

621.33

B 56

U.T. Berdiyev

TORTUVCHI ELEKTR MASHINALAR

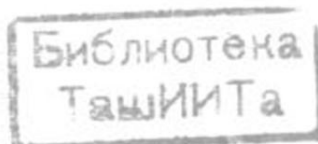


O'zbekiston Respublikasi
Oliy va o'rta maxsus ta'lim vazirligi

U.T.Berdiyev

TORTUVCHI ELEKTR MASHINALAR

5310700 – Elektr texnikasi, elektr mexanikasi va elektr texnologiyasi
(temir yo'l transporti) va 5310600 – Yer usti transport tizimlari va ularning
ekspluatatsiyasi (elektr transporti) ta'lim yo'nalishlari talabalari uchun
darslik



«MUSIQA» nashriyoti
Toshkent-2017

Ushbu darslikda elektr harakat tarkiblarida qo'llanuvchi tortuv elektr mashinalarining elektr harakat tarkibidagi roli va klassifikatsiyasi, kollektorli va kollektorsiz tortuv elektr motorlarining tuzilishi, ishlashi, xarakteristikalar, o'zgarmas tok motorlarining tok qabul qilish xususiyatlari, tortuv elektr mashinalarida o'tkinchi jarayonlar va boshqa bandlar keltirilgan. Shu bilan birga ularning umum qo'llaniluvchi elektr mashinalardan farqi va afzalliklari ko'rsatib o'tilgan.

Darslik "Tortuvchi elektr mashinalar" fanidan 5310700 – Elektr texnikasi, elektr mexanikasi va elektr texnologiyasi (temir yo'l transporti) va 5310600 – Yer usti transport tizimlari va ularning ekspluatatsiyasi (elektr transporti) ta'lim yo'nalishlari talabalari uchun mo'ljallangan bo'lib, undan magistratura talabalari, "O'zbekiston temir yo'llari" AJ tasarrufidagi kasb-hunar kollejlari o'quvchilari hamda injener-texnik xodimlar ham foydalanishlari mumkin.

O'zbekiston Respublikasi Oliy va o'rta maxsus ta'lim vazirligi tomonidan darslik sifatida tavsiya etilgan (Grif 355-032).

Taqrizchilar :

N.B. Pirmatov – t.f.d., professor (TDTU);
I.S.Kamalov – katta o'qituvchi, "Lokomotiv
va lokomotiv xo'jaligi" kafedrası mudiri
(ToshTYMI).

KIRISH

Tortuv elektr mashinalarining elektr harakat tarkibidagi roli va klassifikatsiyasi

Elektr mashinalari va tortuv transformatorlari elektr harakat tarkibidagi asosiy elektr jihozlari hisoblanadi.

Tortuv motorlari bu maxsus ishlangan mashina bo'lib, faqat tortuvchi harakat tarkiblarida: elektrovozlarda, teplovozlarda, elektr va dizel – poyezdlarda hamda tramvay va trolleybuslarda, metropoliten vagonlarida tortish vazifasini bajarish uchun qo'llaniladi.

Elektr harakatlanuvchi tarkib va avtonom transport vositasiga elektr yuritma bilan o'rnatiladigan elektr mashina tortuvchi elektr mashina deb ataladi.

Tortuvchi elektr yuritmalar o'zining rivojlanishi davomida takomillashtirilib kelinmoqda, bunda tortuv elektr mashinasining parametri va xarakteristikallari sifat jihatidan yaxshilanmoqda.

Tortuv elektr mashinasining ish sharoiti umum ishlatiladigan elektr mashinalar ish sharoitidan tubdan farq qiladi.

Tortuv elektr mashinasi kuzovda, ekipajning tagida yoki g'ildirak stupitsasida o'rnatiladi, shuning uchun ularga tashqi muhit ko'p ta'sir qiladi.

Motorga sovutish havosi bilan birga chang, suv, shu bilan birga qishda qor ham tushadi. Shuning uchun tortuv elektr motorlari shunday hisoblanishi kerakki, ular faqatgina nominal rejimga ishlab qolmasdan balki tok bo'yicha o'ta yuklanishda va yuqori aylanish chastotasi rejimlarida ham ishlashi lozim bo'ladi. Bularning barchasi tortuv mashinalarining kommutatsiyaga mustahkamligiga yuqori talablar qo'yadi. Tortuv mashinalari kommutatsiyasi kontakt o'tkazgichida kuchlanishning tezda tushishiga sabab bo'ladi va uni olib ta'mirlash qo'shimcha qiyinchiliklarni yuzaga keltiradi.

Tortuv motori – tortuv elektr yuritmasining asosiy qismlaridan biri hisoblanadi. Individual yuritma eng ko'p qo'llanadigan va keng tarqalgan yuritma bo'lib, bunda har bir motor bitta g'ildiraklar juftligini harakatga keltiradi. Elektrovozlarda tortuv motorlarning quvvati bunday yuritmalar uchun 900-1200 kVt ga yetadi, elektr poyezdlarda esa 230-250 kVt, teplovozlarda -350 kVt ni tashkil etadi.

Ayrim hollarda guruhli yoki transmission yuritmalar qo'llaniladi, bunda har bir tortuv motori 2-3 g'ildiraklar juftligini harakatga keltiradi. Bu hol motorning birlik quvvatini oshirishga imkon beradi va mashinaning quvvat birligiga to'g'ri keladigan massasini ancha pasaytiradi:

$m_m = \frac{m}{P_n}$, bu yerda: m – motor massasi, kg; P_n – motorning nominal quvvati, kVt.

Hozirgi zamon elektrovozlarining tortuv elektr motorlarining birligiga to'g'ri keladigan massasi, individual yuritma

$m_m = 3,5 \div 10 \frac{\text{kg}}{\text{kVt}}$ ni tashkil qilsa, guruhli yuritmalarda $m_m = 3,2 \div 8$

tashkil etadi. Guruhli yuritmalarda g'ildirakning rels bilan ilak foydalanish bir qancha oshadi, lekin uning konstruksiyasi sezilarli darajada murakkablashadi va tortish uzatmasini ta'mirlash hajmi oshadi.

Harakat tezligi 300-350 km/soatdan yuqori bo'lganda g'ildirakni rels bilan ilakish koeffitsiyenti ancha pasayadi va g'ildirak–rels kontakti kerakli tortish kuchiga ega bo'lish murakkablashadi. Shuning uchun tezlikli yer usti transportlarida aylanadigan tortuv motorlari emas to'g'ri chiziqli yoki elektromagnit yostiqchali motorlar qo'llaniladi.

Tortuv motorlari amalda yuritmaning har qanday kerakli xarakteristikasini, ya'ni V harakat tezligining F tortish kuchiga nisbat bog'liqligini olishga imkon beradi.

Tabiiy yumshoq xarakteristikalar bir-biridan farq qiladi, diapazonda $\frac{dv}{dF} < 0$ da, qattiq, agar $\frac{dv}{dF} \equiv 0$ bo'lsa va $\frac{dv}{dF}$ nisbatning ixtiyosiy qiymatlarida kerakli qiymatlarni qabul qilib, tortuv motorlari xususiyatlaridan foydalanmay, uning ish rejimlarining doymiy ravishda avtomatik rostdan foydalaniladi. Tortuv motorlari lokomotivlar o'zida joylashgan yoki undan tashqarida joylashgan bo'ladi, bu boshqarish joyidan lokomotivlarni sodda va ishonchli ravishda boshqarishga imkon beradi. Tortuv motorlarining mavjudligi harakat tarkibini tormozlashga, ya'ni uni generator rejimiga o'tkazib tormozlashga yaratadi. Bunda tortuv motori yordamida ishlab chiqarilayotgan energiya kontakt tormog'iga uzatilishi mumkin (rekuperativ tormoz) yoki tormoz qarshiligiga taqsimlanishi mumkin (reostatli tormoz). Elektr tormozlashda poyezd vagonining va lokomotivlarning massalari pnevmatik tormozlashga nisbatan ancha kam yeyiladi.

Og'ir sharoitda ishlashi va o'lchamlari qattiq chegaralanganligi tortuv elektr motorlari chegaraviy foydalaniladigan mashinalarga nisbatan. Ko'pgina tortuv motorlari konstruktiv tayyorlanish bo'yicha bir qancha taraflari mavjud bo'lgan va shu bilan birga kamchiliklari ham nisbatan kam bo'lgan kollektorli o'zgarmas tok va pulsatsiyalanuvchi tokli mashinalar turiga kiradi.

XX asrning 60 yillariga kelib transport sohasi bo'yicha rivojlangan mamlakatlarda kollektorsiz tortuv motorlari - asinxron (ATM) va ventilli (sinxron) motorlarni elektr harakat tarkibida qo'llash ustida to'xtovsiz izlanishlar va tadqiqotlar olib borilmoqda. Biroq ATM larni keng tadbiq etish, ularni energiya ta'minot tizimi uchun qo'llaniladigan o'zgartirish qurilmalari mustahkamligini oshirishni talab etganligi tufayli keng qo'llanilmagan. Hozirgi kunga kelib, o'zgaruvchan tok ta'minot tizimi yo'lga qo'yilganligi va har xil o'zgartirish qurilmalarining takomillashtirilganligi tufayli qisqa tutash rotorli asinxron motorlarni elektr harakat tarkiblarida qo'llash keng yo'lga qo'yilmoqda. Yuk tashuvchi elektrovozlar uchun mamlakatimiz yo'llarida tortuv elektr motorlarining tirgakli-o'qli osish usuli qo'llaniladi, unda bir tarafdin g'ildirak juftligi o'qiga motor-o'qli podshipniklar orqali mahkamlansa, boshqa tarafdin-aravachaning ramasiga elastik ravishda osiladi. Yo'lovchi tashuvchi elektrovoz va elektr poyezdlari tortuv elektr motorlari ancha takomillashgan bo'lib, ramaga osiladi, bunda ular to'lig'icha resorlangan bo'ladi.

Asinxron tortuv elektr motorida o'qli osishni qo'llash mumkin bo'ladi, bunda g'ildirak juftligi o'qi motorning rotorini ichiga kirib turadi.

