACHT 6.14 – rasmda keltirilgan. Shtrix chiziqlar orqali chastota tavsifini tashkil etuvchilari o'zlariga mos uzatish funksiyalari bilan ifodalangan. Tavsif kesish chastotasiga nisbatan simmetrik ravishda joylangan va shuning uchun simmetrik optimum degan nomni olgan.



6.14- rasm. Simmetrik optimum bo'yicha optimallashtiriladigan tizimning asimptotik LACHT.

Simmetrik optimumga sozlangan tizimlar statik xatolikka ega emas, lekin bunday tizimda kirishga signal berilganda chiqishda o'ta rostlanish 53% ni tashkil etadi (6.12 – rasmdagi 2 – egri chiziq), bu beriladigan signalni shakllantirish bo'yicha qo'shimcha tadbir choralar ko'rinishini taqazo etadi. Ketma – ket korrektsiyali (tuzatishli) tizimni optimallashtirish ichki konturdan boshlanadi va asta – sekin tashqiga o'tiladi. Tashqi konturga o'tayotganda bo'ysunilgan kontur uzatish funksiyasini birinchi darajaga almashtiriladi (soddalashtiriladi), bu soddalashtirishdagi xato sezilarli emas. Yangi korrektsiya qilinmaydigan vaqt

doimiyligini teskari bog'lanish xabarchisi va ichki kontur tezchilligidan kelib chiqqan holda tanlanadi. Keyingi tashqi konturga o'tayotganda ham shu yo'sinda yo'l tutiladi. Masalan oldingi tuzilish sxemasini optimallashtirilganda texnik optimum bo'yicha optimallashtirilgan, uzatish funksiya inersiyali guruh uzatish funksiyasigacha soddalashtiriladi, ya'ni;

$$W_i(P) = \frac{1}{1 + 2pT_\mu} \quad (6.73)$$

Keyingi konturga o'tayotganda kompensatsiya qilinmaydigan vaqt doimiysi $T'_\mu = 2T_\mu$ deb qabul qilinadi, bu holda esa xabarchilar inersiyasi va boshqa faktorlar hisobga olinmaydi. U holda bu konturning maqbul uzatish funksiyasi quyidagi ko'rinishga ega:

$$W_m(P) = \frac{1}{1 + 4pT'^2_\mu p^2(1 + 8T'^2_\mu p^2)} \quad (6.74)$$

Har bir tashqi kontur tezkorligi unga bo'ysunilgan ichki kontur tezkorligidan 2 marta kam. Koordinatalarini chegaralash hamma tashqi kontur signallarini chegaralash yo'li bilan amalga oshiriladi.

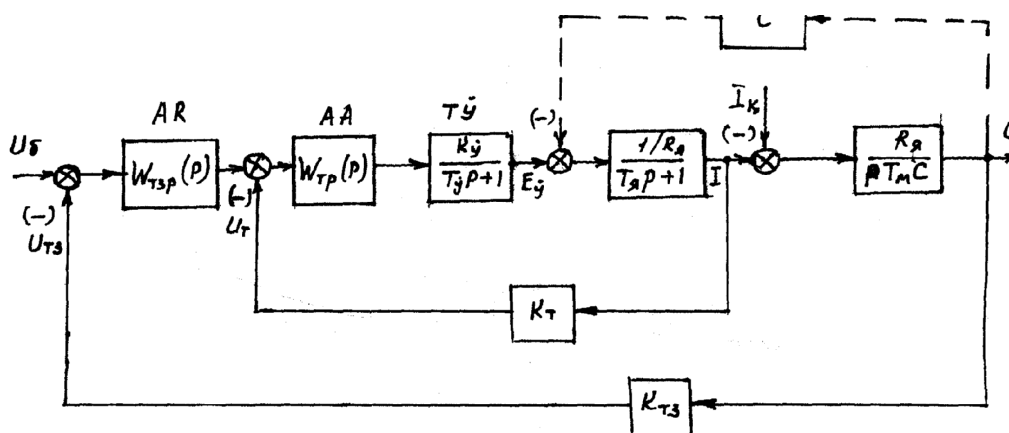
Bo'ysunilgan rostdash tizimli tiristorli elektr yuritma. Tashqi tezlik konturli va ichki yakor toki konturli tiristorli yuritma tuzilish sxemasi 6.15 - rasmda keltirilgan, bu holda $\Phi = \text{const}$ deb qabul qilingan. Boshqariluvchi ob'ekt uchta ketma - ket ulangan guruhdan iborat, bular;

$$\text{Tiristorli o'zgartgich } W_y(P) = \frac{K_y}{T_y P + 1}$$

$$\text{Motorning yakor zanjiri } W_a(P) = \frac{1}{R_a(T_a P + 1)}$$

$$\text{Yuritmaning mexanik qismi } W_m(P) = \frac{R_a}{pT_m C}$$

Ichki kontur tok rostlagichi RT - AA, tiristorli



6.15 – rasm. Bo'ysunuvchan rostlanishli tiristorli elektr yuritmaning tuzilish sxemasi

O'zgartkich TO', yakor zanjiri va uzatish koeffitsienti k_T ga teng bo'lgan tok bo'yicha teskari bog'lanish bilan o'rab olingan. Ko'pchilik hollarda motor E.YU.K ni ichki konturga ta'sirini hisobga olmaydi, chunki E.YU.K tokning o'zgarish tezligiga qaraganda ancha sekin o'zgaradi. Kerak bo'lgan holda E.YU.K ni ta'sirini qoplaydigan signal tok rostlagichiga tok bo'yicha teskari bog'lanish signaliga parallel holda berilgan.

EYUKni ta'sirini hisobga olmagan holda ochiq tok konturining uzatish funksiyasi quyidagi ko'rinishga ega bo'ladi:

$$W_T(P) = W_{TP}(P) \frac{k_y}{1 + pT_y} \cdot \frac{k_T}{R_{ya}(1 + pT_{ya})} \quad (6.75)$$

T_y qiymatni qoplanmaydigan vaqt doimiyligi T_μ ga tenglashtirib (16) ifodani ochiq konturning optimal uzatish funksiyasi (6.72) ga tenglashtirib olingan ifodadan tok rostlagichi A ning uzatish funksiyasini aniqlaymiz.

$$W_{TP}(P) = \frac{R_{ya}(1 + pT_{ya})}{2pT_\mu K_y k_T} \quad (6.76)$$

Shunday qilib tok konturi proporsional – integral rostlagich (PI – rostlagich) bilan optimallashtiriladi, optimallashtirilgan tok konturi o'z ichiga boshqaruvchi ob'yektning guruhi, tok xabarchisini va tok rostlagichini oladi. Ochiq konturning uzatish funksiyasi quyidagi ko'rinishda yoziladi.

$$W_{TZR}(P) = W_{RT}(P) \frac{1}{k_T(1 + 2pT_\mu)} \cdot \frac{R_{ya}K_{tz}}{pT_\mu c} \quad (6.77)$$

Bu yerda ichki tok konturi vaqt doimiyligi $2T_\mu$ ga teng inersiyali guruh deb qaraladi.

Qoplanmaydigan vaqt doimiyligi T'_μ ni $2T_\mu$ ga teng deb qabul etib va konturni (6.72) ifodaga muvofiq optimallashtirish va bu yerda T_μ ni T'_μ bilan almashtirsak quyidagi tenglikni olamiz:

$$W_{TZR} = \frac{k_{TZ}R_{ya}}{k_T(1 + pT_\mu)pT_\mu c} = \frac{1}{2pT_\mu(1 + pT_\mu)} \quad \text{bu yerdan}$$

$$W_{TZR} = \frac{k_T T_\mu C}{k_{TZ} 2T_\mu R_{ya}} \quad (6.78)$$

Tezlik rostlagichi – proporsional (P) rostlagich. Ikki kara integrallovchi tizim uchun (6.77) tenglamaga muvofiq simmetrik optimumga sozlangan tezlik rostlagichi (6.72) ifodaga tenglashtirib $T'_\mu = 2T_\mu$ ga teng holda:

$$W_{TZR} = \frac{1}{k_r(1+2pT'\mu)} \cdot \frac{R_{ya} k_{TZ}}{pT'\mu C} = \frac{1+4pT'\mu}{4pT\mu \cdot 2pT'\mu(1+pT'\mu)}$$

Proporsional tashkil etuvchisi P – rostlagich bilan birgalikda texnik optimumga sozlangan tizimni tashkil etadi. Ichki kontur uzatish funksiyasi tok konturini texnik optimumga sozlangan kontur bilan mos tushadi. (6.75) va (6.78) ifodalar boshqarish obyektining parametrlari o'zgaras bo'lganda kuchga ega. Amaliyotda bu parametrlarni ko'pchiligi vaqt o'tishi bilan o'zgaradi yoki yuritmani ish rejimiga qarab o'zgaradi, induktivlik magnit zanjirining to'yinishiga qarab o'zgaradi.

Ko'rsatilgan parametrlar o'rtacha qiymati 55% atrofida o'zgaradi va bu holda optimal sozlashdagi og'ish ko'p bo'lmaydi.

Savol va topshiriqlar

1. Elektromexanik tizimlarda o'tkinchi jarayonlarni hisoblashning ahamiyatini so'zlab bering.
2. O'tkinchi jarayon davomiyligiga va xarakteriga qanday zvenolar ta'sir ko'rsatadi?
3. Mexanik o'tkinchi jarayon deganda nimani tushunasiz?
4. Mexanik o'tkinchi jarayonda dvigatelning toki qanday aniqlanadi?
5. Mexanik o'tkinchi jarayonda dvigatelning burchak tezligi va momenti qanday aniqlanadi?
6. Dvigatelning yakor zanjiriga qarshilik kiritilganda o'tkinchi jarayon qanday hisoblanadi?
7. Dvigatelni ishga tushirish vaqti qanday aniqlanadi?
8. Dvigatelni tormozlash vaqti qanday aniqlanadi?
9. Elektromexanik o'tkinchi jarayon deganda nimani tushunasiz?
10. Bog'lanishlarni chiziqlashtirish maqsadida elektromexanik o'tkinchi jarayonlarni hisoblash uchun qanday joizliklar qabul qilinadi?
11. Mustaqil qo'zg'atishli o'zgaras tok dvigatelining differensial tenglamasini yozib bering.
12. Dvigatelni to'g'ridan-to'g'ri tarmoqqa ulab ishga tushirishda elektromexanik o'tkinchi jarayon qanday ko'rinishga ega bo'ladi?

VII bob. DVIKATEL QUVVATINI TANLASH VA YURITMA ENERGETIKASI

7.1. DVIKATEL QUVVATINI TANLASH

Elektr yuritmani loyihalashning asosiy bosqichlaridan biri bu dvigatel quvvatini tanlashdir. Yuritmani ishonchli va samarali ishlashi kutilayotgan yuklamaga dvigatel rejimining mos kelishiga bog'liq.

Ishlash jarayonida dvigatel chulg'amlari va magnit tizimida dvigatel haroratini ortishiga olib keladigan energiya isrofi yuzaga keladi. Haroratning ortib ketishi izolyatsiyaning eskirishi va ishdan chiqishiga olib keladi. Harorat izolyatsiya materialining fizik va kimyoviy xususiyatlariga bog'liq.

Dvigatel quvvatining ortib ketishi ham maqsadga muvofiq emas. Katta quvvatdagi dvigatel uning o'lchamlari va inersiya momentining ortib ketishiga, natijada o'tkinchi jarayonlarning cho'zilib ketishiga olib keladi. Yuklamasi kichik bo'lgan asinxron dvigatel qo'shimcha energiya sarfiga olib keladigan passiv quvvat koeffitsiyenti bilan ishlaydi.

Shunday qilib, dvigatel quvvatini tanlash uchun bir tomondan dvigatelni to'la yuklanmasligi va u ishlayotganda harorati joiz qiymatdan ortib ketmasligi uchun hisoblashlar bajarilishi kerak. Lekin bu hisoblar nominal quvvati, inersiya momenti, FIK va h.k. ma'lum bo'lgan dvigatel uchun bajarilishi darkor. Bu holda oldindan yuklama grafigi, ya'ni yuritma mexanizmining ishlab chiqarish siklidagi tok, moment va tezligining o'zgarish grafigi qurilgan bo'lishi kerak.

Demak, dvigatel quvvatini birdan aniqlab bo'lmaydi. Avval mo'ljallangan quvvatdagi dvigatel tanlanib, so'ng berilgan shartlar bo'yicha quvvatni aniqlashga to'g'ri keladi. Bunda har safar yuritma dinamikasini hisoblab, yuklama diagrammasini qurishga to'g'ri keladi. Qizish shartlari bo'yicha tanlangan dvigatel o'ta yuklanish qobiliyati bo'yicha yuklama diagrammasidagi yuklama cho'qqilariga qo'llangan holda tekshirilishi shart.

7.2. ELEKTR YURITMALARNING YUKLAMA DIAGRAMMALARI

Elektr yuritmalarni yuklama diagrammalarini qurish dvigatel quvvati hisobining majburiy bosqichi hisoblanadi. Faqat yuklama diagrammasi asosida oldindan tanlangan dvigatelni quvvati ijrochi mexanizmning ishlash rejimiga va o'ta yuklanish qobiliyatiga mos kelishini tekshirish mumkin. Mexanizm ishining ayrim bosqichlarida tezlik va tezlanish qiymatlarining haqiqiy qiymatlarini o'tkinchi jarayonlarni hisoblagandan keyingina aniqlash mumkin. Shunday qilib, faqat yuritmaning yuklama diagrammasigina tizim harakatining haqiqiy xarakterini belgilaydi.

Odatda, yuritmaning yuklama diagrammasi ish mashinasining yuklama diagrammasiga o'xshamaydi. Ular faqat mexanik tavsif absolut qattiq, ya'ni sinxron dvigatelning mexanik tavsifiga o'xshagandagina to'g'ri kelishi mumkin.