Elektrovozlarning tortuv elektr motorlari bog'liq bo'lmagan intensiv holdagi shamollatish bilan bajarilgan, bunda havo lokomotivning kuzoviga o'rnatilgan maxsus motor-ventilyator yordamida uzatib beriladi. Elektr poyezdlarda motor ventilyatorga joy bo'lmaganligi uchun tortuv motorlarga o'z-o'zidan shamollatish tizimi qo'llaniladi, bu holda ventilyator sovutiladigan motor o'qida o'rnatiladi. O'zgaruvchan tokli EHTdagi tortuv (asosiy) transformatorlarida kuchlanishni 25kV kuchlanishdan tortuv elektr motorlar uchun zarur bo'lgan karrali miqdorgacha o'zgartirish mumkin bo'ladi. Yordamchi elektr mashinalar, lokomotivning va poyezdning isitish zanjirlarini energiya bilan ta'minlaydi. Transformatorlar yog'li intensiv sovutish, yog'ni majburiy sirkulyatsiya qilish yordamida sovutish va yog'li issiqlik almashinish qismini majburiy havo yordamida sovutadigan qilib tayyorlanadi. Yordamchi elektr mashinalar ijrochi va yordamchi qurilmalarini energiya bilan ta'minlash uchun mashinali o'zgartgichlarga bo'linadi. Ijrochi mashinalar lokomotivning ventilyatorlari, sovutish tizimi nasoslari, kompressorlar, pnevmatik tormozni siqilgan havo bilan ta'minlovchi pnevmatik qurilmalar yuritmasi sifatida qo'llaniladi. Mashinali o'zgartgichlar tortuv motorlarini bog'liq bo'lmagan holda qo'zg'atishda, past kuchlanishli yordamchi mashinalarni ta'minlashda (dinamotorlar) va bir fazali tok kuchlanishini uch fazaliga o'zgartirish (faza ajratgichlar)

maqsadlarida qo'llaniladi. Ko'pgina hollarda kombinatsiyalangan mashinali agregatlardan foydalaniladi, ya'ni, ventilyatorlar yoki faza ajratgichlar elektr motorlari bir vaqtda tokni boshqarish generatori yuritmasi sifatida ham foydalaniladi. Yordamchi elektr mashinalar elektrovozning kuzovida yoki elektr poyezdi vagoni tagida joylashtiriladi. O'zgarmas tokli elektr harakat tarkibida yordamchi mashinalar yuritmasi uchun, asosan yuqori kuchlanishli ketma-ket yoki aralash qo'zg'atiladigan kollektorli motorlar, kam hollarda asinxron elektr motorlari qo'llaniladi.

Tortuv elektr mashinalarining klassifikatsiyasi. Hozirgi zamon temir yo'l harakatlanuvchi tarkibi va relssiz harakatlanuvchi transportlar (elektrovozlar, motorli vagonlar, trolleybuslar, teplovozlar, gazoturbovozlar, avtopoyezdlar, avtomobillar va boshqalar) qabul qilayotgan tokning turiga qarab uch turga bo'linadi:

1. O'zgarmas tokda harakatlanuvchi tarkib.

a) Kontakt tizimidan kuchlanishi 3000, 1500, 1200, 750, 550, va 250 V dan ta'minlanuvchi, bunda tortuv va yordamchi mashinalar ko'rsatilgan kuchlanishda mo'ljallab tayyorlanadi, kuchlanishi 3000 V bo'lgan TEMlari ish kuchlanishlari 1500 V qilib tayyorlanadi. 3000 V ning izolyatsiya kuchlanishi hisoblanadi.

b) TEM ni o'zgarmas tok generatorlari yordamida energiya bilan ta'minlash, bunda O'TG ichki yonuv motori, gaz turbinasi va boshqa yuritish jihozlari bilan harakatlantiriladi, elektr mashinaning kuchlanishi 1000 V dan oshmaydi.

v) O'T TEM o'zidan va issiqlik motori yordamida yuritiladigan ko'p fazali o'zgaruvchan tok generatoridan ta'minlanadi. Kuchlanish yarim o'tkazgichli to'g'rilagichlar yordamida o'zgarmas tokka o'zgartiriladi. Ularning kuchlanishi 1000 V dan oshmaydi.

g) TEMni akkumlyator batareyalari yordamida ta'minlash, bunda kuchlanish 150V dan oshmaydi.

2. Bir fazali o'zgaruvchan tokli harakatlanuvchi tarkib

Past chastotali ($16\frac{2}{3}$ va 25Gs) va kontakt tarmog'i kuchlanishi 25000V gacha bo'lgan. Bu bilan kuchlanishi 500V gacha bo'lgan kuch transformatori orqali ta'minlanadigan elektr mashinalari qo'llaniladi.

3. O'zgaruvchan tokli harakatlanuvchi tarkib.

a) O'zgaruvchan tok kontakt tizimidan standart chastotasi 50 Gs va kuchlanishi 25000 V gacha bo'lgan tarmoqdan ta'minlanuvchi: bundan transformator orqali ta'minlanuvchi tortish motorlari (o'zgaruvchan tok kollektorli motorlar, chastotasi $f = 50$ Gs) bilan bir fazali to'g'rilagichdan ta'minlanuvchi (pulslanuvchi tok motorlari) yoki faza va chastotani

o'zgartgichlar orqali (3 fazali qisqa tutash rotorli asinxron motorlar, ventilli motorlar). Bunda tortuvchi motorlar kuchlanishning qiymati 1000-2000 V gacha bo'ladi.

b) O'zgaruvchan tok tortish motorlari issiqlik motorlari orqali harakatga keltiriladigan o'zgaruvchan tok generatorlari orqali ta'minlanadigan (asinxron, ventilli) yoki bevosita oraliq o'zgartirgichlarsiz (ko'rinadigan uzatgich) yoki har xil turdagi o'zgartgichlar (ko'rinmaydigan uzatgich) yordamida chastota va faza o'zgartgichlardan foydalaniladi. Bunda tortuv motorlari kuchlanishi 1000-2000 V gacha bo'ladi.

Hozirgi kunda o'zgarmas tokli tortuvchi elektr motorlari bilan birgalikda o'zgaruvchan tok motorlari (qisqa tutash rotorli asinxron) keng qo'llanilmoqda. "O'zbekiston temir yo'llari" AJ da foydalanilayotgan "O'zbekiston", "O'zbekiston-yo'lovchi" va "O'Z-EL" elektrovozlarida hamda "Afrosiyob" elektr poyezdlarida o'zgaruvchan tokda ishlaydigan qisqa tutash rotorli asinxron motorlar o'rnatilgan.

Ushbu darslikni tayyorlashda quyidagi chet el adabiyotlaridan ham foydalanildi:

1. E.G.Strangas "Notes for an Introductory Course On Electrical Machines and Drives", MSU Electrical Machines and Drives Laboratory, USA, 2012 y.;

2. Syed A. Nasar "Electric machines and electromechanics", A Division of The Mc.Graw-Hill Companies, USA, 1998 y.;

3. W.J.R.H.Pooler "Electrical Power", Electrical Power 3rd Edition, USA, 1998 y. kabi chet davlatlar adabiyotlaridan ham foydalanilgan.

1-bob. Kollektorli tortuv elektr mashinalarning xarakteristikallari va xususiyatlari

1.1-§. Tortuv elektr motorlarning ishlash xususiyatlari va ularga qo'yiladigan talablar

Tortuv elektr motorlarining ishga yaroqliligi va ekspluatatsiya qilish sifati uning parametrlariga va ekspluatatsiya qilish shartlariga mos holda bog'liq bo'ladi. Ekspluatatsiya qilish shartlarini xarakterlovchi alohida ko'rsatkichlari parametrik, determinatsion xarakterdagi yoki bexosdan yuzaga keluvchi ta'sirlar va bir teksda bo'lmagan holatlar bilan belgilanadi. Tortuv elektr motorlarining ishga yaroqliligini ta'minlash qiyin, chunki ko'p turdagi ta'sirlar va bir tekisda bo'lmagan holatlar ularning chegaradan chiqishlariga sabab bo'ladi.

Tortuv elektr mashinalariga ichki va tashqi dinamik kuchlar ta'sir ko'rsatadi.

Elektr mashinalarining ba'zi qismlariga ta'sir etuvchi *ichki dinamik kuchlar* hisoblangan konstruktiv ko'rsatkichlarga nisbatan texnologik va ekspluatatsion og'ishlarni yuzaga keltiradi: kollektor ishchi yuzasidagi o'zgarishlar, yakorning balansirovkasi to'g'ri bo'lmasligi, tortuv uzatgichining va motorni osish detallarining buzqligi.

Eng katta tashqi dinamik kuchlar poyezd harakatlenganda EHTning harakatlanuvchi qismi va relslar orasida o'zaro ta'siridan yuzaga keladi. Bu impuls kuchlarning R_u qiymati asosan mumkin bo'lgan dinamik tezlanish a_d bilan xarakterlanadi:

$$P_d = ma_d = G\alpha_d^*$$

bu yerda: m , G – dinamik tezlanish ta'sirida bo'lgan qismning massasi va og'irligi; α_d^* – dinamik tezlanishning nisbiy qiymati; $\alpha_d^* = \frac{a_d}{g}$ (bu yerda g – jismning erkin tushish tezlanishi).

Tayanch-o'qli osilgan tortuv elektr motorlari uchun tajriba ma'lumotlariga asosan $\alpha_d^* = 10 \div 15$, o'ta yuqori harakat tezligida $\alpha_d^* = 20 \div 25$ ga teng bo'ladi. Ramga osilgan motorlar uchun $\alpha_d^* = 3 \div 5$ ga teng. Kuzovda joylashtirilgan mashinalar uchun $\alpha_d^* = 1 \div 1,5$ ga teng.

Yakor qismlari uchun eng yuqori tezlanish $\alpha_{dyu}^* = \alpha_d^* \mu$ (bu yerda μ – tortuv uzatgichning uzatishlar nisbati).

Dinamik tezlanish mashinaning ba'zi qismlarining mustahkamligiga ta'sir qilmasdan, uning tok qabul qilish jarayoniga ham ta'sir qiladi.

Tortuv motorlari yo'lga nisbatan yaqin joylashgan bo'ladi, shuning uchun poyezd harakatlanish vaqtida havo oqimi bilan birga iflosliklarning kirishini oldini olish choralari ko'rilishi zarur. Tortuv motorlarini shamollatish uchun $100-150 \frac{m^3}{min}$ miqdordagi havo oqimi zarur bo'ladi. Motorning shamollatish tizimiga kiradigan havo tarkibida chang hamda tormoz tizimi kolodkalarini yemirilishiga olib keladigan metall qismlari bo'ladi. Havodagi changning tarkibi $14-30 \frac{mg}{m^3}$ gacha etadi. Qorli izg'irinda motorga kiradigan havo tarkibida $20-25 \frac{g}{m^3}$ gacha qor bo'lishi mumkin. Bu iflosliklardan to'liq xalos bo'lishining imkoniyati yo'q.

Qisman bo'ladigan o'ta ifloslanish sho'tka va kollektorning o'ta yemirilishiga olib keladi, chunki tortuv motorlarida sho'tkani ko'proq siqishga to'g'ri keladi. Ifloslanish mashinaning barcha qismlari izolyatsiyasi holatini va uning shamollatish tizimini buzadi. Agar ichki shamollatish kanallari ifloslansa uning yuzasidan issiqlik tarqalishini 3 marta kamaytiradi. Ish jarayonida tortuv motorlari ish rejimlarining o'zgarishi ta'sirida uning zanjirida tok $0,25I_n$ dan $2I_n$ gacha o'zgaradi. Tokning maksimal qiymati $I_{max}=K_{o'yu}I_n$ bo'ladi, bunda $K_{o'yu}$ —o'ta yuklanish koeffitsiyenti, u ko'pincha $1,4 \div 2,0$ ga teng bo'ladi. Tokning o'zgarishi, quvvat isrofini ΔP_E yana ham katta o'zgarishiga olib keladi.

$$\Delta P_{emi} = 0,0625 I_n^2 r \quad \text{dan} \quad P_{E\max} = (1,96 \div 4) I_n^2 r \quad \text{gacha,}$$

bu yerda, r — chulg'amlar qarshiligi.

Bu esa chulg'amlar izolyatsiyasining qizish temperaturasini ancha o'zgarishiga olib keladi, bu uning ishlash vaqtini kamaytiradi. Tortuv motorining ishlashi davomida ko'pgina utish jarayoni yuzaga keladi, buning yuzaga kelishiga tizimga kiruvchi kinetik A_k va elektromagnit A_e energiya yig'uvchilari sezilarli ta'sir qiladi.

$$A_k = \frac{1}{2} \sum mv^2 \quad \text{va} \quad A_e = \frac{1}{2} \sum LI^2$$

bu yerda: m, v — mos holda tizim elementlarining massasi va tezligi; L, I — mos holda elementlarning induktivligi va zanjirdagi tok.

O'tkinchi jarayon davomida energiya yig'uvchining ta'siri qancha kuchli bo'lsa, m va L larning qiymati hamda $\frac{dv}{dt}$, $\frac{dI}{dt}$ larning o'zgarish intensivligi shuncha katta bo'ladi. Tortish rejimida agar qisqa tutash

bo'lganda bu nisbat $\frac{dI}{dt} \cong 10^4 \div 10^5 \frac{A}{c}$, rekuperativ tormoz rejimida $\frac{dI}{dt} \cong 10^6 \frac{A}{c}$ ga teng bo'ladi. Bu holda kommutatsiya o'ta yuklanishini yuzaga keltiruvchi induktiv E.YU.K. hosil bo'lishi mumkin.

$$e_u = -\sum L dI / dt \cong (5 \div 8) U_{k.nom}$$

bunda, $U_{k.nom}$ — tortuv motorining nominal kuchlanishi.

Bunday og'ir turg'un bo'lmagan jarayonlar kuchlanishning qayta tiklanishi, g'ildirak juftligining bir joyda aylanishi va boshqalarda yuqori konstruktiv zaxira bo'lishini talab etadi. Tortuv elektr motorlarini tayyorlashda va ekspluatatsiya qilishda ularning xarakteristikallari mos tushmasligi mumkin bo'lgan holdir. ГОСТ 2582-81 standarti ko'pincha qo'zg'atish tokining o'ta keskin pasayishida tezlik xarakteristikasining sezilarli og'ishiga ruxsat etiladi. Misol uchun 1.1-rasmda ТЛ-2К motorining shunday xarakteristikallari keltirilgan. Motorning haqiqiy xarakteristikallari shtrixlangan qism bilan chegaralangan. Xarakteristikaning yana ham katta mos kelmasligi g'ildirak-motorli blokning g'ildiragi diametri har xil bo'lganda ekspluatatsiya qilinsa yuzaga keladi.

Agar motorning xarakteristikallari bir xil bo'lmasa, unda birinchi va ikkinchi motor I_1 va I_2 toklarlarining katta farqi yuzaga keladi, $\Delta I = kI$, bunda

$$K = \frac{(I_1 - I_2)}{I_1}$$

Motor toklarining farqi chulg'amlardagi $\Delta P_{\Sigma I}$ isroflarda namoyon bo'ladi:

$$\Delta P_{\Sigma I} = I_i^2 r_i$$

bunda, I_i va r_i — mos holda chulg'amning toki va qarshiligi.

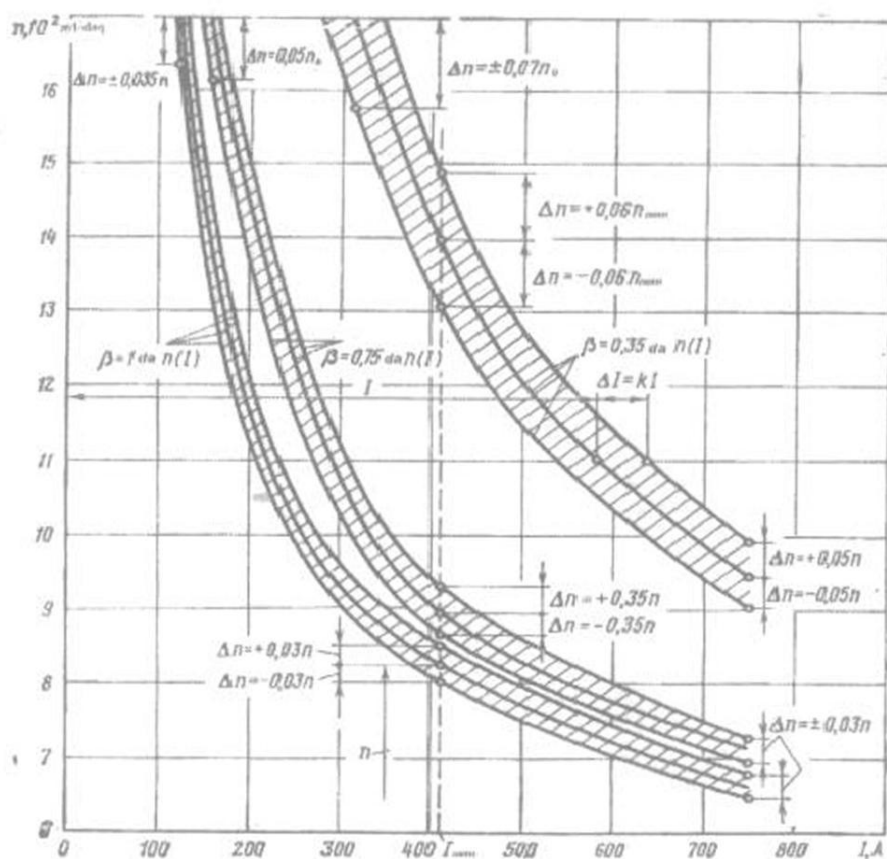
Ikki motor quvvatlarining elektr isroflari farqi.

Quvvat isrofining mos kelmasligining 2 martadan yuqori bo'lishi toklarning ham mos kelmasligiga olib keladi. Bu bazi mashinalar chulg'amlarining o'ta qizishiga olib keladi va ular izolyatsiyasining ishlash davomiyligini pasaytiradi. Tortuv elektr mashinalarining ko'rib chiqilgan ta'sirlardan va bir teksda bo'lmasligidan tashqari, tashqi muhit temperaturasi va kuchlanishning bir teksda bo'lmasligi, sovutish havosining bir teksda taqsimlanmasligi va boshqalar ham ta'sir qiladi. Tortuv elektr motorlari lokomotivlarning yuqori tortish va energetik

xususiyatlarini ta'minlovchi xarakteristikaga ega bo'lishi lozim. Ularning ishonchligiga ham o'ta yuqori talab qo'yiladi. Poyezdlarning xavfsiz harakatini ta'minlash shartiga ko'ra, tortuv elektr motorlarini osish qurilmalari buzilganda yo'lga tushib qolmasligi lozim bo'ladi. Bu holatning yuzaga kelmasligi uchun tortuv motorlari konstruksiyasiga saqlovchi kronshteynlar o'rnatish ko'zda tutilgan.

$$\Delta P_E = r_i (\Delta I_i^2 + 2 * \Delta I_i * I_i) = r_i * I_i (K^2 + 2K) = \Delta P_{Ei} (K^2 + 2K) \Delta P_{Ei} * 2K$$

Tortuv mashinalarini ta'mirlash imkoniyati bo'lishi lozim. Tortuv elektr mashinalarini ekspluatatsiya qilishda ularning energetik ko'rsatkichlariga va asosan foydali ish ko'effitsiyentiga (FIK) yuqori talablar qo'yiladi. Ekspluatatsiya qilishning bu talablari mashinalar solishtirma ko'rsatkichlarini kamaytirish haqidagi talablarga teskari bo'lishi mumkin: quvvat birligiga nisbatan massasi m_u va har xil materiallar sarfi (mis, izolyatsiya va boshqalar).



1.1-rasm. TJI-2K motorning tezlik xarakteristikasining ruxsat etilgan farq qilish grafiği.

Ixtiyoriy materialning quvvat birligiga nisbatan sarfi

$$m_{vi} = \frac{m_i}{P_{nom}}$$

bu yerda, m_i –i-chi motorga to'g'ri keladigan material massasi.

Chulg'amning massasini kamaytirish uchun, o'tkazgichlarning ko'ndalang kesimi yuzasini kamaytirish lozim bo'ladi

$$q_k = \frac{I_k}{j_k}$$

bunda: I_k -k-chi o'tkazgichdagi tok; j_k -k-chi o'tkazgichdagi tokning zichligi.

Biroq bu o'tkazgichlardagi tok zichligining o'sishiga olib keladi, bu esa o'z navbatida quvvat isrofining o'sishiga olib keladi.

$$\Delta P_E = \sum j_k^2 I_k$$

Bunday qarama-qarshiliklarni hal qilishda, masalan o'tkazgichlarning ko'ndalang kesimi yuzasini tanlashda texnik-iqtisodiy hisoblashlarni bajarish kerak bo'ladi.

1.2-§. Tortuv motorlarining nominal va chegaraviy kattaliklari

Tortuv elektr motorlari o'zgaruvchan rejimda ishlaganligiga qaramasdan, ularni hisoblashda va umumiy baholashda reglamentlashtirilgan nominal ish rejimi o'rnatilgan. Bu rejimga nominal kattaliklar mos keladi: quvvat, kuchlanish, tok, aylanish chastotasi, aylanuvchi moment va boshqalar.

EHT tortuv elektr motorlari uchun ikki nominal ish rejimi ko'zda tutilgan: uzoq davomli (doimiy) va soatli.