Agarda mexanik tavsif ozgina qiyaroq bo'lsa, u holda yuritmaning yuklama diagrammasi $M_d = f(t)$ inersiya massalarining ishlashi natijasida ish mashinasining yuklama diagrammasiga nisbatan tekisroq bo'ladi. Yuklama cho'qqiga erishganda inersiya massalari dvigatelning ishini yengillashtirib, yig'ilgan kinetik energiyaning bir qismini beradi: yuklama olib tashlanganda esa, ular zaryadlanadi va dvigatel statik (qarshilik) momentga nisbatan ko'proq momentga ega bo'ladi.

Elektr yuritmani loyihalashning boshlanishida loyihachida faqat ish mashinasining yuklama diagrammasi bo'ladi. Dvigatel quvvatini esa dvigatelning yuklama diagrammasi asosida tanlash mumkin. Shuning uchun bu diagrammani qurish loyihalashning asosiy masalalaridan biri bo'lib, dvigatel quvvati oldindan aniqlanadi va keyinchalik ma'lum bo'lgan quvvat uchun aniqlashtirilgan yuklama diagrammasi quriladi.

Ijrochi mexanizm ishlayotganda, odatda, statik moment uzluksiz o'zgarmas bo'lib turadi. O'tkinchi jarayonda dvigatel nafaqat statik, balki dinamik yuklamani ham yengishi kerak. Shu bois dvigatelning qizishini aniqlaydigan o'rtacha kvadrat momenti qiymati har doim statik momentning o'rtacha qiymatidan yuqori bo'ladi. Shuning uchun dvigatelni dastlabki tanlashda uning nominal momentini statik momentning o'rtacha qiymatidan katta qilib, qabul qilinadi:

$$M_{nom} = (1\div 1,6)M_{q.o'r}, \quad (7.1)$$

bu yerda: $M_{q.o'r}$ — ishlash sikli vaqti t_s davomidagi statik momentning o'rtacha qiymati.

Bundan tashqari M_{nom} ni aniqlashning quyidagi formulalarini ham tavsif etish mumkin:

$$M_{nom} = (M_{q.o'r} + M_{o'r.kv})/2; \quad (7.2)$$

$$M_{nom} = \sqrt{M_{q.o'r} \cdot M_{ur,kv}}; \quad (7.3)$$

bu ifodalarda $M_{o'r.kv}$ — statik momentning o'rtacha kvadrat qiymati, bu qiymat ish mashinasining yuklama diagrammasidan aniqlanadi.

Qabul qilingan taxminiy quvvat asosida katalogdan dvigatel tanlanadi va quyidagi formula bo'yicha tizimning inersiya momenti aniqlanadi.

$$J = J_{dd} + (J_M/j^2); \quad (7.4)$$

bu yerda: d — dvigatel va ish mashinasi orasidagi mexanik zvenolar inersiya momentini hisobga oladigan koeffitsiyent; j — mexanik uzatmaning uzatish soni.

Shundan so'ng, o'tkinchi rejimlar hisoblanadi va dvigatelning yuklama diagrammasi quriladi. Bu diagramma esa dvigatel chulg'amlarini qizishga tekshirish uchun asos bo'ladi.

Lekin issiqlik rejimlarini hisoblash va dvigatel quvvatini tanlash uchun, odatda, o'tkinchi jarayonlarni qurishda katta aniqlik talab etilmaydi. Shuning uchun yuklama diagrammalari soddalashtirilgan usulda, ya'ni

7.1- rasm. Elektr yuritmaning yuklanish diagrammasi.

ishga tushirish va tormozlash bosqichlarida moment va toklarning qiymatlarini o'zgarmas, deb qabul qilgan holda hisoblab quriladi. Bundan tashqari zamonaviy elektr yuritmalarda tok va momentlarning qiymatlari maxsus chegaralash va jadallashtirish sxemalari bilan o'zgarmas saqlab qolinadi. Bunda tezlanishni ham o'zgarmas saqlanishiga erishib tezlikning chiziqli o'zgarishi ta'minlanadi. 7.1-rasmda bitta sikl uchun yuklama diagrammasi keltirilgan.

Shunday qilib, dvigatel quvvati dastavval (7.1) — (7.3) tenglamalarga muvofiq aniqlanishi kerak. Shundan so'ng katalogdan dvigatelning inersiya momenti bilan jamlangan holda dvigatelning soddalashtirilgan yuklama diagrammasini hisoblash uchun elektromexanik tizimning inersiya momentining qiymati aniqlanadi. 7.3. Statik va dinamik rejimlarda energiya isrofi Dvigatelning issiqlik holatini baholash uchun uning aktiv qismlarida ajralayotgan isroflarni yuritmaning ishlashiga bog'liq ravishda aniqlash kerak. Kataloglarda dvigatelning nominal yuklamadagi FIK keltiriladi. Turli yuklamalarda dvigateldagi isroflarni (yo'qotishlarni) aniqlash uchun dvigatelning FIK o'zining maksimal qiymatiga o'zgarmas q_{doim} va o'zgaruvchan $q_{o'zg}$ isroflarning tenglik shartidan kelib chiqqan holda yondoshish zarur. U holda mos ravishda

$$q_{doim} = q_{o'zg} \cdot n_{om} \quad (7.5)$$

Ba'zan bu shartga to'liq rioya qilinmaydi. Dvigatel o'qidagi quvvat (0,9÷0,95) R_{nom} xarakterga ega bo'lgan rejimdir. U holda quyidagini yozish mumkin

$$q_{doim} = g q_{o'zg} \cdot n_{om} \quad (7.6)$$

Nominal rejimdagi to'la isroflar Q_{nom} katalogda berilgan ma'lumotlar asosida quyidagicha aniqlanishi mumkin:

$$Q_{\text{nom}} = P_{\text{nom}}(1 - h_{\text{nom}})/h_{\text{nom}} = q_{\text{doim}} + q_{\text{o'zg.nom}} \quad (7.7)$$

Yuklamaning ma'lum qiymatidagi

$$Q_x = q_{\text{doim}} + x^2 \cdot q_{\text{o'zg.nom}} \quad (7.8)$$

bu yerda: $x = P_2 / P_{\text{nom}}$ dvigatelning yuklanish koeffitsiyenti. Aniqroq qilib, quyidagicha $x = I/I_{\text{nom}}$ yoziladi. Chunki chulg'amlardagi isroflar va ularning qizishi asosan ulardan o'tayotgan tokka bog'liq.

FIK ning maksimal qiymati nominaldan farqli bo'lgan yuklama qiymatida (7.6) tenglamaga binoan quyidagini olamiz:

$$q_{\text{doim}} = Q_{\text{nom}} \cdot g / (g + 1); \quad (7.9)$$

$$q_{\text{o'zg.nom}} = Q_{\text{nom}} / (g + 1). \quad (7.10)$$

U holda yuklamaning nominaldan farqli qiymatlaridagi isrofning ifodasi quyidagi ko'rinishda bo'ladi

$$\begin{aligned} Q_x &= Q_{\text{nom}} \cdot g / (g + 1) + Q_{\text{nom}} \cdot x^2 / (g + 1) = \\ &= Q_{\text{nom}} \cdot (g + x^2) / (g + 1). \end{aligned} \quad (7.11)$$

Tabiiyki, ushbu formuladan foydalanish uchun g ning qiymati ma'lum bo'lishi kerak. Lekin katta xatoliklarsiz g ning qiymatini $g = 1$ deb qabul qilish mumkin.

O'tkinchi rejimlardagi isroflarni aniqlash ancha qiyinchilik tug'diradi. Dvigatel harakatlanayotgan va tormozlanayotgan vaqtda statik yuklamadan tashqari inersiya massalarining tezlanishi bilan bog'liq bo'lgan dinamik yuklama ham ta'sir etadi. Bunda dvigatel toki sezilarli darajada o'zgaradi va energiya isroflari vaqtning murakkab funksiyasi bo'lib qoladi.

Isroflarning aniq hisobi faqat yuklama diagrammasi — tok va tezlikning o'zgarish grafigi mavjud bo'lgandagina amalga oshirilishi mumkin. Ta'minot kuchlanishini o'zgarimas (doimiy) deb qabul qilib, tezlatish va tormozlashda dvigatel zanjirida ajralib chiqayotgan isroflarni taxminan baholash mumkin.

Mustaqil qo'zg'atishli dvigatelni salt yurishda (yuklamasiz) ishga tushirishdagi isroflarni ko'rib chiqamiz. Ifodalarni soddalashtirish va jarayonning energetik ko'rsatkichlariga ta'sir etayotgan asosiy omillarni yanada oydinlashtirish uchun po'latdagi isroflarni hisobga olmaymiz. Mexanik tavsiflarni tahlil qilayotganda mexanik isrofni ish mashinasi hosil qilayotgan yuklamaga qo'shib yuboramiz.

Tarmoqdan iste'mol qilinayotgan quvvat qisman yakor zanjiridagi qarshiliklarda yo'qolib, asosan mexanik energiyaga aylanadi:

$$P = P_m + P_{el}. \quad (7.12)$$

Dvigatelni salt yurishda ishga tushirayotganda ($M_q = 0$) harakat tenglamasi quyidagi ko'rinishga ega bo'ladi:

$$M_d = Jdw/dt.$$

Dvigatel magnit maydoni o'zgarmas bo'lganda

$$M_d = K_M I; E = K_E w,$$

bu yerdan tok $I = J/K_M \cdot dw/dt$. (7.13)

Dvigatel t_1 vaqtdan t_2 vaqtgacha harakatlanayotganda tarmoqdan iste'mol qilinayotgan energiya

$$\begin{aligned} A &= \int_{t_1}^{t_2} UI dt = \int_{w_1}^{w_2} K_E \omega_0 (J/K_M) dw = \\ &= (K_E/K_M) J w_0 (w_2 - w_1). \end{aligned} \quad (7.14)$$

SI sistemasida $K_E = K_m$ bo'lganligi uchun

$$A = J w_0 (w_2 - w_1). \quad (7.15)$$

Salt yurishda harakatlanayotganda dvigatel tezligi ideal salt yurish tezligiga teng. Shuning uchun integrallash chegarasi $w_1 = 0$ dan to $w_2 = w_0$ gacha bo'ladi. Bu integrallash chegaralaridan (9.15) ifodadan foydalanib quyidagini olamiz:

$$A = J w_0^2. \quad (7.16)$$

Yuritma inersiya massalariga beriladigan energiya:

$$\begin{aligned} A &= \int_{t_1}^{t_2} P_m dt = \int_{t_1}^{t_2} EI dt = \int_0^{w_0} K_E w \cdot (J/K_M) (dw/dt) \cdot dt = \\ &= J w_0^2 / 2 \end{aligned} \quad (7.17)$$

Yakor zanjiridagi energiya sarfi:

$$A_{el} = \int_{t_1}^{t_2} I^2 r dt = A - A_m = J w_0^2 - J w_0^2 / 2 = J w_0^2 / 2. \quad (7.18)$$

Shunday qilib, dvigatelni salt yurishda ishga tushirilganda tarmoqdan yuritma inersiya massalari kinetik energiyasi zaxirasiga ikki baravar ko'p bo'lgan energiya iste'mol qilinadi ekan.

Ta'minlanayotgan energiyaning yarmi kinetik energiya ko'rinishida o'qqa beriladi, ikkinchi yarmi esa yakor zanjiridagi qarshiliklarda yo'qotiladi ekan. Demak dvigatel — mexanizm tizimida o'tkinchi jarayonlarni tezlatish va isroflarni kamaytirish maqsadida iloji boricha kichik inersiya momentiga ega bo'lish lozim ekan. Shuning uchun yuritmalarda inersiya momenti kichik bo'lgan dvigatel o'rnatish, yoki bitta dvigatel o'rniga ikkita kichik quvvatli bir-biri bilan mexanik bog'langan dvigatellarni o'rnatish maqsadga muvofiqdir.

Shuni hisobga olish kerakki, isroflar nafaqat dvigatel chulg'amlarida, balki ketma-ket ulangan qarshiliklarda ham ajralib chiqadi. Demak, qo'shimcha qarshiliklar kiritib sarflarning bir qismini dvigateldan tashqariga olib chiqish mumkin.

Agarda dvigatelni tezlatish uchun bir nechta pog'ona qarshiliklari qo'llanilsa va kuchlanish asta-sekin oshirilsa, ishga tushirish isroflarini birmuncha kamaytirish mumkin.

Dvigatel yuklama ostida ishga tushirilayotganda u ham tezlatish uchun kerak bo'lgan momentni, ham statik (qarshilik) momentini yenga oladigan momentni hosil qilishi kerak. Bu esa yakordagi isroflarni ko'paytiradi.