Tortuv motorini uzoq davomli (doimiy) ish rejimi – bu rejimda yakor yoki rotor yuklamasining eng yuqori tokiga chegaralanmagan vaqt davomida uning chulg'amlarida nominal kuchlanish va shamollatish bo'lganda, mos holda ruxsat etilgan temperaturadan oshmaydigan rejimdir. Uzoq davomli rejimda tok bilan sinashda, mashina qismlarining ruxsat etilgan temperaturasi ga amalda sinash boshlangandan keyin 4-6 soat o'tgach erishiladi.

Soatli rejim – yakor yoki rotorning eng yuqori toki bilan amalda sovuq holatdan ish boshlanadi va 1 soat ichida nominal qo'zg'atish kuchlanishi va shamollatish bilan bu rejimga mos keladigan kattaliklar holatlarini o'rganishdan iborat. Motor chulg'amlarining temperaturasi ruxsat etilgan temperaturadan oshib ketmaydi.

Tortuv motorlarning kattaliklari klasifikatsion sinash jarayonida tanlanadi va uzoq davomli va soatli rejimlarga mos keladi. Bu kattaliklar

mos holda quyidagicha belgilanadi: toklar I_∞ va I_c , quvvat P_∞ va P_s , aylanish chastotasi n_∞ va n_c , hamda F.I.K. η_∞ va η_c kabi belgilanadi.

Mashinaning nominal parametrlari uning pasportida, texnik pasportida va boshqa texnik hujjatlarda keltiriladi. Elektrovozlar tortuv elektr motorlari uchun uzoq davomli rejim, elektr poyezdlar motorlari uchun esa soatli rejim hisoblangan rejim hisoblanadi.

O'zgarmas tok elektr harakat tarkibi motorlari tok qabul qilgich yordamida kuchlanishga ketma-ket ulanadi, ya'ni uning kontakt tizimiga U_c kuchlanish beriladi. Bu kuchlanishning nominal qiymati hamdo'stlik davlatlari yo'llarida $U_{cnom} = 3$ kV ga teng.

Motor chulg'amlari uchlaridagi nominal kuchlanish

$$U_{k,nom} = \frac{U_{c,nom}}{n_{dmin}}$$

bunda, n_{dmin} — ketma-ket ulangan tortuv elektr motorlarining soni, ko'p hollarda ikki yoki to'rtta bo'ladi.

U_c kuchlanishi mashinalar korpusiga nisbatan tok o'tkazuvchi qismlarning izolyatsiyasi sinfini aniqlaydi. U_{knom} motor chulg'amlari uchlaridagi kuchlanishi esa uning elektromagnit tizimlari parametrlarini aniqlaydi. O'zgartirish qurilmalaridan ta'minlanadigan tortuv elektr motorlari uchun (o'zgaruvchan tok elektr harakat tarkibida) U_k nom kuchlanishi U_c nom kuchlanishga bog'liq bo'lmagan holda texnik-iqtisodiy mulohazalarga asosan tanlanadi. Ko'pincha "bir omli motor" prinsipidan foydalaniladi, bunda

$$I_{nom} \cong U_{knom} \quad \text{va} \quad U_{k,nom} \cong \sqrt{P_{nom} \cdot 10^3 / \eta_{nom}}$$

bu yerda, η_{nom} — F.I.K ning nominal qiymati

U_c kuchlanishi stabil holda bo'ladi, uning eng yuqori chegaraviy qiymati temir yo'lni texnik ekspluatatsiya qilish qoidalari asosida reglamentlanadi.

O'zgarmas tok elektr harakat tarkibi tortuv motorlari uchun $U_{cmax} = 4000$ V va $U_{kmax} = 2000$ V bo'ladi. O'zgaruvchan tok elektr harakat tarkibi tortuv motorlari uchun

$$U_{kmax} = (1,35-1,45) U_{knom}$$

bo'ladi.

Tortuv motori nominal rejimlarining toki va quvvatlarining o'zaro nisbati shu motorning sovush intensivligiga bog'liq bo'ladi va u shamollatish koeffitsiyenti deb ataladi

$$K_{\text{shamol}} = \frac{I_{\infty}}{I_c} = \frac{P_{\infty}}{P_c}$$

Shamollatish qancha intensiv bo'lsa K_{sham} shuncha birga yaqin bo'ladi.

Tok va quvvatning chegaraviy qiymatlari, uning konstruktiv yuklanish koeffitsiyenti bilan aniqlanadi.

$$K_{\text{o'tayukl}} = \frac{I_{\text{max}}}{I_{\text{nom}}} = \frac{P_{\text{max}}}{P_{\text{nom}}}$$

I_{max} toki yakorni ikkita tarafga ham 30 sekundan aylantirib stendda sinash yordamida aniqlanadi, u holda $K_{\text{yuk}} \geq 2$ bo'lishi lozim. Mashinalar kommutatsiyasini – aniqlovchi omil. Eksploatatsiya qilish sharoiti uchun eksplutatsion yuklanish koeffitsiyenti quyidagicha qabul qilinadi.

$$K_{\text{eks.yuk}} = \frac{I_{\text{xis}}}{I_{\text{nom}}} = \frac{P_{\text{xis}}}{P_{\text{nom}}}$$

bunda, I_{xis} ; P_{xis} – mos holda ekspluatatsiya sharoitidagi eng katta hisoblangan tok va quvvat.

K_{yukl} va $K_{\text{eks.yuk}}$ – koeffitsiyentlari orasidagi farq shunday qabul qilinadiki, unda tok va quvvatning kutiladigan chegaraviy ta'sir qiymatlari mos holda I_{max} va P_{max} dan oshib ketmasligi kerak. Aylanish tezligi n ko'pincha mashinaning konstruksiyasiga va ishga layoqatligiga asosiy ta'sir ko'rsatadi.

Markazdan qochma kuchlar $S \approx n^2$ bo'lganligi sababli, kollektor detallarining mustahkamligi va yakor chulg'amlarini mahkamlashga bog'liq bo'ladi.

Eng yuqori aylanish tezligi n_{max} , g'ildiraklar juftligining yarim yemirilgan bog'lamida (bandaj) EHT ning konstruksion tezligini V_{max} aniqlanadi. Biroq, ekspluatatsiya davomida, masalan g'ildirak juftligini bir joyda aylanishi vaqtida aylanish chastotasi n_{max} dan yuqori bo'lishi mumkin. Shuning uchun motor elementlarining mustahkamligini hisoblashda doymiy parallel ulangan motorlar uchun sinashning aylanish chastotasi $n_{\text{eksp}} = 1,25 \cdot n_{\text{max}}$ o'rnatilgan va doimiy ketma-ket ulangan motorlar uchun esa $n_{\text{eksp}} = 1,35 \cdot n_{\text{max}}$ bo'lishi qabul qilingin. Buning uchun tezliklar nisbati muhim hisoblanadi.

$$K_v = \frac{n_{\text{max}}}{n_{\text{nom}}} = \frac{V_{\text{max}}}{V_{\text{nom}}}$$

Ko'p hollarda elektr harakatlanuvchi tarkiblari uchun $K_v = 1,8-2,0$, sinash uchun markazdan qochma kuchlar $C_{\text{sin}} = (5,0 \div 7,3)C_{\text{nom}}$ bunda, C_{nom} -

1.2-rasm. Olti qutbli motorning magnit tizimini hisoblash sxemasi.

Magnitlanish egri chizig'i salt yurishning magnit yurituvchi kuchi tenglamasi yordamida, barcha magnit kuchlanishning pasayishi yig'indisidan aniqlanadi.

$$F_{\Sigma} = \sum H_i(B_i) \cdot L_i + F_{k.b.} + F_{kob}$$

bu yerda: $\sum H_i(B_i) \cdot L_i$ – po'lat magnit o'tkazgich tarmog'ida magnit kuchlanishning pasayishi;

F_B, F_{MO} – mos holda qutb va yakor orasidagi havo bo'shlig'ida hamda qutb va qobiq orasida magnit kuchlanishlarining pasayishi;

$H_i(B_i)$ – induksiyaga bog'liq bo'lgan uchastkalarda magnit kuchlanganlik;

L_i – har bir uchastka magnit oqimining o'rtacha harakatlanish yo'li uzunligi.

Asosiy qutb o'zagining yarmidan qo'shimcha qutbning o'rtasigacha chegaralangan holda o'tadigan magnit oqimi F ni magnit zanjiri (1.2-rasm) sifatida qarash mumkin. Qutb o'zagining L_m uchastkasida, ostovaga chiqishda L_{chiq} va ostovaga kirishda L_0 oqimning sochilishini hisobga olgan holda, uning qiymati $\Phi^I = \sigma \Phi$ gacha oshadi (bu yerda $\sigma \cong 1,06 \div 1,23$ – qutbning magnit sochiluvchanlik koeffitsiyenti qiymati).

Alohida uchastkalardagi magnit induksiyasi $B_i = \Phi_i / S_i$ (bunda S_i – har bir uchastkaning ko'ndalang kesim yuzasi). U holda ostova uchun (L_0 – uchastkada)

$$S_0 \cong h_0(\ell_{ya} + 0,4D_{ya}), B_0 = \Phi / (2S_0)$$

bunda: h_0 – magnit yarmosidagi ostova qalinligi; ℓ_{ya} – yakor o'zagi uzunligi; D_{ya} – yakorning tashqi diametri.

Ko'pincha po'lat quyma ostova uchun $B_0 \cong 1,3 \div 1,6$ Tl bo'ladi.

Qutb o'zagi uchun (L_m – uchastkasi uchun)

$$S_M \cong b_l \cdot l_M \cdot K_{k.tuld}$$

$$B_M = \frac{\Phi^I}{S_M} \cong 1,4 \div 1,7 \text{ Tl.}$$

bunda: V_m, l_m – qutbning shixtalangan o'zagi eni va uzunligi; $K_{k.tuld}$ – qutb o'zagini to'ldirish koeffitsiyenti, po'latlar uchun ko'pincha $l_l \cong (1,0 \div 1,1)l_{ya}$ bo'ladi.

Ostovaga chiqish uchastkasi oqimi uchun

$$L_{chik} \cong \frac{L_t}{2}$$

$$S_{chi} \cong h_0(\ell_t + b_t)$$

$$B_{chi} = \frac{\Phi^1}{(2 \cdot S_{chi})}$$

Kompensatsiyalovchi chulg'amli mashinalar uchun qutb tishlari qatlami (h_{zk} -uchastkasi)

$$S_{zk} \cong \ell_t(\alpha \cdot \tau - b_{mk} \cdot Z_{zk})$$

$$B_{zk} \cong \sigma \cdot \Phi / S_{zk} \cong 1,6 \div 1,8 \text{ Tl.}$$

bunda: α – qutb to'sig'i koeffitsiyenti; τ – qutb bo'linmasi; $\sigma \cong 1,02 \div 1,05$ – qutbning tish qatlamidagi sochilish koeffitsiyenti; Z_{zk} – qutbdagi kompensatsion chulg'am joylashgan pazlar soni.

Yakorning tish qatlami uchun (h_z -uchastkasi)

$$S_z = \alpha \cdot \ell_t \cdot z_{1/3} \cdot Z \cdot K_{tk} / (2p);$$

$$B_z = \frac{\Phi}{S_z}$$

bunda: $z_{1/3}$ – tishning uning asosidan $\frac{1}{3} \cdot h_z$ balandlikdagi qalinligi; Z – yakorning pazlari soni; K_{mk} – yakor po'lat o'zagining to'ldirish koeffitsiyenti.

Yakor tishlari – mashinalar eng ko'p to'yingan qismidir va ularning induksiyasi magnit tizimning to'yinish darajasiga bog'liq bo'ladi. Ularning yuqori va o'rta to'yinganligi asosan $B_z = 2,0 \div 2,3 \text{ Tl}$ va past to'yinganlikda $B_z = 1,7 \div 1,8 \text{ Tl}$ ga teng bo'ladi. Yakor o'zagi orqa tarafi uchun (L_s – uchastkasi)

$$S_c \cong 0,5 \cdot \ell_s \cdot K_{yap} [D_s - (D_u + 2h_z + d_u \cdot n_{bk})]$$

$$B_c = \frac{\Phi}{(2S_c)}$$

bunda: D_{ya} – yakor o'zagining ichki diametri; D_u , n_{bk} – mos holda ventilyatsion kanallar diametri va ular qatori soni.

Ko'pincha V_s induksiya qancha kichkina bo'lsa, yakorning qayta magnitlanish chastotasi shuncha yuqori bo'ladi, $f_{ya} = p \cdot n / 60Gs$. Bunga muvofiq $B_c = 1,4 \div 1,6 \text{ Tl}$ bo'ladi.

Havo bo'shlig'ida magnit kuchlanishning tushishi

$$F_h = \sigma \cdot B_h \cdot K_h / \mu_0 \approx 8 \cdot B_h \cdot \sigma \cdot K_h.$$

bunda: σ – ekvivalent (hisoblangan) havo bo'shlig'i; V_x – undagi o'rtacha induksiya; K_h – havo bo'shlig'i koeffitsiyenti, magnit o'tkazgichning tish tuzilishini hisobga oluvchi; M_0 – havoning magnit singdiruvchanligi.

Havo bo'shlig'ining hisoblangan ko'ndalang kesim yuzasi

$$S_h = \alpha \cdot \tau \cdot \ell_{ya}$$

Kompensatsion chulg'amli mashinalar uchun

$$K_h = K_{ya} K_{hk}$$

bunda, K_{hya} va K_{hk} – mos holda yakor va qutblar uchun havo bo'shlig'i koeffitsiyenti.

$$K_{hya} = (t + 10 \cdot \sigma) / (Z_1 + 10\sigma)$$

$$K_{hk} = (t_{kk} + 10\sigma) / (Z_k + 10\sigma)$$

bu yerda: t_1 va t_{kk} – mos holda yakor va qutbning tishlar bo'linishi; Z_1 Z_{kk} – mos holda yakor va qutbning aylana bo'ylab tish qalinligi.

Agar kompensatsion chulg'am bo'lmasa, unda $K_h = K_{hya}$ bo'ladi. Ruxsat etiladigin qutb va ostova orasidagi havo bo'shlig'i 0,1mm ga yaqin qiymatni va induksiya esa $B_{mo} \approx 8 \cdot B_m \cdot 10^{-3}$ Tl ni tashkil etishi qabul qilinadi.

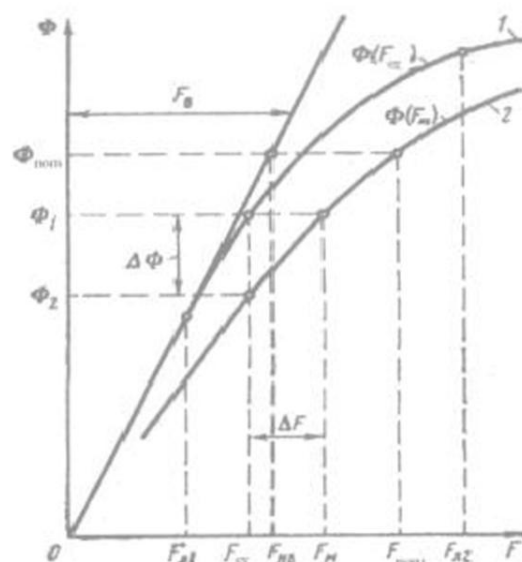
Hisoblangan magnitlanish egri chizig'i $F_{xx}(F)$ bog'lanishdan F ning har xil qiymatlarida olinadi. MYUK F_m ning qiymatlaridan pastda po'lat magnit o'tkazgichlar to'yinmagan va $\frac{d\Phi}{dF} \approx Const$ bo'ladi. $F(F)$ bog'lanish amalda to'g'ri chiziqli, F_{11} dan F_{12} oraliqda esa nochiziqli ko'rinishda va u magnit o'tkazgichning ayrim qismlarini o'ta to'yinganligi bilan aniqlanadi.

Yakor va qutb tishlari yuqori to'yingan mashinalarda $F > F_{12}$ bo'lganda $F(F)$ bog'lanish amalda to'g'ri chiziqli va $d\Phi/dF$ ning qiymati $F > F_{11}$ dan pastda bo'ladi. I tokli yuklamada, yakor reaksiyasining magnit yurituvchi kuchi yuzaga keladi.

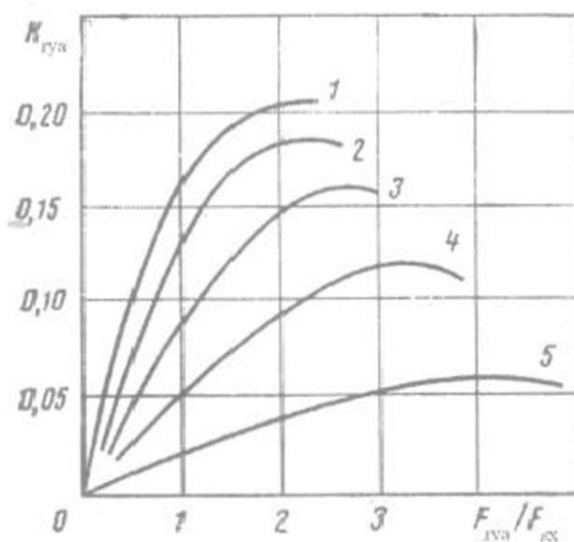
$$F_{yar} = I \cdot N / (8ar)$$

Bu MYUK mashinaning magnitlanish MYUKni bir qismini kompensatsiyalaydi (I-egri chiziq) uning qiymati $\Delta F = F_{yar} \cdot K_{yar}$.

K_{yar} — magnitsizlanish koeffitsiyenti yakor reaksiyasi ta'siri uning nisbiy qiymati $\frac{F_{yar}}{F_{ya}}$ va yakor tishlaridagi hisoblangan induksiylariga bog'liq bo'ladi (1.4-rasm).



1.3-rasm. Magnitlanish egri chizig'i (1) va magnit xarakteristikasi (2)



1.4-rasm. Induksiya $V_z^{1/3} = (2 \div 2.25) \text{ Tl}(1); 1.8 \text{ Tl}(2); 1.5 \text{ Tl}(3); 1.2 \text{ Tl}(4) \text{ i } 0.8 \text{ Tl}(5)$ bo'lganida $K_{rya} (F_{rya}/F_{hh})$ bog'lanish.

Bir va undagi magnit oqimi F_1 ning magnit yurituvchi kuchi MYUK F_m salt yurish MYUK F_{syu} dan ΔF qiymatga katta bo'ladi, yoki MYUK da F_{syu} oqimi F_1 ning qiymatdan F_2 gacha pasayadi. Yuklanish xarakteristika 2 ni 1-chi egri chiziqqa asosan qurish mumkin.

$$F_w(\Phi) = F_{\eta w}(\Phi) + K_{\eta w} F_{\eta w}(I).$$

$K_{\eta w}$ – koefitsiyent mashinaning konstruktiv xususiyatlariga bog'liq bo'ladi. 1.4-rasmda uning o'rtacha qiymatlari grafigi keltirilgan. Yuklanish xarakteristikasi mashinani sinash davomida aniqlashtiriladi.

Tortuv motorlarining magnit tizimining to'yinish darajasi, ularning tortuv xarakteristikalariga, rostlash sifatiga va boshqa xususiyatlariga bog'liq bo'ladi. Ular havo bo'shlig'ida magnit kuchlanishning nisbiy tushishiga bog'liq bo'ladi va ko'pincha to'yinish koefitsiyenti bilan baholanadi.

$$K_T = \frac{F_{nom}}{F_{xnom}}$$

bu yerda, F_{nom} , F_{xnom} – mashinaning nominal rejimdagi to'liq MYUK (1.3-rasmga qarang) va mos holda havo bo'shlig'idagi MYUKning tushishi. $K_T < 1,6$ bo'lganda motorning magnit tizimi kam to'yingan hisoblanadi, $K_T = 1,6 \div 2$ bo'lsa o'rtacha to'yingan va $K_T > 2$ bo'lsa o'ta to'yingan hisoblanadi.

1.4-§. Foydali ish koefitsiyenti va isroflar

Tortuvchi elektr motorlarining o'qidagi **foydali ish koefitsiyenti**

$$\eta = P / P_1 = (I \cdot U_n - \sum \Delta P) / (I U_k) = 1 - \sum \Delta P / (I \cdot U_k)$$

bu yerda: P , P_1 – mos holda motorning o'qidagi nominal va keltirilgan quvvat; $\sum \Delta P$ – motordagi isroflar yig'indisi.

Motordagi isroflar yig'indisi elektr ΔP_{ET} , magnit ΔP_{mag} , mexanik ΔP_{mex} va qo'shimcha

$$\sum \Delta P = \Delta P_{\Sigma} = \Delta P_{ET} + \Delta P_{mag} + \Delta P_{mex} + \Delta P_{qo'sh}$$

isroflardan tashkil topgan.