Mustaqil qo'zg'atishli o'zgarmas tok dvigatelining o'qida o'zgarmas statik moment $M_q = \text{const}$ bo'lganda ishga tushirilayotgandagi ifodani aniqlaymiz. Harakat tenglamasiga $M_d = K_M I$ qiymatni qo'yib, quyidagini olamiz:

$$I = (J/K_M) \cdot (dw/dt) + M_q/K_M. \quad (7.19)$$

Agar po'latdagi isroflarni va mexanik isroflarni statik momentga qo'shib yuborsak, dvigatel ishga tushirilayotganda berilayotgan energiya quyidagi ifoda bilan aniqlanadi:

$$\begin{aligned} A &= \int_0^{t_p} UI dt = \int_0^{t_p} K_E w_0 \left(\frac{J}{K_M} \frac{dw}{dt} + \frac{M_q}{K_M} \right) dt = \\ &= K_E w_0 \left(\frac{J}{K_M} \int_0^{\omega_q} dw + \frac{M_q}{K_M} \int_0^{\omega_q} dt \right) \end{aligned}$$

bu yerda: w_q — mexanik tavsif bo'yicha M_q ga mos keladigan burchak tezlik, t_p — ishga tushirish vaqti $K_E = K_M$ deb qabul qilib, quyidagini olamiz:

$$A = Jw_0w_q + M_qw_0 t_p \quad (7.20)$$

Energiyaning mexanik energiyaga aylanadigan tashkil etuvchisini aniqlaymiz:

$$\begin{aligned} A_M &= \int_0^{t_{i,t}} E I dt = \int_0^{t_{i,t}} K_E w \left(\frac{J}{K_M} \frac{dw}{dt} + \frac{M_q}{K_M} \right) dt = \\ &= K_E \left(\frac{1}{K_M} \int_0^{w_q} w dw + \frac{M_q}{K_M} \int_0^{t_{i,t}} w dt \right) = \\ &= K_E \left(\frac{1}{K_M} \int_0^{w_q} w dw + \frac{M_q}{K_M} \int_0^{t_{i,t}} w dt \right) = \end{aligned} \quad (7.21)$$

Olingan tenglikdagi integral yuritmaning vaqt mobaynida o'tgan $a_{i,t}$ yo'lini ko'rsatadi. Harakatni tekis tezlanuvchan deb qabul qilib, quyidagini aniqlash mumkin

$$a_{i,t} = \int_0^{t_{i,t}} w dt \gg w_q t_{i,t} / 2, \quad (7.22)$$

bu holda

$$A_M = J w_q^2 / 2 + M_q w_q t_{i,t} / 2. \quad (7.23)$$

Keltirilgan (7.23) tenglikning birinchi tashkil etuvchisi yuritma va mexanizm inersiya massalarida to'plangan energiya; ikkinchisi esa, harakatlanayotgan vaqtda (ishga tushirish vaqtda) mexanizm foydali ishga sarf bo'lgan energiyadir.

Dvigateldagi energiya sarfi

$$\begin{aligned} A_{el} &= A - A_M = \\ &= J w_0 w_q + M_q w_0 t_{i,t} - \frac{J w_q^2}{2} - \frac{M_q w_q t_{i,t}}{2}. \end{aligned} \quad (7.24)$$

Soddalashtirish uchun $w_0 \gg w_q$ deb qabul qilib, quyidagini aniqlaymiz

$$A_{el} \gg \frac{J w_q^2}{2} + M_k \frac{w_q t_{i,t}}{2}. \quad (7.25)$$

Demak, olingan natija shuni ko'rsatadiki, o'zgarmas qarshilik momenti mavjud bo'lganda ishga tushirish paytida dvigatel yakorida sarf bo'lgan energiya ikki

qismdan iborat: birinchisi elektr yuritma inersiya massalarining tezlanishidan hosil bo'lgan isrof va ikkinchisi dvigatel o'qidagi statik (qarshilik) momenti hisobiga hosil bo'lgan isroflar. Bu yerda shuni e'tirof etish kerakki, dvigatel o'qida statik moment mavjudligida uni ishga tushirilganda energiya sarfi ishga tushirish vaqti (davomiyligi ortgan sari), ya'ni dvigatel momenti kamaygan sari ortaveradi.

Endi asinxron dvigateldagi isroflarni qarab chiqamiz. Salt yurishda ishga tushirish paytida uning ikkilamchi zanjiridagi energiya sarfi quyidagicha aniqlanadi:

$$\begin{aligned} A_{el} &= \int_0^{t_{i,t}} M_q w_0 S dt = \int_0^{t_{i,t}} J \frac{dw}{dt} w_0 \frac{w_0 - w}{w_0} dt = \\ &= J w_0^2 - \frac{J w_0^2}{2} = \frac{J w_0^2}{2}. \end{aligned} \quad (7.26)$$

Demak, asinxron dvigatel uchun rotor zanjiridagi energiya sarfi xuddi mustaqil qo'zg'atishli o'zgarmas tok dvigatelidagi omillar bilan aniqlanar ekan. Lekin shuni ta'kidlash joizki, qisqa tutashgan rotorli asinxron dvigatelda barcha isroflar bevosita dvigatelning chulg'amlarida ajralib chiqadi. Bu holat dvigatelni bir soatda ishga tushirish yoki reverslash sonini chegaralab qo'yadi, aks holda dvigatel chulg'amlari qizib ishdan chiqib qolishi mumkin.

Asinxron mashinalarda rotor zanjiridagi energiya sarfidan tashqari stator chulg'amlarida ham energiya sarfi mavjud. Magnitlovchi tokni hisobga olmagan holda quyidagini yozish mumkin:

$$I_1 = I_2 \cdot E_{20} / U_1,$$

bu yerda: E_{20} — qo'zg'almas rotorda induksiyalanayotgan EYK; U_1 — tarmoq kuchlanishi.

Stator misidagi energiya sarfini rotordagi A_2 sarf orqali ifodalash mumkin:

$$A_1 = A_2 \left(\frac{E_{20}}{U_1} \right)^2 \frac{r_1}{r_2}, \quad (7.27)$$

bu yerda: r_1 va r_2 — stator va rotor faza chulg'amlarining aktiv qarshiliklari; A_2 — rotor zanjiridagi energiya sarfi.

Asinxron dvigatel chulg'amlaridagi umumiy energiya sarfi

$$A_{el} = A_1 + A_2 = A_2 \left[1 + \left(\frac{E_{20}}{U_1} \right)^2 \frac{r_1}{r_2} \right],$$

yoki

$$A_{el} = A_2 \left[1 + \frac{r_1}{r_2} \right]. \quad (7.28)$$

Qisqa tutashgan rotorli asinxron dvigatelni yuklama ostida ishga tushirganda yuzaga kelgan isroflarni mexanik tavsif formulasidan foydalanib, ya'ni uning qiyaligini hisobga olgan holda aniqlash mumkin. Bundan isroflarning kritik sirpanishga bog'liqligi aniqlanadi. S_k i 0,5 bo'lganda isrof egri chizig'i minimumga ega bo'ladi. Bundan ko'rinadiki, ko'p marta ishga tushiriladigan mexanizmlar uchun oshirilgan sirpanishli dvigatellarni tanlash va ishlatish taqozo etiladi.

7.4. ELEKTR DVIGATELDAGI ISSIQLIK JARAYONLARI

Elektr mashina issiqlik ajratib chiqarishi nuqtayi nazaridan murakkab obyekt hisoblanadi. Issiqlik energiyasi chulg'amlarda va po'lat o'zaklarda ajralib chiqadi, chulg'amlar hamda o'zak orasidagi issiqlik almashuvi elektr izolyatsiya qatlami orqali amalga oshadi. Bu qatlam shu bilan birga issiqlikni ham izolyatsiyalaydi.

Dvigatel quvvatini tanlashda issiqlik jarayonlarini tahlil etish zaruriyati bo'lmaganligi uchun muhandislik hisobini soddalashtirish maqsadida dvigatelni issiqlik jihatidan bir jinsli jism deb qaraladi. Shunday qilib, barcha ichki issiqlik jarayonlari hisobga olinmaydi. Dvigatel bir jinsli jism sifatida issiqlik sig'imiga va issiqlik chiqarish qobiliyatiga egadir. Bu holda issiqlikning muvozanat tenglamasi quyidagi ko'rinishda yoziladi:

$$Qdt = Cd t + A t dt, \quad (7.29)$$

bu yerda: Q — issiqlik sarfi, J/s; C — dvigatel isiqlik sig'imi J/K; A — issiqlik chiqarish koeffitsiyenti, J/(C•K); t — dvigatel harorati J_d ni J_0 atrof-muhit haroratidan ortishi yoki boshqacha aytganda qizib ketishi, $t = J_d - J_0$.

(7.29) tenglamada issiqlikning tarqalishi (yoyilishi) t ga proporsional, deb qaraladi.

Dvigatelni tanlash masalasini yengillashtirish maqsadida atrof-muhit haroratini +40°C ga teng deb olinadi. Bu ayniqsa, O'rta Osiyo mintaqasiga juda mos keladi. Shunga muvofiq turli izolyatsiya klasslari uchun qizish chegarasi o'rnatilgan.

Agar dvigatel atrof-muhit harorati +40°C dan farqli haroratda uzoq vaqt ishlashga mo'ljallangan bo'lsa, u holda uning quvvatini qayta hisoblash lozim. Haqiqiy harorat J_0 da sarflar o'zgarganda uning izolyatsiyasining harorati mumkin bo'lgan qiymatga yaqin qiymatda olinadi, ya'ni $J \ll J_{m-b}$, bu yerda: J_{m-b} — mumkin bo'lgan harorat. Bunda taklif etiladigan tok bo'yicha yuklanish koeffitsiyenti quyidagicha aniqlanadi:

$$c = \sqrt{1 - \frac{\pm DJ_0}{J_{t,b}} (g+1)}, \quad (7.30)$$

bu yerda: DJ — hisobiy haroratning (+40°C deb qabul qilingan) atrof muhit haroratidan og'ishi.

O'zgaruvchilarni ajratib (7.29) tenglamani quyidagi ko'rinishda yozish mumkin:

$$dt = Cdt/(Q - At), \quad (7.31)$$

bu ifodani integrallab, $t = -C/A \cdot \ln(Q - At) + K$ ni olamiz. Integrallash doimiysini $t = 0$ bo'lganda $t = t_{\text{bosh}}$ boshlang'ich shartidan aniqlash mumkin. Bu holda $t = C/A \cdot \ln(Q - At_{\text{bosh}}) + K$ ni olamiz. Shunga mos ravishda:

$$t = \frac{C}{A} \ln \frac{Q - At_{\text{bosh}}}{Q - At}. \quad (7.32)$$

Shunday qilib, dvigatel haroratining atrof-muhit haroratidan ortishi quyidagi ifodaga asosan o'zgaradi:

$$t = t_t(1 - e^{-t/T_t}) + t_{\text{bosh}} \cdot e^{-t/T_t}, \quad (7.33)$$

bu yerda: $t_t = Q/A$ — turg'un harorat, °C; $T_t = C/A$ — dvigatelning issiqlik doimiysi, s.

Demak, harorat eksponensial qonuniyat bilan o'zgarar ekan, (7.33) formula harorat, t_t , issiqlik berish koeffitsiyenti A va dvigatelda ajralib chiqayotgan isroflarga bog'liq. Issiqlik berish koeffitsiyentining qiymati dvigatel qancha tez sovisa, shuncha katta bo'ladi. Shuning uchun dvigatel o'qiga ventilyator o'rnatiladi yoki dvigatel korpusi qirrali qilib ishlanadi. Bir xildagi issiqlik berish koeffitsiyentini ta'minlash uchun yopiq dvigatel ochiq dvigatelga nisbatan kattaroq o'lchamlarga ega bo'ladi.

Issiqlik doimiyligi oddiy mashinalar uchun katta qiymatga, ya'ni bir necha minutdan bir necha soatlargacha yetadi.

Mashina quvvati va gabarit o'lchamlari ortishi bilan vaqt doimiysi ham ortib boradi. Haqiqatda mashina issiqlik sig'imi uning hajmiga, ya'ni l^3 ga proporsional, issiqlik berish koeffitsiyenti esa yuzasi l^2 ga proporsionaldir. Shunday qilib, vaqt doimiysi mashinaning chiziqli o'lchamlariga bog'liq ekan:

$$T_t = C/A \sim l^3/l^2 = l. \quad (7.34)$$

Olingan tenglikka ko'ra bir xil quvvatda mashinaning qizish doimiyligi uning o'lchamlariga bog'liq ekanligini ko'rish mumkin. Demak, qizish doimiyligi dvigatelni shamollatish shartlariga bog'liq ekan. O'z-o'zini shamollatadigan mashinalarda bu doimiylik kichik, yopiq mashinalarda esa katta qiymatga ega bo'ladi.

Sanoat yuritmalarida dvigatel to'g'ri yuklanganini aniqlashda oddiy usullardan foydalaniladi. Bunda uchta asosiy rejim — davomli, qisqa va qaytalanuvchi qisqa rejimlar ko'rib chiqiladi.

Davomli ishlash rejimida elektr dvigatelning barcha qismlari o'rnatilgan haroratgacha qizib ulguradi (7.2- rasm).

Dvigatel ish intervali uzoq davom etgan pauzadan iborat bo'lgan qisqa ishlash rejimida ishlayotgan vaqtda o'rnatilgan haroratga yetib ulgurmaydi, pauza vaqtida esa to'la sovishga ulguradi (7.2- rasm, *b*).

Qaytar-qisqa ishlash rejimida esa dvigatel ishlash intervalida o'rnatilgan haroratga yetmaydi, pauzada (ishlamayotganda) esa to'la sovib ulgurmaydi (7.2- rasm, *b*).

7.2- rasm. Elektr yuritmaning yuklama diagrammalari
va dvigatel harorati o'zgarishining egri chiziqlari:
a — davomli; *b* — qisqa; *d* — qaytar-qisqa ishlash rejimlarida.

Qaytar-qisqa vaqt ishlash rejimi nisbiy ulanish davomiyligi (*PV*) bilan tavsiflanadi va u quyidagicha aniqlanadi:

$$e = a/(a + b), \quad (7.35)$$

bu yerda: *a* va *b* — ish intervali va pauzaning davomiyligi.

Odatda, *e* foizlarda ifodalanadi va 15, 25, 40, 60% ga teng bo'ladi. Bitta siklning davomiyligi, ya'ni $t_s = a + b$, 10 minutdan ortmasligi kerak.

Uchala rejim uchun yuklanish diagrammasi 7.2- rasmda keltirilgan.

Shuni aytish lozimki, davlat standarti tomonidan sakkizta S_1 ë S_8 rejimi tasdiqlangan bo'lib, 7.2- rasmdagi rejimlar S_1 , S_2 , S_3 rejimlari deb belgilanadi.