ГОСТ-2582-81 davlat standartiga asosan pulsatsiyalanuvchi tok tortuv elektr motorlari uchun alohida pulsatsiyalanuvchi isrof ΔP_{Σ} , F.I.K. doyimiy tokda (η) kabi, pulsatsiyalanuvchi tokda esa (η_{Σ}) kabi aniqlanadi

$$\eta_{\Sigma} = \eta P_1 / (P_1 + \Delta P_{\Sigma})$$

Elektr isroflar

$$\Delta P_E = \sum r_i \cdot I_i^2 + \Delta U_{sh} \cdot I$$

bu yerda, r_i , I_i mos holda har bir chulg'amning qarshiligi va uning zanjiridagi toki, $\Delta U_{sh} = 2 \div 3V$ -cho'tkalar tagida kuchlanishning pasayishi.

Motor ketma-ket qo'zg'atishi chulg'amlar yordamida qo'zg'atilganda

$$\Delta P_E = r_d \cdot I^2 + \Delta U_{sh} \cdot I = I^2 (r_{ya} + r_{KK} + r_K + r_K) + \Delta U_{sh} I$$

bu yerda: r_d – barcha chulg'amlarning yig'indi qarshilig'i; r_{ya} r_{qq} r_k r_q – mos holda, yakor, qo'shimcha qutb, kompensatsion va qo'zg'atish chulg'amlarining qarshiligi.

Magnit isroflar po'latning uchta magnitlanishidan yuzaga keladi [6]. O'zgarmas tok mashinalarida bu isroflar yakor o'zagida sodir bo'ladi.

$$\Delta P_{mag} = K_c (P_z \cdot M_z + P_{ya} \cdot M_{ya})$$

bunda: $K_c \cong 2,25 \div 2,70$ – o'zakdagi magnit o'tkazgichning bir xil emasligini va magnit oqimining taqsimlanishini hisobga oluvchi koeffitsiyent; m_z , P_z va m_{ya} , P_{ya} – mos holda tishning va yakor o'zagi sirtining massasi va solishtirma isrofi

$$m_z = Q_z \cdot \gamma_c = 0,5(z_1 + z_2) \cdot h^2 \cdot Z \cdot \ell_{ya} \cdot K_{iya} \cdot \gamma_c$$

$$m = Q \cdot \gamma_c = 0,25\pi [(D_{ya} - 2h_z)^2 - D_v^2 - n_v \cdot d_2^2] \cdot \ell_{ya} \cdot K_{iya} \cdot \gamma_c$$

bu yerda: Q_z Q_{ya} – mos holda tishdagi va yakor qismidagi po'latning hajmi; $\gamma_c \cong 7,8 \frac{kg}{dm^3}$ – po'latning zichligi; Z_1 Z_2 – mos holda yakor sirtidagi va uning asosidagi tishning qalinligi; n_v – ventilyatsion ariqchalarning umumiy soni.

Alohida shixtalangan po'lat magnit o'tkazgichlar uchun solishtirma magnit isrofi quydagicha aniqlanadi, Vt/kg.

$$P_i = (c_1 \cdot f_1 + c_2 \cdot f_i^2) \cdot B_i^2$$

bunda: f_i – qayta magnitlanish chastotasi (yakor va tishlar uchun $f_i = f_x$); B_i – magnit o'tkazgichdagi induksiyasi (tishlar uchun $B_i = B_{1/3}$; yakor sirti uchun $B_i = B_c$); c_1 va c_2 – magnit o'tkazgich po'latining markasiga bog'liq bo'lgan doimiy (masalan E11 po'lati uchun $S_1 = 4,4 \cdot 10^{-2}$, $S_2 = 5,6 \cdot 10^{-4}$).

Mexanik isroflar boshqa isroflar kabi birinchi holatda nominal rejim uchun aniqlanadi.

$$\Delta P_{mex} = \Delta P_n + \Delta P_{tsh} + \Delta P_a$$

bunda: ΔP_n – yakor podshipniklaridan ishqalanishda yuzaga keladigan isrof; P_{tsh} – kollektorda cho'tkaning ishqalanishdan yuzaga keladigan isroflar; ΔP_v – o'z-o'zidan shamol shamollatadigan motorlarda hisobga olinadigan isroflar.

Bog'liq bo'lmagan holda shamollatiladigan elektr harakat tarkibida shamollatish uchun energiya isroflari umumiy energiya isrofiga qo'shiladi.

Hozirgi tortuv motorlari yakor podshipniklari rolikli qilib tayyorlanadi, ularning nominal rejimidagi isrofi.

$$\Delta P_{pnom} = 0,002 \cdot P_{nom}$$

Kollektorda cho'tkalarining ishqalanishidan yuzaga keladigan nominal isroflar.

$$\Delta P_{ishnom} \cong 9,81 F_{tsh} \cdot V_{nom} = 9,81 \cdot P_{sh} \cdot f_{sh} \cdot \sum S_{sh} \cdot V_{knom}$$

bunda: F_{tsh} – cho'tkaning ishqalanish kuchi, H; V_{knom} – kollektor ishchi yuzasining to'g'ri chiziqli nominal tezligi, $\frac{m}{s}$; R_{sh} – cho'tka bosimi, $\frac{kg}{cm^2}$; $\sum S_{sh}$ – barcha cho'tkalarining umumiy ishchi yuzasi cm^2 ; f_{sh} – kollektor cho'tkasining ishqalanish koeffitsiyenti (ko'pincha mashina tokda ishlaganda $f_{sh} = 0,16 \div 0,17$; yakorning energiya ta'minoti o'chirilganda keyin uzoq aylanishida, $f_{sh} = 0,23 \div 0,25$) bo'ladi. Yakor podshipniklarida va kollektorda cho'tkaning ishqalanishidan yuzaga keladigan isroflar.

$$\Delta P_p + \Delta P_{tsh} = (\Delta P_{pnom} + \Delta P_{ishnom}) \cdot n / n_{nom}$$

bunda, n , n_{nom} – mos holda aylanish tezligining nominal va odatdagi qiymatlari.

O'z-o'zidan shamollatiladigan tortuv elektr motorlarini nominal ish rejimida shamollatishdagi isrofi, Vt

$$\Delta P_{vnom} = Q_{nom} \cdot H_{nom} / \eta_{vent}$$

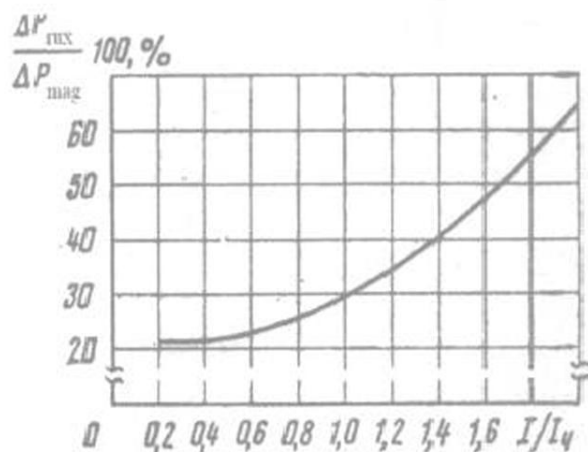
bu yerda: Q_{nom} – shamollatadigan havo sarfi, m^3/s ; N_{nom} – uning bosimi, Pa; η_{vent} – ventilyatorning F.I.K.

Shamollatishning boshqa rejimlarida

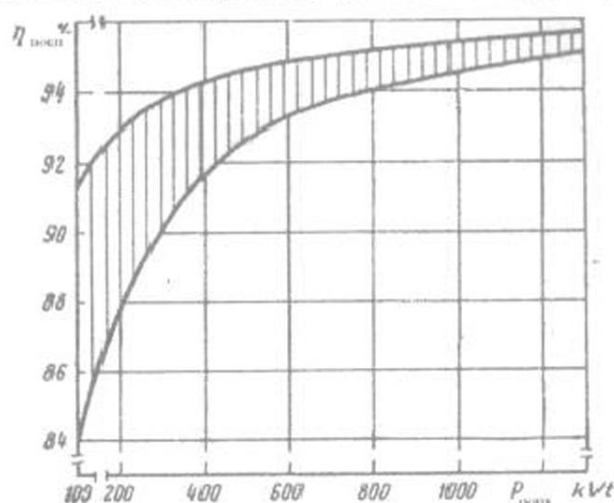
$$\Delta P_b = \Delta P_{bnom} (n / n_{nom})^2$$

Qo'shimcha isroflar yuqorida qurilmagan barcha isroflarni o'z ichiga oladi. Ularning tabiati magnit isroflar tabiatiga yaqin bo'ladi. Bu isroflar magnit isroflar bog'lanishi orqali normalashtiriladi (1.5-rasm).

Haqiqiy isroflar hisoblangan isroflardan motorlarni tayyorlashda va ekspluatatsion og'ishlarga asosan farq qiladi. Shuning uchun tortuv elektr motorlarning F.I.K. va isroflarini doimiy ravishda nazorat qilib turish lozim bo'ladi. Tortuv elektr motorlarning F.I.K., uning quvvati oshishi bilan ortib boradi (1.6-rasm)



1.5-rasm. Yuklanish tokining nisbiy qiymatida $\Delta P_{\max}/\Delta P_{\text{avg}}$ bog'liqlik.



1.6-rasm. Tortuv motorlarining $\eta_{\text{nom}}(P_{\text{nom}})$ ifodasining o'rtacha qiymatlari.

Tortuv motorlarining generator rejimida (tormoz) ishlaganda ularning shartli F.I.K.

$$\eta = U_H I / (U_H \cdot I + \sum \Delta P)$$

Tormozlashda isroflar tormozlovchi kuchni oshiradi.

1.5-§. Tortuv motorlarining ishchi xarakteristikalar

Elektromexanik (tipik) xarakteristikalar motor o'qiga keltirilgan yakor toki I bilan aylanish tezligining $n(I)$; aylanish momentining $M(I)$; F.I.K. ning $\eta(I)$; kuchlanish $U_k = \text{const}$ (ko'pincha $U_k = U_{k \text{ nom}}$) bo'lgandagi bog'lanishlariga aytiladi.

Bunday xarakteristikalar yuklama $\frac{U_{ya}}{\eta}(I_q)$ qo'shilganda I tokning har xil qiymatida (0 dan $1,5 I_{\text{nom}}$ gacha) 10 ta mashinani sinashda olingan o'rtacha har bir qo'zg'atishni rostlash pog'onasidagi olingan qiymatlariga tipik deb ataladi.

Elektr tortish xarakteristikalar – harakatlanuvchi g'ildirak orasidagi $U_c = const$ bo'lgandagi harakatlanuvchi g'ildirak tezligi bilan tokning $v(I)$; tortish kuchini $F_k(I)$, harakatlanuvchi g'ildirak orasidagi F.I.K $n_{n_k}(I)$ bog'lanishiga aytiladi.

Bu xarakteristikalar lokomotivlarning tortuvchi elektr motorlari xususiyatlarini aniqlaydi.

EHT lari o'zgartirish qurilmalari orqali ta'minlanadigan pulsatsiyalanuvchi tok motorlari uchun bu xarakteristikalar tortuv motorlari ishlash ko'rsatkichlariga ta'siri bilan aniqlanadi.

Tortish xarakteristikalar deb $F_k(v)$ ning $U_c = const$ bo'lganda qo'zg'atishni rostlashning har xil rostlash pog'onalaridagi bog'lanishiga aytiladi. Ular yuritma va lokomotivning tortish xususiyatlarini xarakterlaydi.

Quvvat xarakteristikalar – quvvat yordamida yuzaga keladigan harakat tezligi bog'lanishi $P(v)$ yoki $U_k = const$ bo'lgandagi istemol qiladigan quvvatga $P_1(v)$ bog'lanishi.

Aylanish chastotasi va E.YU.K mos holda

$$n = \frac{E}{(C_n * F)} \quad (1.1)$$

$$E = U_k - I * r_m \quad (1.2)$$

bunda, $r_m - 115^\circ$ temperaturadagi barcha issiqlikka chidamli izolyatsiya sinfidagi yakor zanjiridagi chulg'am qarshiligi (1.1) va (1.2) tenglamalardan foydalanib, ularni o'zgartirish yordamida quyidagini olamiz.

$$n = \frac{(U_k - I r_m)}{[C_n * F(I_q)]} \quad (1.3)$$

Aylanuvchi elektromagnit moment

$$M_\gamma = C_M * I F(I) \quad (1.4)$$

bunda, C_M – moment uchun mashina doimiysi

$$C_M = 9,54 C_n$$

Elektromexanik momentning bir qismi aylanishida qarshilik momenti yengishga sarflanadi, ΔM , Nm. U mexanik va magnit isroflariga bog'liq bo'ladi.

$$M = M_\gamma - \Delta M$$

$$\Delta M = 9.54(\Delta P_{mex} + \Delta P_{mag}) \quad (1.5)$$

M(I) bog'lanish (1.4) va (1.5) tenglamalar nuqtalari bo'yicha olinishi ham muhim. $\eta(I)$ xarakteristikani hisoblash tokning har xil qiymatlarida aniqlanishi mumkin.

Tortuv uzatmasi uzatishlar soni μ va harakatlanuvchi g'ildirak juftligi bandaji diametr D_b larni hisobga olgan holda elektromexanik xarakteristikalaridan kelib chiqib hisoblanadi. U holda harakat tezligi

$$v = \frac{(U_k - I \cdot r_m)}{[C_v \cdot F(I_q)]}; \quad v = 0,188 \cdot D_b \cdot \frac{n}{\mu}$$

bunda: C_v – mashina doimiysi; $C_v = 5.3 \cdot C_n \cdot \frac{\mu}{D_b} \frac{km}{soat}$

$$C_v = 1.47 \cdot C_n \cdot \frac{\mu}{D_b} \frac{m}{sek}$$

Tortishning elektromagnit kuchi.

$$F_{ke} = C_F \cdot I \cdot F(I) = 2M_e \frac{\eta_e}{D_b}$$

bunda, C_F – mashina doimiysi: $C_F = 2C_m \mu / D_b$

Mos holda tortish kuchi

$$F_k = 2\mu M \eta_e / D_b$$

η_e – tortuv uzatmasi F.I.K (1.7 - rasm).

Nisbiy quvvat $P^* = \frac{P}{P_{nom}}$ harakatlanayotgan g'ildirak orasidagi F.I.K

$$\eta_k = \eta \eta_e.$$

Tortish xarakteristiakalarini quyidagi bog'lanishlar $F_k(I_i)$ va $v(I_i)$ asosida quriladi. Ko'pincha tortish xarakteristikalar g'ildirakning rels bilan ilakish shartiga asosan tortish kuchini chegaralashni qo'shishi mumkin.

$$F_{kmax} \leq F_u = \Psi(v) \cdot \Pi \cdot 10^3$$

bunda: F_u – harakatlanuvchi g'ildirakni rels bilan ilakishini hisoblovchi kuch; $\Psi(v)$ – harakatlanish tezligiga bog'liq bo'lgan ilakishish koeffitsiyenti; Π – harakatlanuvchi g'ildirak juftligiga tushuvchi yuklama.

Foydali quvvat xarakteristikasi $P(v)$, elektr tortish va tortish xarakteristikalari kabi olinadi. Birinchi holatda (1.8, a-rasm) foydali quvvat, kVt:

kuchlanishning uncha ko'p bo'lmagan $I \cdot r_m$ pasayishi va yakor reaksiyasining magnitsizlantirish ta'siri tufayli yuzaga keladi. Ketma-ket qo'zg'atishda xarakteristikaning yumshoqlik darajasi mashinaning magnit tezligining to'yinganligiga bog'liq bo'ladi va tokning o'zgarishi bilan o'zgaradi. Agar to'yinish ko'effitsiyenti $K_H \cong 1$ deb qabul qilinsa, u holda $\Phi \cong aI$ (bu yerda $a = \text{const}$ proporsionallik ko'effitsiyenti) bo'ladi. Buning uchun

$$v = \frac{(U_k - I \cdot r_m)}{(C_v \cdot aI)}; \quad \frac{dv}{dI} = \frac{-U_k}{(aC_v \cdot I^2)}$$

$I \rightarrow 0$ bo'lganda $\frac{dv}{dI} \rightarrow -\infty$; $I \rightarrow \infty$ bo'lganda $\frac{dv}{dI} \rightarrow 0$ bo'ladi.

Xarakteristika o'zgarishining yumshoqligi K_H ning boshqa qiymatlariga ham mos keladi. K_H ko'effitsiyentining ortishi ishchi rejim oralig'ida $\frac{dv}{dI}$ ning o'zgarish oralig'ining siqilishiga olib keladi (1.9 - rasm). Bu yerda ishchi toklar I_{min} dan I_{max} oralig'ida tezlikning o'zgarishi $\Delta v_m \cong 2.8 \Delta v_q$, bu yerda, Δv_m - past to'yinishdagi Δv_q - yuqori to'yinishdagi va tezlikning o'zgarishi uchun.

Tortuv motorlarining har xil ko'rinishdagi qo'zg'atishdagi va shu nominal quvvatdagi xususiyatlari, ularning foydali quvvat xarakteristikalarini bilan tushuntiriladi (1.8, b- rasm).

Eng katta ishga tushirish quvvati,

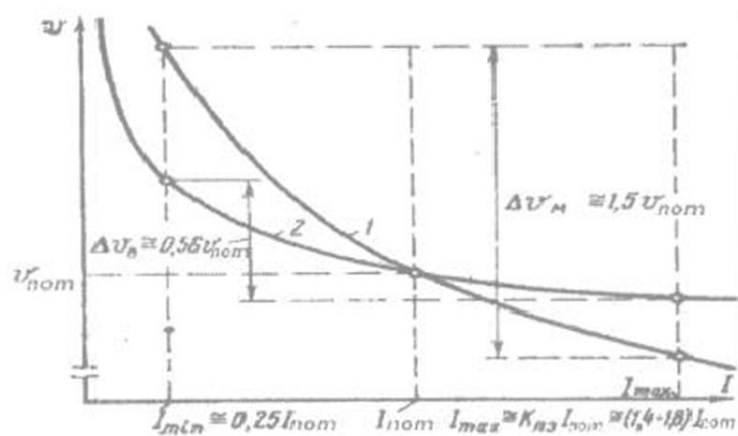
$$P_{u.t}(v) = \xi \cdot F_{ku.T} \cdot v$$

bu yerda, ξ - proporsionalik ko'effitsiyenti.

$F_{ku.T} \cong F_{ilak} \cong \text{const}$ - tortishning eng yuqori ishga tushirish qiymati, taxminan ishga tushirishdagi ilakishish kuchiga teng. 1.8, b - rasmda tabiiy xarakteristikalar ko'rsatilgan: $P_{cu}(v)$ - ideal motor uchun quvvat doimiysi, u ketma-ket qo'zg'atiladigan motorga yaqin, bunda $K_u \cong 1$; $P_{em}(v)$, $P_{eq}(v)$ - magnit tizimi past va yuqori to'yingan ketma-ket qo'zg'atiladigan motorlar uchun; $P_{ec}(v)$ - aralsh qo'zg'atishli motorlar uchun; $P_{EH3}(v)$ - mustaqil qo'zg'atiladigan motorlar uchun.

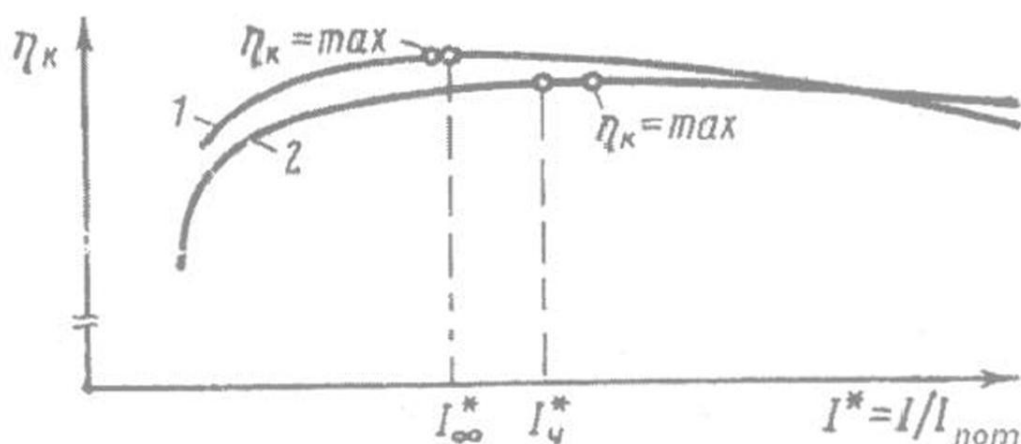
Ishlab chiqarishda alohida qiziqish yuqori tezlikli quvvat uchun bo'ladi. Mumkin qadar yana ishga tushirish vaqtida quvvatni pasaytirish (tezlikni ham): P_{UTM} , P_{uH} , P_{uk} , P_{uc} , P_{uH3} . Ular qancha past bo'lsa, EHT ning ishga tushirishdagi isroflar shuncha kam bo'ladi. Tortuv motorlarining F.I.K xarakteristikalarini $\eta_k(I)$ (1.8-rasmga qarang) maksimumlar bilan

ifodalangan ko'rsatkichlar funksiyasi bilan ko'rsatilgan, bunda har xil ifodalarning tokka bog'lanishi teskari ishoraga ega bo'ladi. Bunda elektr isroflar tokning ortishi bilan ortadi, a mexanik isroflar tezlikning pasayishi bilan pasayadi. Chastota va induksiya larga bog'liq bo'lgan magnit isroflar nisbatan kam o'zgaradi. Tortuv motorlari shunday loyihalanishi zarur bo'ladiki, ularning F.I.K ning maksimum qiymati EHT ning eng ko'p doimiy ishlash rejimiga mos kelishi kerak.