Qaytar-qisqa vaqt ishlash rejimi uchun qo'shimcha ko'rinishlar belgilangan. S_4 — S_5 rejimlari tez-tez ishga tushirish va o'chirish bilan tavsiflanadi. Ular dvi

7.3- rasm. Nominal rejimlar S_4 va S_5 uchun
yuklama diagrammalari.

gatelning qizishiga katta ta'sir ko'rsatadi, S_5 rejimida elektr tormozlash, S_4 rejimida esa mexanik tormozlash amalga oshiriladi (7.3- rasm).

7.5. UZOQ VAQT ISHLASH REJIMIDA DVIGATEL QUVVATINI TANLASH

O'zgarmas yuklama va tezlik bilan uzoq vaqt (davomiy) ishlayotgan dvigatelning quvvatini tanlash ancha oson. Bunda dvigatelning nominal quvvati yuklamaning o'rtacha quvvati bo'yicha mexanik uzatmalardagi isroflarni hisobga olgan holda aniqlanadi.

Uzoq vaqt o'zgaruvchan yuklama va mexanizmni tez-tez ishga tushirish va tormozlash rejimida ishlayotgan dvigatelning quvvatini hisoblash esa ancha qiyin. Bu holda nominal statik yuklamani dinamik jarayonlar hisobiga dvigatel chulg'amini qizishini hisobga oladigan koeffitsiyentga ko'paytirib dvigatel quvvati aniqlanadi. Keyinchalik aniq yuklama diagrammasini qurib, oldindan tanlangan dvigatel tekshiriladi. Aniq yuklama diagrammasi tok, moment va tezlikning vaqtga bog'liqligini ko'rsatadi.

Dvigatel to'g'ri tanlanganligini aniq baholaydigan usullardan biri bu o'rtacha isroflar usulidir. Bunda o'rtacha isroflar nominal isroflardan kichik bo'lishi kerak. Faqat shu shart bajarilsagina dvigatel chulg'amlarining harorati mumkin bo'lgan haroratdan ortib ketmaydi.

Yuklanish diagrammasining ayrim qismlari uchun quyidagini aniqlash mumkin:

$$Q_x = Q_{\text{nom}} \cdot (1 + c^2)/2. \quad (7.36)$$

Shuni ta'kidlash joizki, o'zgaruvchan tezlikda ishlayotgan dvigatel uchun po'latdagi isroflar o'zgaruvchan va tezlikka proporsional bo'ladi. O'rtacha isroflar formulasini quyidagicha yozish mumkin:

$$Q_{o'r} = S \cdot Q_x \cdot t_x / S t_x, \quad (7.37)$$

bu yerda: Q_x — siklning bitta uchastkasidagi isroflar; t_x — uchastka uzunligi.

Dvigatel trapetsiya ko'rinishidagi tezlik diagrammasi bo'yicha ishlasa o'rtacha isrof quyidagicha aniqlanadi:

$$Q_{o'rt} = (Q_1 t_1 + Q_2 t_2 + Q_3 t_3) / (a t_1 + t_2 + a t_3 + b t_4), \quad (7.38)$$

bu yerda: Q_1 va Q_3 — ishga tushirish va tormozlashdagi isroflar, Q_2 — o'rnatilgan rejimdagi isroflar t_1 , t_2 , t_3 va t_4 — ish intervallari va pauzaning davomiyligi.

Ko'rib chiqilgan o'rtacha isroflar usuli hisoblashlarda ko'p vaqtni talab qiladi. Amaliyotda ekvivalent tok va ekvivalent moment usullari qo'llaniladi.

Yuklama mavjud bo'lganda dvigateldagi isroflar nominaldan farqli bo'ladi, ya'ni

$$Q = q_{o'zgarmas} + q_{o'zgaruvchan} \cdot c^2, \quad (7.39)$$

Uchastkalardagi toklarni hisobga olgan holda

$$I_{ekv}^2 = (I_1^2 t_1 + I_2^2 t_2 + \dots + I_n^2 t_n) / (t_1 + t_2 + \dots + t_n)$$

yoki

$$I_{ekv} = \sqrt{(I_1^2 t_1 + I_2^2 t_2 + \dots + I_n^2 t_n) / (t_1 + t_2 + \dots + t_n)}. \quad (7.40)$$

Dvigatel qizimasdan normal ishlashi uchun quyidagi shart bajarilishi kerak

$$I_{nom} \leq I_{ekv} = \sqrt{\sum I_x^2 t_x / \sum t_x}.$$

Ekvivalent tokka o'xshash ekvivalent moment usulida uchastkadagi momentlar hisobga olinadi, ya'ni

$$M_{ekv} = \sqrt{\sum M_x^2 t_x / \sum t_x}. \quad (7.41)$$

Dvigatelni tanlash sharti $M_{nom} \leq M_{ekv}$.

Bundan tashqari ekvivalent quvvat usuli ham bo'lib, bu usul faqat o'zgarmas tezlikda ishlayotgan yuritma uchun qo'llaniladi, bu holda dvigatel quvvati uning momentiga proporsional bo'ladi.

$$P_{ekv} = \sqrt{\sum P_x^2 t_x / \sum t_x}. \quad (7.42)$$

Dvigatelni tanlash sharti: $P_{nom} \leq P_{ekv}$.

Bu usullardan eng aniq'i ekvivalent tok bo'lib, u yuritmadagi o'tkinchi jarayonlarni aniq hisobga oladi.

Ekvivalent moment usuli ekvivalent tok usuliga qaraganda aniqligi pastroq bo'lib, u dvigatelni ishga tushirish va tormozlashdagi dinamik momentni hisobga oladi.

Ekvivalent quvvat usulida o'tkinchi jarayonlar hisobga olinmaydi.

7.6. QISQA VAQT ISHLASH REJIMI UCHUN DVIGATEL QUVVATINI TANLASH

Qisqa vaqt ishlash rejimida dvigatelning imkoniyatidan to'liq foydalanish uchun uni qo'shimcha yuklash mumkin. Bu holda ish yakunida izolyatsiya harorati joiz

chegara qiymatga yetishi kerak. Dvigateldagi isroflar va haroratning o'zgarish grafigi 7.4- rasmda keltirilgan.

Qisqa va uzoq vaqt ishlash rejimidagi isroflarning nisbati *issiqlik bo'yicha o'ta yuklanish koeffitsiyenti deb ataladi*.

$$d = Q_q/Q_{uz}, \quad (7.43)$$

bu yerda: Q_q — qisqa vaqt ishlash rejimidagi isroflar; Q_{uz} — uzoq vaqt ishlash rejimidagi isroflar.

Uzoq vaqt nominal rejimda ishlaganda chulg'am izolyatsiyatsining harorati asimptotik ravishda joiz qiymatiga yaqinlashadi:

$$t_M = Q_{uz}/A. \quad (7.44)$$

7.4- rasm. Tezlikning trapetsioidal diagrammasi va dvigateldagi isroflar grafigi.

Qisqa vaqt ishlash rejimida esa ushbu haroratga quyidagi formulaga muvofiq t_q vaqtda erishiladi

$$t_M = (Q_q/A)(1-e^{-t_q/T_q}) \quad (7.45)$$

Qisqa vaqt ishlash rejimida tez ishlayotgan dvigatelning o'rniga uzoq vaqt ishlash rejimiga mo'ljallangan dvigateldan foydalanib bo'lmaydi. Qisqa vaqt ishlash rejimi uchun maxsus dvigatellar zarur. Bu dvigatel, agar u o'zgaras tok dvigateli bo'lsa, takomillashtirilgan kollektorga, agar asinxron dvigatel bo'lsa, katta maksimal kritik momentga ega bo'lishi kerak. Energetik nuqtayi nazardan uzoq vaqt ishlashga mo'ljallangan dvigatelni qisqa rejimda ishlatish maqsadga muvofiq emas. Yuqorida qayd etilganidek, nominal rejimda o'zgaras va o'zgaruvchan isroflar bir-biriga teng va bu rejimda FIK maksimal qiymatga ega bo'ladi.

Qisqa ish rejimida FIK jadal ishlash sharoitida maksimal bo'ladi. Demak, o'zgaras sarflar ko'paytirilgan, misdagi isroflar kamaytirilgan bo'lishi kerak, ya'ni isroflarning taqsimoti uzoq vaqt ishlaydigan mashinanikidan farq qiladi.

Davlat standartlari bo'yicha dvigatellarning quyidagi ishlash vaqtlari 10, 30, 60 va 90 min belgilangan.

Real grafikdagi qisqa vaqt ishlash davomiyligi $t_{q.haq}$ davlat standartida (katalogda) ko'rsatilgan qiymatlardan biriga $t_{q.kat}$ mos kelmasa dvigateldagi isroflarni quyidagi nisbatga muvofiq qayta hisoblab chiqish kerak:

$$(Q_{q.kat}/A)(1-e^{-t_{q.kat}/T_q}) = (Q_{q.haq}/A)(1-e^{-t_{q.kat}/T_t}). \quad (7.46)$$

Bu yerdan qisqa rejimdagi sarflarning ortishi:

$$Q_{q.kat}/Q_{q.haq} = (1-e^{-t_{q.kat}/T_t}) / (1-e^{-t_{q.kat}/T_q}), \quad (7.47)$$

bu yerda: $Q_{q.kat}$ — davlat standartida qisqa rejim uchun belgilangan isrof, $Q_{q.haq}$ — qisqa ish rejimidagi haqiqiy isrof.

7.5- rasm. Dvigatelning qisqa ish grafigi.

Katalogdan aniqlangan qiymati bo'yicha eng yaqin katta quvvatga ega bo'lgan dvigatel tanlanadi.

7.4- rasmda dvigatelni qisqa rejimda ishlashining soddalashtirilgan grafigi keltirilgan.

Haqiqatda esa, grafik ishga tushirish, tormozlash uchastkalariga ega. Tezlikning o'rnatilgan zonasida esa moment va tok o'zgarishi mumkin. Shuning uchun dvigatelning ekvivalent tok va momentini aniqlashga to'g'ri keladi va haqiqiy grafikni unga ekvivalent bo'lgan to'g'ri burchakli grafik bilan almashtiriladi (7.5- rasm).

7.7. QAYTAR-QISQA ISH REJIMI UCHUN DVIGATEL QUVVATINI TANLASH

Qaytar-qisqa ish rejimining ideallashtirilgan grafigi 7.6- rasmda keltirilgan.

Haqiqatda esa har bir siklda ishga tushirish, tormozlash va o'rnatilgan tezlik uchastkalari mavjud. Ushbu rasmda haroratni o'rnatilgan qiymatga erishish grafigi

ham ko'rsatilgan. Har bir uchastkada harorat eksponensial qonuniyat bilan o'zgaradi. Pauza vaqtida dvigatel chulg'amlarining sovishi hisobiga dvigatel erishgan eng katta harorat qaytar-qisqa ish rejimidagi $Q_{q,q}$ isroflarga teng bo'lgan uzoq ish rejimidagi isroflarda hosil bo'lgan maksimum harorat t_{mak} dan kichik bo'ladi.

Shunday qilib, dvigatel quyidagi termik o'ta yuklanish koeffitsiyenti bilan ishlaydi:

$$d = Q_{q,q}/Q_{u,v}. \quad (7.48)$$

7.6- rasm. Dvigatelning qaytar-qisqa ish rejimining ideallashtirilgan grafigi.

bu yerda: $Q_{u,v}$ — dvigatelning uzoq vaqt ishlagandagi isroflar.

$t_{max} - Q_{q,q}/A$ bo'lgani uchun $t_{\check{y}max} = Q_{u,v}/A$ bo'ladi, u holda

$$d = t_{max} / t_{\check{y}max}. \quad (7.49)$$

Harorat eksponensial qonuniyat bilan o'zgarishini hisobga olsak,

$$d = t_{max}/t_{\check{y}max}^1 = (1 - e^{-a/Tte\check{y}})/(1 - e^{-a/Tte\check{y}}), \quad (7.50)$$

bu yerda:

$$e\check{y} = a \cdot T_{t,n} / (a \cdot T_{t,n} + bT_t) = a / [a + (bT_t/T_{t,n})] = a / (a + bb),$$

eo' — dvigatelni pauza paytida qiyin sovishini hisobga oladigan nisbiy ishlash davomiyligi.

Qaytar-qisqa ish rejimida dvigatelning nominal nisbiy ishlashi 40% deb qabul qilinadi (eskirgan dvigatellar uchun 25%). Bundan tashqari kataloglarda e ning 15, 25, 60 qiymatlari uchun quvvat, tok, tezliklarning qiymatlari berilgan. Standartga muvofiq sikl davomiyligi 10 minutdan oshmasligi kerak.

Real ishlash grafigi uchun quvvatni tanlashda ekvivalent tok yoki momentning qiymatlari va nisbiy ishlash davomiyligi aniqlanadi. Aniqlangan nisbiy ishlash

davomiyligi katalogdagi qiymatdan farqli bo'lganligi sababli dvigatel parametrlarini topilgan e qiymatiga nisbatan qayta hisoblash zarur.

Bunda asosiy toklar nisbatini e_2 va e_1 rejimlar uchun belgilaydigan $x = I_2/I_1$ ni aniqlanadi, bu yerda: e_1 — katalogdagi rejim uchun; e_2 — haqiqiy rejim uchun.

O'zgarmas isroflarni hisobga olmaganda

$$c = \sqrt{e_1 / e_2}, \quad (7.52)$$

bu tenglama amalda qoniqarli natija beradi.

Shunday qilib, dvigatel quvvatini quyidagi ketma-ketlikda aniqlash mumkin.

1. Yuklama diagrammasi asosida dvigatel tanlanadi.
2. Dvigatel va mexanizmning inersiya momentini hisobga olgan holda dvigatelning yuklama diagrammasi quriladi.
3. Dvigatelning yuklama diagrammasidan tok yoki momentning ekvivalent qiymati va e ning haqiqiy qiymati aniqlanadi.
4. Moment yoki tokning ekvivalent qiymati e ning haqiqiy qiymatini hisobga olgan holda katalog qiymati qayta hisoblanib, dvigatel qizish sharti bo'yicha tekshiriladi.
5. Dvigatelni kutilayotgan o'ta yuklama bilan berilgan rejimda ishlash imkoniyati tekshiriladi.

9- misol. Ishqalanish shkivi va muvozanatlangan arqonli shaxta ko'targichi yuritmasi uchun dvigatellar quvvati hisoblansin va yuklama diagrammasi qurilsin. Ko'targichning ish unumdorligi 2520 kN/soat. Yuritma ishqalanish shkivi bilan umumiy o'qda bo'lgan ikkita dvigatel orqali amalga oshiriladi.

Asosiy hisoblash ma'lumotlari:

Shaxtaning chuqurligi $N = 915$ m.

Foydali yukning og'irlik kuchi $G = 58,8$ kN.

Har bir qutining og'irligi $G_k = 58,8$ kN.

Har bir qutidagi vagonchalarning og'irlik kuchi $G_b = 58,8$ kN.

Bosh va muvozanatlovchi arqonlarning 1m ga to'g'ri keladigan umumiy og'irlik kuchi $G_{arq} = 106$ N/m.

Ishqalanish shkivining diametri $d_{sh.i} = 6,44$ m.

Ishqalanish shkivining og'irlik kuchi $G_{sh.i} = 143$ k•N.

Ishqalanish shkivining inersiya diametri $D_{sh.i} = 0,67 d_{sh.i}$.

Yo'naltiruvchi shkivlar diametri $d_{y.sh} = 5$ m

Har bir yo'naltiruvchi shkivning og'irlik kuchi $G_{sh.i} = 47,5$ kN.

Yo'naltiruvchi shkivning inersiya diametri $D_{y.sh} = 0,7 d_{y.sh}$.

Ko'targichning nominal tezligi $V_n = 16$ m/s.

Ko'tarishdagi tezlanish $a_1 = 0,89$ m/s².

Ko'tarishdagi sekinlashish $a_s = 1$ m/s².

Siklning davri $t_s = 89,2$ s.

Ishqalanish foydali yukning 20% ga ko'payishida hisobga olinadi.

Yechimi. Quyidagi formula bo'yicha dvigatelning taxminiy quvvatini tanlaymiz

$$P_n = \frac{1,2 G J_n}{1000} = \frac{1,2 \cdot 58,8 \cdot 10^3 \cdot 16}{1000} = 1130 \text{ kW}.$$

Dinamik momentlarning ta'sirini oldindan 1,25 koeffitsiyent bilan hisobga olamiz. Ikkita dvigatelning zaruriy quvvatini olamiz:

$$P = 1,25 P_n = 1,25 \cdot 1130 = 1400 \text{ kW}.$$

Har bir dvigatelning quvvatini 700 kW deb qabul qilamiz.

Dvigatelning nominal tezligi:

$$\omega = \frac{2 J_n}{d_{sh.i}} = \frac{2 \cdot 16}{6,44} = 4,96 \text{ rad/s (47,5 ayl/min)}.$$

700 kW quvvatga va $\omega = 4,96$ rad/s ga ega bo'lgan dvigatel uchun $J = 27,3103 \text{ kg} \cdot \text{m}^2$ ikkita dvigatelning inersiya momenti:

$$2 \cdot J = 54,6 \cdot 10^3 \text{ kg} \cdot \text{m}^2.$$

Qarshilik momentini ishqalanish shkivi aylanasi bo'yicha ta'sir etayotgan hisobiy zo'riqish bo'yicha aniqlaymiz:

$$M_s = 1,2 G \frac{d_{sh.i}}{2} = 1,2 \cdot 58,8 \cdot 3,22 = 227 \text{ kN} \cdot \text{m}.$$

7.7- rasmda bitta siklda ishlash uchun tezlik diagrammasi $n = f(t)$ keltirilgan. Tezlanish vaqti:

$$t_1 = \frac{J}{a_1} = \frac{16}{0,89} = 18 \text{ s}.$$

7.7- rasm. Shaxta ko'targichining yuklama diagrammasi.

Qutining tezlanish davomida bosib o'tgan yo'li:

$$h_1 = \frac{a_1 t_1^2}{2} = \frac{0,89 \cdot 18^2}{2} = 144,3 \text{ m.}$$

Sekinlanish vaqti:

$$t_s = \frac{J_n}{a_s} = \frac{16}{1} = 16 \text{ s}$$

Qutining sekinlanish davomida bosib o'tgan yo'li:

$$h_s = \frac{a_s t_s^2}{2} = \frac{1 \cdot 16^2}{2} = 128 \text{ m.}$$

Turg'un (o'rnatilgan) tezlikda harakatlanishga to'g'ri keladigan yo'l:

$$h_2 = H - h_1 - h_c = 915 - 144,3 - 128 = 642,7 \text{ m}$$

Turg'un (o'rnatilgan) harakatdagi vaqti:

$$t_2 = \frac{h_2}{J_n} = \frac{642,7}{16} = 40,2 \text{ s}$$

Pauza vaqti:

$$\begin{aligned} h_2 &= H - h_1 - h_c - t_2 - t_c = \\ &= 89,2 - 18 - 40,2 - 16 = 15 \text{ s.} \end{aligned}$$

Dinamik momentni aniqlash uchun tizimning dvigatel o'qiga keltirilgan umumiy inersiya momentini aniqlaymiz.

Ishqalanish shkivining inersiya momenti:

$$\begin{aligned} J_{sh.i} &= m_{sh.i} \cdot R_{sh.i}^2 = \frac{143 \cdot 10^3}{9,81 \cdot 4} (0,67 \cdot 6,44)^2 = \\ &= 69,5 \cdot 10^3 \text{ kg} \cdot \text{m}^2. \end{aligned}$$

Yo'naltiruvchi shkivning inersiya momenti:

$$\begin{aligned} J_{y.sh} &= m_{y.sh} \cdot R_{y.sh}^2 = \frac{47,5 \cdot 10^3}{9,81 \cdot 4} (0,7 \cdot 5)^2 = \\ &= 14,8 \cdot 10^3 \text{ kg} \cdot \text{m}^2. \end{aligned}$$

Yoʻnaltiruvchi shkivning aylanish tezligi:

$$\omega_{y.sh} = \frac{2J_n}{d_{y.sh}} = \frac{2 \cdot 16}{5} = 6,4 \cdot 10^3 \text{ rad/s}$$

Ikkala yoʻnaltiruvchi shkivlarning dvigatel oʻqiga keltirilgan inersiya momenti:

$$2J_{y.sh} \left(\frac{\omega_{y.sh}}{\omega_d} \right) = 2 \cdot 14,8 \cdot 10^3 \left(\frac{6,4}{4,96} \right) = 49,5 \cdot 10^3 \text{ kg} \cdot \text{m}^2.$$

Tizimning barcha aylantiruvchi qismlarining keltirilgan inersiya momenti:

$$J_1 = (54,6 + 69,5 + 49,5)10^3 = 173,6 \cdot 10^3 \text{ kg} \cdot \text{m}^2.$$

Tizimning ilgari harakatdagi qismlarining ogʻirlik kuchi:

$$G_{umum} = G + 2G_{kl} + 2G_b + G_{arq}L_{ark},$$

bu yerda:

$$L_{ark} \gg 2H + 90 = 2 \cdot 915 + 90 = 1920 \text{ m}.$$

90 m ishqalanish shkivi va yoʻnaltiruvchi shkiv gʻildiraklarini oʻrab olish hisobiga qoʻshiladi:

$$\begin{aligned} G_{umum} &= 58,8 + 2 \cdot 47,75 + 2 \cdot 29,4 + 0,106 \cdot 1920 = \\ &= 416,7 \text{ kN}. \end{aligned}$$

Tizimning ilgari harakatlanayotgan massalaridan keltirilgan umumiy inersiya momenti:

$$J_2 = \frac{G_{umum} \cdot J_n^2}{9,81 \cdot \omega_d^2} = \frac{416,7 \cdot 16^2 \cdot 10^3}{9,81 \cdot 4,96^2} = 442 \cdot 10^3 \text{ kg} \cdot \text{m}^2.$$

Barcha tizimning keltirilgan inersiya momenti:

$$\begin{aligned} J &= J_1 + J_2 = (173,6 + 442) \cdot 10^3 = \\ &= 615,6 \cdot 10^3 \text{ kg} \cdot \text{m}^2. \end{aligned}$$

Yuritmaning tezlanayotgandagi inersiya momenti:

$$\begin{aligned} M_{din.s} &= \frac{-d\omega}{dt} = -615,6 \cdot 10^3 \frac{4,96}{16} = \\ &= -190,5 \cdot 10^3 \text{ N m} = -190,5 \text{ kN m}. \end{aligned}$$

Dvigatel momenti: $M = M_s + M_{din}$

Tezlanish: $t_1 = 18$ s; $M_1 = 227 + 171 = 398$ kN•m

Turg'un (o'rnatilgan) rejim: $t_2 = 40,2$ s; $M_2 = 227$ kN•m

Sekinlashish: $t_3 = 16$ s; $M_{sek} = 227 - 190,5 = 36,5$ kN•m

Pauza: $t_4 = 15$ s.

Olingan ma'lumotlar bo'yicha 7.7- rasmda bitta sikl uchun elektr yuritmaning yuklanish diagrammasi qurilgan $M = f(t)$.

Ushbu rasmda dvigatel o'qidagi quvvat grafigi keltirilgan:

$$P_{\text{q}} = M_{\text{w}} \cdot 10^{-3}, \text{ kW}.$$

Yuklama diagrammasi bo'yicha ekvivalent momentni aniqlaymiz:

$$M_e = \sqrt{\frac{398^2 \cdot 18 + 227^2 \cdot 40,2 + 36,5^2 \cdot 16}{0,75 \cdot 18 + 40,2 + 0,75 \cdot 16 + 0,5 \cdot 15}} = 260 \text{ kN} \cdot \text{m}.$$

0,5; 0,75 — dvigateldagi ventilyatsiyani hisobga oluvchi koeffitsiyent.
Dvigatelni o'ta yuklanishga tekshirib, quyidagi ifodaga ega bo'lamiz:

$$\frac{M_1}{M_2} = \frac{398}{260} = 1,52 < 2$$

Ikkita dvigatelning ekvivalent quvvati:

$$P_e = M_e \omega_n 10^{-3} = 260 \cdot 4,96 \cdot 10^{-3} = 1290$$

$$\text{kW} < P_n = 1400 \text{ kW}.$$

Demak, dvigatel qizish va qisqa vaqtli yuklama rejimini qanoatlantiradi.

Savol va topshiriqlar

1. Elektr yuritmaning yuklanish diagrammasi qanday quriladi?
2. Elektr yuritma va ishchi mashinaning yuklanish diagrammalari bir-biridan nima bilan farq qiladi?
3. O'zgarmas va o'zgaruvchan sarflar qanday aniqlanadi va u nimalarga bog'liq?
4. To'la sarflar qanday aniqlanadi, ularni kamaytirish yo'llari nimalardan iborat?
5. Dvigatelni ishga tushirish energiyasi qanday aniqlanadi?
6. Issiqlik muvozanati tenglamasi qanday tashkil etuvchilardan iborat?
7. Dvigatelning issiqlik doimiyligi qanday aniqlanadi va u nimalarga bog'liq?

8. Davomiy ishlash rejimi deganda nimani tushunasiz?
9. Qisqa vaqt ishlash rejimida yuklanish diagrammasi qanday ko'rinishga ega bo'ladi?
10. Nisbiy ulanish davomiyligi qanday aniqlanadi?
11. Qaytar-qisqa vaqt ishlash rejimida yuklanish diagrammasi qanday ko'rinishga ega bo'ladi?
12. Davomiy va qisqa vaqt ishlash rejimida dvigatel quvvati qanday tanlanadi?
13. Qisqa vaqt ishlash rejimida dvigatelning ishlash grafigini tasvirlang.
14. Qaytar-qisqa vaqt ishlash rejimida dvigatelning ishlash grafigini tasvirlang.

VIII bob. MIKROPROTSESSORLI ELEKTR YURITMALAR

8.1. MIKROPROTSESSORLI BOSHQARILUVCHI ELEKTR YURITMALARNING AFZALLIKLARI VA VAZIFALARI

Har qanday qattiq tuzilishli qurilmalarni va tizimlarni mikroprotsektorli (MP) boshqarishga almashtirish quyidagi afzalliklarni beradi:

MP — tizim egiluvchanlik xususiyatiga ega. MP tizimning ishi mantiqiy EHM xotirasida saqlanayotgan dastur bilan aniqlanadi. Bu tizim tavsifini faqat dasturni o'zgartirish hisobiga sezilarli darajada o'zgartirish imkonini beradi.

MP asosida qurilgan tizimlar anchagina arzon turadi. Bitta protsektor odatda 75—200 ga yaqin kichik va o'rta darajada integrallovchi integral sxemalarning o'rnini bosadi. Buning natijasida ulanish soni keskin kamayadi.

Yuqorida ko'rsatilgan afzalliklar MP tizimlarini keng ko'lamda qo'llanishiga asos bo'ladi va 5—10 yil mobaynida elektr yuritma tizimlarining 85—90% ini MP tizim orqali boshqarishga o'tish imkonini beradi.

Elektr yuritma ishlab chiqarish jarayonlarini avtomatlashtirishning quyi darajasiga mansub. Hozirda elektr yuritmalarni boshqarishda asosan bo'y-sunuvchan rostdash tizimida muayyan darajada sozlangan analog rostdagichlar qo'llanilmoqda.

Raqamli tizimlar analog tizimlardan o'zining aniqligi va uni amalga oshirish imkoniyatlari, tashqi muhit ta'siridan saqlanishi, kuchlanishlarning o'zgarishiga moyil emasligi bilan ajralib turadi.

Ammo raqamli tizimlarda axborotlarni qayta ishlash ketma-ket amalga oshirilishi tufayli, ularning tezkorligi analog tizimga nisbatan birmuncha past bo'ladi.

Elektr yuritma boshqarish tizimini tubdan yaxshilash yuqorida keltirilgan xususiyatlarni hisobga olgan holda hamda boshqarish nazariyasining zamonaviy usullaridan adaptiv boshqarish, optimallashtirish, dasturli boshqarishdan samarali foydalangan holdagina amalga oshirish mumkin.

Elektr yuritmalarni MP boshqarish tizimlarining funksional vazifalarini quyidagicha ta'riflash mumkin:

- kuchli statik o'zgartgichlarni boshqarish impulsini shakllantirish;
- proporsional (P), proporsional-integrallovchi (PI) va proporsional-integro-differensiallovchi (PID) boshqarish algoritmlarini amalga oshirish;
- ko'paytirish, bo'lish, kvadrat ildiz chiqarish kabi chiziqsiz funksiyalarni bajarish;
- optimal, adaptiv kabi samarali usulda boshqarish.

Kelgusi vazifalar rele-kontaktorli boshqarish turlarini mantiqiy boshqarishga o'tkazish bilan bog'liq.

An'anaviy ravishda elektr yuritmalarning bunday qurilmalari rele-kontaktorli yoki diskret elementlarda tuzilar edi. Har bir dastgoh yoki mashina uchun o'zining

boshqarish tizimi yaratilgan edi. Mexanizm va uning bo'laklarining holati, boshqarish pultidagi indikator lampalariga qarab aniqlangan. Bunda turli relarlardan, mantiqiy qismlardan foydalanilgan bo'lib, ishlatish jarayonida tuzatish kiritish, tahlil etish ancha qiyin kechar edi.

Bu esa jihozlarning samaradorligi va ishonchligini pasaytirar edi. MP — boshqarish an'anaviy tizimlaridagi yuqorida ko'rsatilgan kamchiliklarni bartaraf etish imkonini beradi. Shuning uchun MP boshqarishning vazifalari quyidagilardan iborat.

- parallel tushayotgan axborotlarni qabul qilish va ijrochi elementlarga tarqatish;

- mashina ishlash algoritmiga muvofiq axborotlarni real vaqt masshtabda qayta ishlash;

- ijrochi elementlarga boshqarish signallarini berish;

- qurilma holatini tashhis etish;

- boshqarish tizimini tashhis etish;

- sozlash rejimini ta'minlash.

8.2. MIKROPROTSESSORLI BOSHQARILUVCHI ELEKTR YURITMANING FUNKSIONAL SXEMASI

Mikroprotessorli boshqarish dvigatel, rostlagich, rostlanuvchi ta'minot manbai, kuchli o'zgartgich, uzatish qurilmalari moduli darajasida qo'llanilishi mumkin.

Bunda MPdan modul darajasida boshqarishning mantiqiy va hisoblash masalalarini yechishda foydalaniladi. Ular tizimga birlashtirilganda umumiy hisoblash qurilmasi orqali boshqariladigan MP — tarmog'i hosil bo'ladi.

Masalaning bir qismi qattiq mantiqiy qurilma yordamida yechilishi mumkin. Elektr yuritmani MP — boshqarish tuzilishi turli ko'rinishlarga ega bo'lishi mumkin. 8.1- rasmda MP boshqarishli elektr yuritmaning tipik tizimi keltirilgan.

MP — elektr yuritma tuzilishi quyidagi blok va qurilmalardan iborat:

- 1 — yuqori iyerarxiyalı EHM yoki operator bilan aloqa qurilmasi (AQ).

- 2 — apparat vositalari (AV) va dasturiy ta'minot (DT)dan iborat bo'lgan boshqaruvchi hisoblash qurilmasi (BHQ).

Apparat vositalari — bu qat'iy kommutatsiya amalga oshirilgan avtomatdan iborat, maxsus dasturlardan foydalanish hisobiga o'ziga xos qo'llanishga ega bo'lgan funksional qism hisoblanadi. Boshqarish tizimida BHQ EHM dan AQ orqali tushayotgan ko'rsatmalar asosida 3—8 tizimdagi qurilmalarda o'rnatilgan xabarchilardan keladigan signallarni va boshqarish signallarini ishlab chiqaradigan markaziy o'rinni egallaydi.

- 3 — qat'iy mantiqiy qurilma (QMQ) boshqarish apparatlari ayrim bloklari qat'iy ulangan tizimini tashkil etadi. Bu apparatlar EHM ishdan chiqqanda jarayonni mustaqil ravishda boshqarishga xizmat qiladi. Ko'p hollarda bu bloklar yoki

ularning qismlari agar tizimdan yuqori tezkorlik talab etilsa, avtomatik ishlash rejimida ishtirok etadi. QMQning chiqish signallari ta'minot manbayi (TM) va kuchli o'zgartqich (KO') kirishlariga beriladi.

4 — boshqariladigan kuchli ta'minot manbayi (TM). Chastotali boshqariladigan elektr yuritmalar uchun TM sifatida tiristorli yoki tranzistorli boshqariladigan o'zgartgich qo'llanadi. Kenglik impuls o'zgartgichi (KIO') — o'zgarmas tok dvigateli (O'TD) tizimida yoki ventilli yuritmada TM odatda boshqarilmaydigan to'g'rilagich sifatida amalga oshiriladi. Boshqariladigan to'g'rilagich — dvigatel tizimida TM va KO' funksiyalariga ko'ra birlashtiriladi. 8.1- rasmda yo'g'on chiziqlar bilan dvigatel va rekuperativ rejim

8.1- rasm. MP boshqarishli elektr yuritmaning tipik tizimi.

lardagi energiya oqimi tasvirlangan ingichka chiziqlar bilan esa axborot oqimi ko'rsatilgan. TM boshqarish signalini BHQ va QMQ dan oladi, teskari yo'nalish bo'yicha esa diagnostika va signal axborotlari boradi.

5 — kuchli o'zgartgich (KO') kuchli zanjirlarni talab etilgan parametrlar bilan ta'minlaydi. Odatda, KO' boshqariluvchi to'g'rilagich, kenglik-impuls o'zgartgichi, kuchlanish yoki o'zgaruvchan chastotali tok manbayidan iborat bo'ladi. KO' da elektr energiya oqimi dvigatelning ishlash rejimiga qarab ikki tomonlama bo'ladi. QMQ va BHQ dan boshqarish signallari keladi, teskari yo'nalish bo'yicha esa diagnostika va axborot signallari yuboriladi.

6 — elektr dvigatel (D) tezlik, yo'l chulg'amlari harorati xabarchilaridan va dvigatelning o'zidan iborat modulni tashkil etadi.

7 — uzatish qurilmasi (UQ): ulanish muftasi, reduktor va zarur bo'lgan xabarchilardan iborat. Ba'zi bir UQ ning boshqarish qurilmasi, masalan, sirpanish muftasi ma'lum darajada murakkab bo'lishi mumkin va axborot oqimi ikki tomonlama bo'ladi.

8 — mexanizmning ish organi (IO) (masalan, kesuvchi asbob, robot ushlagichi, yuritma g'ildirak va h.k.) mos xabarchilari bilan.

Konstruktiv ravishda ba'zi qurilmalar bitta modulga birlashishi mumkin. Masalan, dvigatel — transport sanoat robotining g'ildiragining moduli KO', D, UQ va IO hamda ularni boshqaradigan MP tizimidan iborat bo'ladi. Modulda ba'zi bir qurilmalar, masalan, konstruktiv jihatdan IO bilan birlashgan yuritmada UQ bo'lmasligi mumkin.

O'zaro funksional bog'lanishlarni tushunish uchun axborotning o'tishini ko'rib chiqamiz. Tizimning asosiy axborot komponenti sifatida mikro EHM yoki dasturlanadigan kontroller qo'llaniladigan BHQ dir. BHQ ning kirishiga qo'shni EHM dan axborot kelib tushadi. BHQ EHM dan bir necha metr va undan ortiqroq

masofada joylashgan bo'lsa, bu ko'rsatma axborot ketma-ket kod tarzida uzatiladi. Lekin shu bilan birga BHQ parallel kodda (8 yoki 16 razryadli) ishlaydi. Kodlarni o'zgartirish uchun tutashish qurilmasi ishlatiladi. BHQ ni tizimning 3—8 qurilmalari bilan aloqasi (bog'lanishi) analog, raqamli va impuls signallar yordamida amalga oshiriladi. Buning uchun BHQ tarkibiga analog-raqamli, raqam-impulsli (RIO'), impuls-raqamli (IRO') o'zgartgichlar kiritiladi. Operator bilan bog'lanish uchun kiritish-chiqarish qurilmasi ishlatiladi. Bu qurilma sifatida displeyga ega bo'lgan pult, chop etuvchi qurilma va hokazolar ishlatiladi.

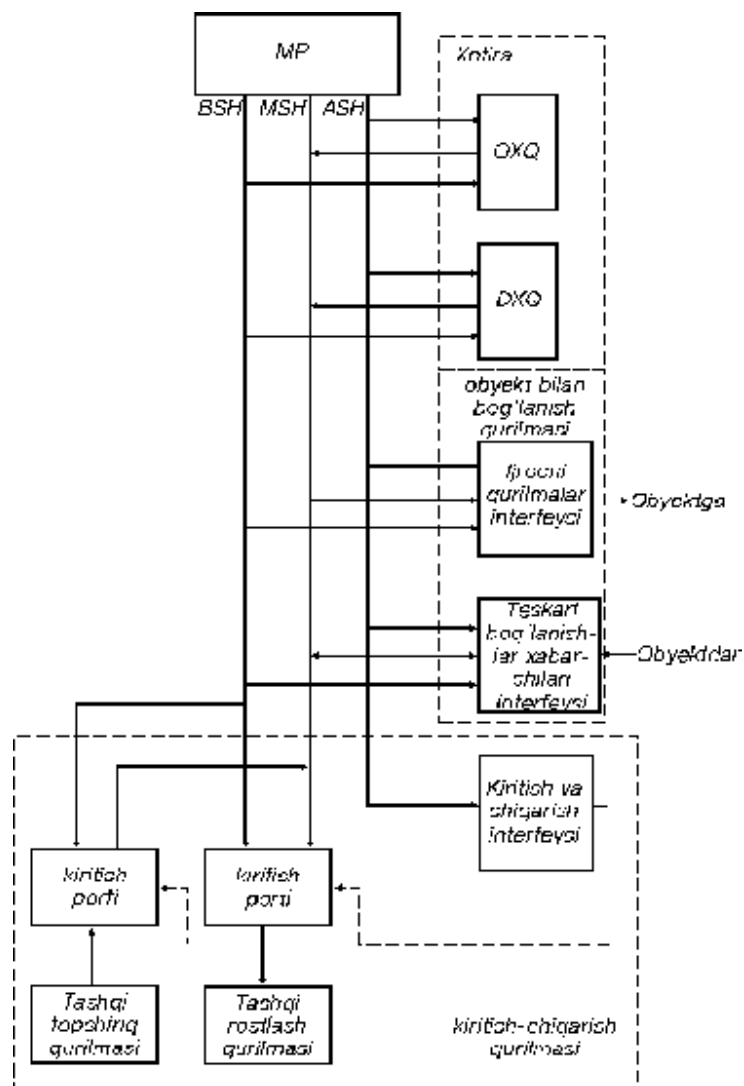
BHQ va TM va KO' parametrlarining holati va jarayonning kechishi to'g'risida xabarchilardan axborot kelib turadi. Bu axborot ishlash qobiliyatini nazorat qilish va boshqarish signallariga tuzatish kiritish uchun ishlatiladi.

Dvigatel, oraliq qurilma va ish organlari ham holat xabarchilari bilan ta'minlanadi va ulardan axborot doimiy ravishda yoki talab etilganda BHQ ga berib turiladi. U yerda bu axborotlar teskari bog'lanish signallari yoki diagnostika axboroti uchun ishlatiladi.

8.3. MIKROPROTSESSORLI TIZIM ARXITEKTURASI

Hisoblash funksiyalarini MP dan tashqari xotira va kiritish-chiqarish qurilmalari mavjud bo'lgandagina amalga oshirish mumkin. Bu qurilmalar MP ga nisbatan tashqi qurilmalar bo'lib, u bilan birgalikda mikroprotsessor tizimini tashkil etadi (8.2- rasm). Mikroprotsessor tizimlarida xotiraning roli turlicha bo'ladi. Shunga muvofiq ayrim xotira bloklarini amalga oshirish ham turlicha bo'ladi.

Doimiy xotira qurilmalari (DXQ). DXQda saqlanadigan axborot, ya'ni buyruqlar yoki ma'lumotlar to'plami, qurilma o'chirilganda ham saqlanib qoladi. Bunday xotira energiyaga bog'liq bo'lmagan xotira deb ataladi. DXQ fizik jihatdan magnit lentasida, magnit diskda va maxsus integral mikrosxemalarda (IMS) amalga oshirilishi mumkin. IMS ko'rinishidagi DXQ lar keng ko'lamda mikro kontrollerda qo'llanilmoqda. DXQ ning har bir mikrosxemasida 16 kV gacha axborot hajmi joylashtirilishi mumkin. DXQ da odatda ish dasturlarining asosiy, o'zgarmaydigan qismi joylashtiriladi. Bundan tashqari operator pulti bilan bog'lanishni, sozlash rejimlarini ta'minlaydigan, o'z-o'zini nazorat qiladigan maxsus xizmat dasturlari joylashtiriladi.



8.2- rasm. MP tizimining tuzilish sxemasi.

Mikrosxemali DXQ ning uchta asosiy turi bo'lib, ular dasturlash xarakteri bilan bir-biridan farq qiladi.

Massali dasturlangan DXQ da dasturni mikrosxemani ishlab chiqarish jarayonida yozish amalga oshiriladi. Bunday DXQ lar odatda katta hajmdagi nusxada chiqariladigan buyumlarda ishlatiladi.

Bir marta dasturlab foydalanuvchi DXQ larda ichki ulanishlar eruvchan materiallardan tayyorlanadi. Bu ulanishlarning ma'lum manzillar bo'yicha joylashgan qismi DXQ ni dasturlayotgan paytda maqsadga yo'naltirilgan ravishda o'zgartirilishi mumkin. Bu foydalanuvchiga axborotni saqlagan holda DXQ va dasturlash imkonini beradi.

Uchinchi turi — qayta dasturlanadigan DXQ (QDXQ) bo'lib, unda axborotni bir necha marta yozib-o'chirish mumkin.

Barcha turdagi DXQ ning IMS ni dasturlash odatda MP tizimidan tashqarida dasturlovchi deb nomlanadigan maxsus qurilmalarda amalga oshiriladi.

Operativ xotira qurilmasi OXQ — bu energiyaga bog‘liq bo‘lgan xotira bo‘lib, u yozish — o‘qish operatsiyasini yuqori tezlikda amalga oshiradi. OXQ yacheykalariga kirish to‘g‘ridan-to‘g‘ri amalga oshiriladi, ya‘ni xotira yacheykalaridan ketma-ket o‘tish zaruriyati yo‘q. Birorta yacheykadan axborot olish uchun mazkur yacheyka manzilini manzil shinasida (MSh) ko‘rsatish yetarli bo‘ladi.

Mikro kontrollerda foydalaniladigan OXQ, EHM, OHQ sidan kichik xotira hajmiga egaligi bilan farq qiladi. Bu xotira axborotni vaqtinchalik saqlash, kelib tushish xotirasini tashkil etish, dasturni o‘zgaradigan qismini, operator kiritadigan parametrlarini saqlash va shu kabi ishlarga mo‘ljallangan.

Kiritish-chiqarish qurilmasi. Kiritish qurilmasi tashqi manbalardan axborot qabul qilib, uni MP ga, yoki MP ning tashqi xotirasiga uzatish uchun mo‘ljallangan. Bu qurilma yordamida foydalanuvchi mikroprotssessor tizimiga birlamchi ma‘lumotlarni va dasturlarni yuklaydi. Kiritish qurilmalariga klaviatura, teletayp, yozuv mashinkalari, boshqarish pultrlari kiradi. Perfolentadan kiritish qurilmalari keng qo‘llaniladi. Uning yordamida axborot xotiraga joylanadi va kiritilayotgan axborot displey orqali nazorat qilinadi.

Chiqarish qurilmasi axborotni kod ko‘rinishiga aylantiradi, bu shakl foydalanuvchi uchun qulay ko‘rinishga ega. Kiritish-chiqarish bloklari o‘zida kiritish-chiqarish portlarini mujassamlashtirgan. Har bir port kirish yoki chiqish chiziqlariga ega. Portga murojaat qilinganda ma‘lumotlar shu chiziqlar orqali kelib tushadi. Kiritish porti orqali ma‘lumotlar, ma‘lumotlar shinasiga (MSh) va undan keyin MP ga keladi. Chiqarish porti orqali MP da bajarilgan operatsiyalar natijasi MP tizimiga chiqariladi.

Mikroprotssessor tizimida ayrim bloklarning o‘zaro bog‘lanishi maxsus tutashish qurilmalarini ulash yo‘li bilan amalga oshiriladi.

Bu qurilmalar tashqi (periferiya) qurilmalarni MP bilan muvofiqlashtirganda alohida ahamiyatga ega. Bu holda oraliq bloklarning mavjudligi turli element bazasiga ega bo‘lgan qurilmalarning birligini ta‘minlaydi. Shuni e‘tirof etish kerakki, MP va tashqi qurilmalar orasida axborot ayirboshlash MP xotirasida saqlanayotgan ma‘lum dastur asosida amalga oshirilishi kerak. Bunday oraliq qurilmalar interfeys deyiladi. Shunday qilib, interfeys MP ni tashqi qurilmalar bilan bog‘lanishini ta‘minlovchi apparat va dastur vositalarining yig‘indisidan iborat. Interfeyslarni ulash ayrim komponentlardan butun tizim olish imkonini beradi.

Axborot almashish turiga qarab ketma-ket va parallel interfeyslar qo‘llaniladi. Parallel interfeys eng oddiy va tezkor hisoblanadi. Parallel interfeyslarni qo‘llash MP va tashqi qurilmalar orasidagi masofa bilan chegaralanadi. Kabelning uzunligi 1—2 m bo‘lganda, uning hajmi axborot almashish tezligiga sezilarli ta‘sir qiladi. Maxsus shakllantiruvchilar qo‘llanishi ulanadigan kabel uzunligini 15—20 m gacha yetkazish imkonini beradi.

Axborotni ketma-ket almashish kabel uzunligiga ta'sir qilmaydi. Biroq tezlikning past bo'lishi va ma'lumotlarni ketma-ket o'tkazish parallel interfeyslarga nisbatan katta ishonchlilikka ega.

8.4. O'ZGARMAS TOK YURITMASINI MIKROPROTSESSORLI BOSHQARISH

Tiristor o'zgartgichli, o'zgarmas tok dvigatelning uch konturli an'anaviy tizimi 8.3- rasmda keltirilgan.

8.3- *rasm*. Elektr yuritmaning analog tizimi.

Tezlik rostlagichining (TR) chiqish signali tok konturi uchun topshiriq signali bo'lib, tok rostlagichining (TokR) chiqish signali esa ichki kuchlanish konturi uchun topshiriq signali bo'lib xizmat qiladi. Mantiqiy qayta ulash qurilmasi (MXQ) yuritmani to'rtta kvadrantda ishlashini ta'minlaydi. Bu tizim analog tizimdir. Bunday klass tizimida quyidagi muammolarni samarali hal etish imkoniyati mavjud emas:

- statik tavsiflarga oid rostdash aniqligi va teskari bog'lanish zanjirlarini harorat o'zgarishiga, eskirishga, ta'minot kuchlanishi parametrlari o'zgarishiga moyilligi;

- dinamik tavsiflarga oid — kuchlanishni rostdashning ichki konturi yordamida nochiziqlik kompensatsiyalanmaydi. Shuning uchun tezkorlik yuklama tokiga bog'liq holda o'zgaradi. Tiristorli o'zgartgichni reverslash vaqti ishlash shartlariga bog'liq; tarmoq kuchlanishi bilan sinxronlashtirilgan impulslarni shakllantiruvchi ustun signalining buzilishi, o'zgartgich tiristorlarining ishida uzilishlarga olib kelishi mumkin.

Himoya hamda tashhisga oid analog qurilmalar ishlaganda, topshiriq signali va teskari bog'lanish signallarini taqqoslash, nazorat qilish, signallarni operatsiyagacha va undan keyin hisoblash, avariya sabablarini aniqlash qiyin kechadi.

Ushbu muammolar mikroprotsektorli boshqarishning raqamli tizimiga o'tish bilan hal etiladi.

Agar axborot yetarli darajada tez qayta ishlansa, raqamli boshqarish analog tizimga nisbatan yuritma ishlashini yaxshiroq ta'minlaydi. Ventillarning ochilish burchagi asimmetriya $\pm 0,75^\circ$ atrofida bo'ladi. Shuning uchun ma'lumotlarni qayta

ishlash oralig'i 50 mks ga teng bo'ladi. Ochilish impulsini shakllantirish uchun ma'lumotlarni qayta ishlash ushbu oraliqning bir qismida amalga oshirilishi kerak.

8.4- rasm. Elektr yuritmaning mikroprotessorli tizimi.

Chunki tokni rostlash, tiristorli o'zgartgichning nochiqiq tavsiflarini to'g'rilash va tezlikni rostlash uchun ham ma'lumotlarni qayta ishlash talab etiladi.

Yuritmani rostlashning raqamli tizimi 8.4- rasmda ko'rsatilgan.

Yuritmani boshqarishda bosh dastur tezlik bo'yicha topshiriqni ishlab chiqaradi, ishga tushirish va to'xtatish rejimini ta'minlaydi, dvigatel hamda o'zgartgichni himoyalash va avariya holatida boshqarishni ta'minlaydi. Bu dastur doimiy chaqirilgan bo'lib, toki, uzilish signalini ishlab chiqish so'ralmagunga qadar ishlayveradi. Qolgan dasturlar tezlik va tokni rostlash konturlarini boshqarib, tiristorlarni ochuvchi impulslarni ishlab chiqaradi. Ular uzilish signallari bo'yicha ishlaydilar.

Tezlik rostlagichi tezlik bo'yicha topshiriq va teskari bog'lanishdan foydalanib, tezlik konturidagi signalni hisoblaydi.

Tok rostlagichi esa tok bo'yicha topshiriq va teskari bog'lanishdan foydalanib, tok konturi uchun boshqarish signalini hisoblaydi. Dvigatel rejimidan generator rejimiga o'tish va orqaga qaytish nuqtalarida, u revers paytidagi tokni rostlash signalini hisoblaydi hamda o'tishni nazorat qiladi.

Ikkita dastur tiristorli o'zgartgichni boshqaruvchi signal fazasini surish va uni shakllantirish uchun ishlatiladi. Ulardan birinchisi boshqarish burchagining ustun fazasini ($\alpha=0$) ishlab chiqaradi. Ikkinchi dastur faza uchun ochish impulsini shakllantiradi. Shunday qilib, boshqarish impulslarini shakllantirish va fazasini surish dastur asosida amalga oshiriladi.

Funksional sxemadan ko'rinib turibdiki, tok va kuchlanish xabarchisidan olinayotgan teskari bog'lanishning analog signallari, analog-raqamli o'zgartgich orqali raqamli signalga aylantiriladi va MP ga beriladi. Tezlik bo'yicha teskari aloqa-dvigatel o'qidagi taxolgeneratoridan raqamli ravishda chiqarilib, MP ga uzatiladi.

Savol va topshiriqlar

1. Mikroprotessorli boshqariluvchi elektr yuritmalarning afzalliklari nimalardan iborat?
2. Raqamli tizimlarning analog tizimlardan farqi nimada?
3. Elektr yuritmalarning MP boshqarish tizimining vazifalari nimalardan iborat?
4. Mikroprotessorli boshqariluvchi elektr yuritmaning funksional sxemasini chizib tushuntirib bering.
5. Apparat vositalari qanday tuzilgan va qanday vazifani bajaradi?
6. Mantiqiy qurilmaning vazifasi nimadan iborat?
7. Ta'minot manbayi sifatida qanday o'zgartgichlardan foydalaniladi?
8. Kuchli o'zgartgich nima va u qanday vazifani bajaradi?
9. MPLi elektr yuritmada axborot o'tishini tushuntirib bering.
10. Doimiy xotira qurilmasi qanday tuzilgan va uning vazifasi nimalardan iborat?
- 11 Operativ xotira qurilmasining vazifasi nimalardan iborat?
12. Kiritish-chiqarish qurilmasining vazifasi nimalardan iborat?
13. Ketma-ket va parallel interfeyslarning farqi nimada va ular qanday vazifani bajaradilar?
14. MPLi elektr yuritmada tok va tezlik rostlagichlari qanday vazifani bajaradi?

IX bob. AVTOMATLASHTIRILGAN ELEKTR YURITMANING ENERGIYANI TEJASH REJIMLARI

9.1. ENERGIYA TEJASHNING ASOSIY TAMOYILLARI

Butun dunyoda umumenergetika krizisi va energiya bahosining anchagina ko'tarilib borayotganligi sababli avtomatlashtirilgan elektr yuritmalar vositasida energiyani tejash katta ilmiy-texnikaviy va amaliy ahamiyat kasb etmoqda.

Ushbu bob, muallifning avtomatlashtirilgan elektr yuritmalar vositasida energiyani tejash masalalari haqida ko'p yillik ilmiy-texnikaviy va amaliy faoliyati asosida yozilgan.

Mazkur bobda sanoat qurilmalari va texnologik mashinalarni energiya tejamkorligi rejimida ishlashini ta'minlash yo'llari ko'rsatilgan. Boshqariladigan elektr yuritmani energiya tejamkorligi rejimida ishlashining nazariy asoslari bayon etilgan. Xalq xo'jaligi sohalarida qo'llash uchun yuqori iqtisodiy ko'rsatkichli avtomatlashtirilgan elektr yuritmalarni ishlab chiqish bo'yicha yangi texnikaviy yechimlar taklif qilingan.

Hozirgi vaqtda avtomatlashtirilgan elektr yuritma vositasida energiya tejashning quyidagi tamoyillari mavjud:

1. Ishlab chiqarish mexanizmi yuklamasining o'zgarishiga qarab, dvigatel tanlash usulini takomillashtirish yo'li bilan elektr yuritma dvigatelining quvvatini to'g'ri tanlash. Dvigatelning quvvati yuklama quvvatidan kichkina bo'lsa, uning tezligi kamayadi, qattiq qizib tezda ishdan chiqadi, katta bo'lsa, dvigatel energiyani samarasiz o'zgartiradi va ishlaganda o'zida hamda energiya uzatishda sarf bo'ladigan quvvatni anchagina ko'paytiradi.

2. Ishlab chiqarish mexanizmlaridagi avtomatlashtirilgan elektr yuritmalarning aktiv massasini (mis va temir) oshirish hisobiga FIK va quvvat koeffitsiyentining qiymatlarini oshirish va energiyani tejaydigan elektr dvigatellardan foydalanish.

3. Rostlanmaydigan elektr yuritmalardan rostlanadigan elektr yuritmalarga o'tish, bu esa nafaqat avtomatlashtirilgan elektr yuritma tizimida, balki ishlab chiqarish mexanizmida ham resurslar (suv, issiqlik va b.)ni tejashga imkon beradi.

4. Rostlanmaydigan elektr yuritmalarda yuklama o'zgaruvchan bo'lganda, shuningdek boshqariladigan elektr yuritmalarda texnologiya jarayonini talabga binoan elektr yuritma koordinatalarini o'zgarishi yuzaga keladigan hollarda eng kam energiya talab qiluvchi maxsus texnik yechimlarni ishlab chiqish va yaratish.

Energiya tejashning yuqorida keltirilgan tamoyillaridan birini tanlash va amalga oshirish texnologik mexanizm tomonidan yuzaga keltiriladigan muayyan sharoitlarga bog'liq bo'lib, ularning har biri o'zining muayyan afzallik hamda kamchiliklariga egadir.

Energetika krizisining va energiya tashuvchilarning ortib borishini e'tiborga olib, elektr yuritmani boshqarish vositalarini takomillashtirish hisobiga, talab qilinadigan energiya aksariyat qismini tejashni ta'minlaydigan tamoyil alohida ahamiyatga ega bo'ladi. Bizning fikrimizcha to'rtinchi tamoyil istiqbolli

hisoblanadi, bunda avtomatlashtirilgan elektr yuritmani boshqarish algoritmini takomillashtirish oʻrtacha 30—40% energiyani tejash imkonini beradi.

9.2. ENERGIYANI TEJAYDIGAN ASINXRON ELEKTR YURITMA

Sanoat va qishloq xoʻjaligining turli sohalarida ommaviy tarzda qoʻllaniladigan ventilyatorlar, konditsionerlar, nasoslar va havo haydovchi (dam beradigan) va boshqa umumsanoat mexanizmlari uchun, xalq xoʻjaligida muhim ahamiyatga ega boʻlgan, tejamkorligi yuqori boʻlgan ekstremal boshqariladigan elektr yuritma tizimi 9.1- rasmda keltirilgan.

Ekstremal boshqariladigan asinxron dvigatelli elektr yuritma quyidagilarni oʻz ichiga oladi: tiristorli kuchlanish rostlagichi *KTR* ning chiqishiga ulangan elektr dvigatel *D*, tiristorli rostlagichning boshqarish tizimi *BT*, signallar jamlovchisi *SJ*, elektr dvigatelining kuchlanishi xabarchisi *KX*. Bu xabarchining chiqishi kuchlanish signalini differensiallash bloki *KDB* ga ulangan.

Elektr dvigatel quvvatining moment xabarchisi (*MX*) ning chiqishi kuchaytiruvchi blok *KBB* ga ulangan; shu blokka arifmetik blok (*AB*) ning chiqishi ham ulangan, *MX* ning chiqishi quvvatlarni differensiallaydigan blok *QDB* ga *KBB* orqali ulangan; boʻlish bloki *BB* ning kirishiga differensiallash bloklari *QDB* va *KDB* larning chiqishlari ulangan, *BB*ning chiqishi *SJ* ning kirishlaridan biriga ulangan.

Elektr yuritma quyidagicha ishlaydi:

Asinxron elektr yuritmalarida, ular oʻzgarib turadigan yuklama bilan ishlaganda isrof boʻladigan elektr energiyasini kamaytirish *AD* ning statoriga beriladigan kuchlanishni yuklama yoki tok funksiyasi boʻyicha rostlash bilan amalga oshiriladi.

Elektr dvigatel *D* ishlab turganida *MX* va *KX* xabarchilari chiqishlarida signallar ajraladi. Kuchlanish

9.1- rasm. Energiyani tejaydigan asinxron elektr yuritma.

xabarchisi *KX*ning signali uni differensiallash bloki *KDB*ga keladi, bu yerda: vaqt boʻyicha differensiallanadi. *MX*ning signali kuchaytiruvchi blok *QDB* ($1-h_{md}$) kattaligiga mutanosib boʻlgan signalga koʻpaytiriladi va arifmetik blok *AB* ga keladi. *BB*ning chiqishida elektr dvigatelning jami isrofiga mutanosib boʻlgan signal olinadi. Yigʻindi sarf elektrmagnit va mexanik sarfdan iborat. *KDB*da differensiallangan quvvat signali, boʻlish bloki *BB* da differensiallangan signalga aylanadi. Bu blokning chiqishida quyidagi signalni olamiz:

$$\frac{dDP}{dt} / \frac{dU}{dt} = \frac{dDP}{dU}. \quad (9.1)$$

Yuklamaga bog‘liq ravishda dDP/dt ga teng bo‘lgan signalning qiymati o‘zining ishorasini o‘zgartiradi. Ekstremal rostdlashni amalga oshirish uchun bu signalning chiqish qiymati nolga teng bo‘lishi lozim. Signal jamlovchi SJ da signallar ayriladi yoki qo‘shiladi. Bu esa yuklama turlicha bo‘lganida elektr dvigatelni rostdlashning ekstremal zonasida ishlashni ta‘minlaydi.

Ekstremal boshqarishli asinxron elektr yuritma tizimi yuklama darajasi turlicha bo‘lganda AD da yig‘indi sarfining minimum bo‘lishini ta‘minlaydi. Bu elektr yuritmaning FIK ni o‘shishiga va AD ning quvvatidan samarali foydalanish imkonini beradi. Bu esa burchak tezligi rostdlanmaydigan va dvigatellari o‘zgarmas chastotada ishlaydigan mexanizmlarning tiristorli elektr yuritmalari uchun muhim ahamiyatga ega. Asinxron elektr yuritma chastota o‘zgarishining keng diapazonida eng kam sarf bo‘yicha boshqarilsa, dvigatel haroratining ortishi ham minimum bo‘ladi. Uning mutlaq qiymati yo‘l qo‘yiladigan qiymatidan biroz farq qilishini ko‘rsatadi.

Savol va topshiriqlar

1. AEY vositasida energiya tejashning asosiy tamoyillari nimalardan iborat?
2. Energiya tejaydigan asinxron elektr yuritmaning funksional sxemasini chizib bering.
3. Energiya tejaydigan asinxron elektr yuritmaning funksional sxemasi qanday ishlaydi?
4. Dvigateldagi sarfga proporsional bo‘lgan signal qaysi elementdan qanday qilib olinadi?
5. Ekstremal boshqarishli asinxron elektr yuritma tizimi energiyani qanday tejaydi?

FOYDALANILGAN ADABIYOTLAR

1. *Иброҳимов У.* Электр машиналари. Касб-гунаар коллежлари учун. «Ўқитувчи». Т., 2001.
2. *Ковчин С. А., Сабини Ю. А.* Теория электропривода. «Энергоатомиздат». СПб., 2000.
3. *Мажидов С. М.* Электр машиналар ва электр юритмалар. «Ўқитувчи», 1979.
4. *Ключев В. И.* Теория электропривода. М., «Энергоатомиздат». 2000.
5. *Рудаков В. В.* Электроприводы с программным управлением и последовательной коррекцией. Л., Изд-во ЛГИ, 1990.
6. *Сабинин Ю. А., Грузов В. Л.* Частотно-регулируемые асинхронные электроприводы. Л., «Энергоатомиздат». 1985.
7. *Терехов В. М.* Элементы автоматизированного электропривода. М., Энергоатомиздат, 1987.
8. *Чиликин М. Г., Ключев В. И., Сандлер А. С.* Теория автоматизированного электропривода. М., Энергия, 1979.
9. *Хамудханов М. З.* Частотное управление асинхронным электроприводом. Ташкент «Фан», 1959, 336 с.
10. *Хашимов А. А.* Режимы работы частотно-регулируемых асинхронных электроприводов. Ташкент. «Фан», Т., 1987. 176 с.
11. *Хашимов А. А.* Специальные режимы частотно-управляемых асинхронных электроприводов. М., Энергоиздат, 1994. 240 с.
12. *Саидахмедов С. С.* Электр схемаларини ўқитиш. Касб-гунаар коллежлари учун, «ТДТУ», Т., 2002.
13. *Хашимов А. А.* Российский патент, № 2069032. Асинхронный электропривод с экстремальным управлением. 1996.
14. *Хашимов А. А.* Узбекский патент, № 4609, Асинхронный электропривод, 1998.

MUNDARIJA

Kirish	3
---------------------	---

I bob. Elektr yuritma mexanikasi

1.1. Elektr yuritma mexanik qismining dinamik modeli, funksional sxemasi va asosiy elementlari.....	18
1.2. Elektromexanik tizimda qarshilik kuchlari va momentlar.....	22
1.3. Qarshilik momentlari, inersiya massalari, qayishqoq momentlar va dissipativ kuchlar momentini bitta o'qqa keltirish.....	25
1.4. Elektr yuritmaning statik ustuvorligi.....	31
1.5. Yuritmaning mexanik qismidagi isroflar.....	34

II bob. O'zgarmas tok dvigatellarini rostlash xususiyatlari va mexanik tavsiflari

2.1. Umumiy holatlar.....	38
2.2. Nisbiy birliklar.....	41
2.3. O'zgarmas tok dvigatellarning mexanik tavsiflari.....	45
2.4. Magnit oqimi o'zgarmas bo'lganda mustaqil qo'zg'atish chulg'amli dvigatelning mexanik tavsiflari.....	47
2.5. Mustaqil qo'zg'atish chulg'amli dvigatel yakori zanjiriga ulanadigan qarshiliklarni hisoblash.....	68
2.6. Mustaqil qo'zg'atish chulg'amli o'zgarmas tok dvigateli maydoni kuchsizlangandagi mexanik tavsiflari.....	73
2.7. Ketma-ket qo'zg'atish chulg'amli dvigatelning mexanik tavsiflari.....	78
2.8. Aralash qo'zg'atish chulg'amli dvigatellarning mexanik tavsiflari.....	96

III bob. O'zgarmas tok elektr yuritmalarining rostlash xususiyatlari va mexanik tavsiflari

3.1. Elektr yuritmalarning aylanish tezligini rostlashning asosiy ko'rsatkichlari.....	100
3.2. Generator-dvigatel tizimining mexanik tavsiflari.....	106
3.3. Boshqariluvchi to'g'rilagich-dvigatel tizimlari.....	111

IV bob. O'zgaruvchan tok dvigatellari va yuritmalarining mexanik tavsiflari

4.1. Umumiy holatlar.....	129
4.2. Asinxron dvigatelning matematik modeli.....	130

4.3. Asinxron dvigatel mexanik tavsifining tenglamasi.....	133
4.4. Asinxron dvigatellarning mexanik tavsiflari.....	137
4.5. Asinxron dvigatellarning tormozlash rejimlari.....	150
4.6. Asinxron dvigatellarning tezligini rostdash.....	160
4.7. Asinxron dvigatellar tezligini chastotali rostdash.....	165
4.8. Sinxron mashinalarning mexanik va burchak tavsiflari.....	170

V bob. Elektr yuritmalarning parametrlari va tuzilish sxemalari

5.1. Inersiya momenti va elektr mexanik vaqt doimiyliigi.....	174
5.2. O'zgaras tok mashinalari chulg'amlarining induktivliigi va elektrmagnit vaqt doimiyliigi.....	177
5.3. O'zgaras tok elektr yuritmalarining uzatish funksiyalari va tuzilish sxemalari.....	179
5.4. Asinxron dvigatelli elektr yuritmalarning uzatish funksiyalari va tuzilish sxemalari.....	184

VI bob. Elektromexanik tizimlar dinamikasi

6.1. Elektromexanik tizimlarda o'tkinchi jarayonlar.....	188
6.2. Elektr yuritmalarning mexanik o'tkinchi jarayonlari.....	189
6.3. O'zgaradigan parametrlarda mexanik o'tkinchi rejimlar.....	198
6.4. Elektr yuritmalarni ishga tushirish va tormozlash vaqti.....	203
6.5. Mustaqil qo'zg'atishli o'zgaras tok dvigatelli elektr yuritmalarda elektromexanik o'tkinchi jarayonlar.....	207
7.1. Dvigatel quvvatini tanlash.....	223
7.2. Elektr yuritmalarning yuklama diagrammalari.....	224
7.3. Statik va dinamik rejimlarda energiya isrofi.....	228
7.4. Elektr dvigateldagi issiqlik jarayonlari.....	237
7.5. Uzoq vaqt ishlash rejimida dvigatel quvvatini tanlash.....	242
7.6. Qisqa vaqt ishlash rejimi uchun dvigatel quvvatini tanlash.....	245
7.7. Qaytar-qisqa vaqt rejimi uchun dvigatel quvvatini tanlash.....	249

VIII bob. Mikroprotessorli elektr yuritmalar

8.1. Mikroprotessorli boshqariluvchi elektr yuritmalarning afzalliklari va vazifalari.....	260
8.2. Mikroprotessorli boshqariluvchi elektr yuritmaning funksional sxemasi.....	262
8.3. Mikroprotessorli tizim arxitekturasini.....	267
8.4. O'zgaras tok yuritmasini mikroprotessorli boshqarish.....	271

**IX bob. Avtomatlashtirilgan elektr yuritmaning
energiyani tejash rejimlari**

9.1. Energiya tejashning asosiy tamoyillari.....	277
9.2. Energiyani tejaydigan asinxron elektr yuritma.....	279
Adabiyotlar ro‘yxati.....	283

*Orifjon Odilovich Hoshimov
Sulton Sidiqovich Saidahmedov*

ELEKTR YURITMA ASOSLARI

Oliy o'quv yurtlari uchun darslik

Toshkent 2007