1.9- rasm. Motor magnit tizimining past, 1 va yuqori, 2 to'yinishlardagi EHT ning tezlik xarakteristikalar.

Elektrovozlar tortuv motorlarining $I \leq I_{nom}$ holda ishlaganda F.I.K ning η_{max} qiymati $I \leq I_{\infty}$ tokka to'g'ri keladi. Elektr poyezdlar tortuv motorlarida tez-tez ishga tushirishdagi o'ta yuklanishda $\eta = const$ tokni $I \geq I_{soat}$ (1.10 -rasm) to'g'ri keladi.



1.10- rasm. Elektrovozlar(1) va elektr poyezdlar (2) tortuv elektr motorlarining F.I.K xarakteristikalar.

1.6-§. Tortuv motorlarining ishlash rejimlarini rostlash prinsiplari.

Motorlarning rostlash xususiyatlari

Tortuv motorlarining ishlash rejimlarini rostlash deganda, ularga tashqi ta'sirlar, ularning ishlashi yoki EHT ning ishlash ko'rsatkichlarini berilgan oraliqda saqlashga imkon beradi. Agar rostlanadigan ko'rsatkichlar diskret yaqinlashish bilan ushlab turilsa, u holda rostlash pog'onali deb ataladi. Aniq va uzluksiz rostlash asta-sekinlik bilan rostlash deyiladi.

Harakat tezligini kuchlanish U_k ni o'zgartirish bilan rostlash. Agar mavjud xarakteristikalar U_{k0} kuchlanishga mos kelsa, u holda shu tok va magnit oqimidagi tezlik kuchlanish U_k bo'lganda,

$$v = v_o (U_k - I \cdot r_m) / (U_{k0} - I \cdot r_m)$$

bunda, v_o - tok I va kuchlanish U_{k0} dagi tezlik.

Kuchlanishning pasayishi $I r_m$ uncha yuqori emas va taxminan $(0.03 \div 0.04) U_k$ ni tashkil etadi. Uncha katta bo'lmagan og'ishda $v \approx v_o U_k / U_{k0}$ bo'ladi. O'zgarmas tok EHT larida kuchlanishni pog'onalash

rostlashda, ketma-ket ulangan motorlar sonini η_c o'zgartirgich bilan

amalga oshiriladi. Bu holda $U_k = \frac{U}{\eta_c}$. Bunday rostlashda energiya

qo'shimcha isroflari bilan yuzaga keladi, biroq uning imkoniyati motorlar soni bilan chegaralanadi.

Harakat tezligini yakor zanjiriga rezistorlar qo'shish bilan rostlash

Bunday usul EHT larini ishga tushirishda qo'llaniladi. Shu I tokda tezlik quyidagicha o'zgaradi.

$$V_R = V [U_k - I(R + r_m)] / (U_k - I \cdot r_m)$$

bunda: U_k - motor chulg'ami uchlaridagi kuchlanish; R - rezistor qo'shilganda motor va rezistordagi kuchlanish.

Kuchlanishning pasayishi sababli IR , mavjud xarakteristika $v(I)$, pasaytirilgan tezlikdagi $v_R(I)$ xarakteristika bilan almashtiriladi (1.11-rasm).

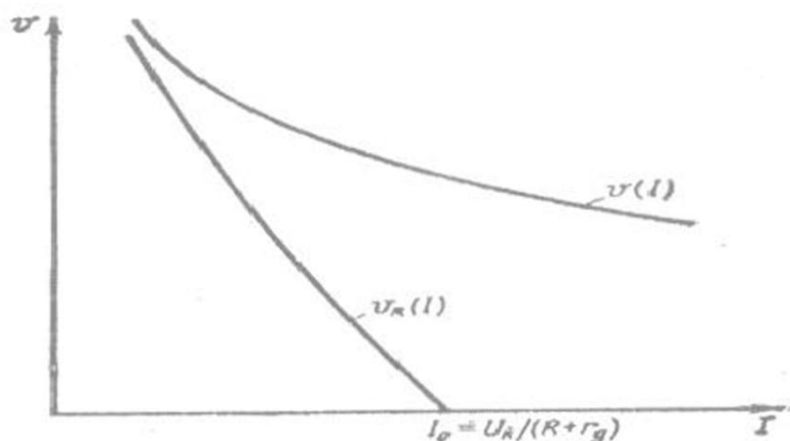
Qarshilik R ning o'zgarishi bilan harakat tezligini va tortish kuchini pog'onasimon asta-sekin rostlash mumkin bo'ladi. Bunday rostlash qisqa muddatda EHT ni ishga tushirish vaqtida qo'llaniladi, chunki bu holda sezilarli miqdordagi energiya isrofi,

V_s bilan amalga oshiriladi.

$$\Delta A_g = \int_0^{T_g} R \cdot I^2 dt$$

bunda, T_g – rostlash ketma-ketligining davomiyligi, s

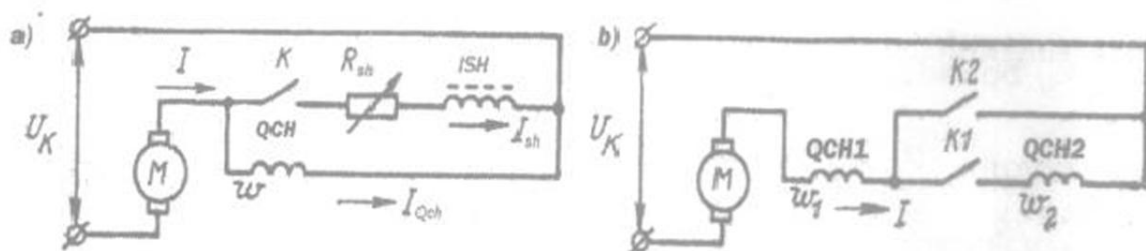
Magnit oqimini rostlash. Bu usul EHT ning yurish rejimini olish uchun ishlatiladi. Bunda motorlarni qo'zg'atishni bog'liq bo'lmagan funksional bog'lanishda boshqarish mumkin bo'ladi, u holda qo'zg'atish toki i_k berilgan reja asosida avtomatik boshqarish tizimida o'zgaradi. Bunday tizim beriladigan xarakteristika bilan kelajagi bor, biroq avtomatikaning murakkab qurilmalarini talab etadi. Ko'pincha ketma-ket qo'zg'aladigan tortuv motorlari qo'zg'atish darajalarini (M.YU.K) rostlash bilan qo'llaniladi. Bu holda M.YU.K qo'zg'atish tokini I_k shuntlash yoki asosiy qutb g'altagi o'ramlarini ketma-ket o'zgartirish bilan rostlanadi.



1.11-rasm. Rezistorlarni ketma-ket ulangandagi tezlik xarakteristikalar.

Qo'zg'atish darajasi $\beta = \frac{F_{cq}}{F_{tq}}$ (bu yerda F_{ck}, F_{tq} – mos holda susaytirilgan

va to'liq qo'zatishdagi M.Yu.K. qiymati). Asosiy qutb chulg'amlarini shuntlash bilan qo'zg'atishni susaytirishda (1.12,a -rasm), shuntlash zanjirida R_{sh} resistor va induktiv shunt ISH kiritiladi. Induktiv shunt (reaktor) o'tish jarayonida qo'zg'atish va shuntlash zanjirlarida tok taqsimlanishini saqlash uchun zarur bo'ladi. Induktiv shunt ISH bo'lmaganda M.Yu.K ning o'ta susayishi kuzatiladi va tokning katta sakrashlari yuzaga kelar edi.



1.12-rasm. Qo'zg'atishni susaytirish sxemalari.

Asosiy qutb g'altaklarini seksiyalash bilan M.Yu.K'ni rostlashda (1.12-rasm). Har bir asosiy qutb g'altagi bir necha qismlarga (seksiyalarga) bo'linadi (1.12,b-rasmda ikki seksiya QCH1 va QCH2) ular to'liq qo'zg'atishda ketma-ket qo'shilgan, susaytirilgan qo'zg'atishda alohida seksiyalar ajratiladi (QCH2-seksiya).

Birinchi holda

$$\beta = I_q w / (I w) = I_q / I$$

bunda: w – asosiy qutb g'altagining o'ramlar soni; I_q – qo'zg'atish chulg'amidagi tok.

$$I_q = I - I_{sh} = I(R_{sh} + r_i) / (R_{sh} + r_i + r_q)$$

bu yerda, r_q, r_n – mos holda qo'zg'atish chulg'ami va induktiv shuntlar aktiv qarshiligi.

Ikkinchi holda

$$\beta = I w_1 / [I(w_1 + w_2)] = w_1 / (w_1 + w_2)$$

bunda, w_1, w_2 – B1 va B2 seksiyalar o'ramlar soni.

Qo'zg'atishni shuntlash bilan susaytirish motor konstruksiyasini murakkablashtirishni talab etmaydi, biroq induktiv shuntlar og'ir va katta hajmdagi qurilmadir. Bu usul β stabil bo'ladi, biroq motor konstruksiyasi qutb g'altaklarini ko'p seksiyalarga ajratish bilan murakkablashadi. Birinchi usuldan hozirgi zamon elektr mashinalar qurilishda foydalanish tavsiya etilmoqda. Kelajakda har xil kombinatsiyalangan usullarni qo'llab ma'lum ikkala kamchiliklarni kamaytirish va ularning afzalliklarini oshirish imkonini beradi.

Har xil qo'zg'atish darajasidagi xarakteristikalar. Ularni to'liq qo'zg'atishdagi xarakteristika bo'yicha olish mumkin. Ya'ni, uning tezligini bir xil $F_{eq} = F_{iq}$ magnit oqimda hamda taxminan aniq, ya'ni

$v_{cq} \cong v_{lq}$ bo'ladi, bu holatdagi shartda $I_{cq} = \frac{I_{lq}}{\beta}$ ni o'rnatamiz. Shundan kelib chiqib $v_{cq}(I)$ xarakteristika (1.13, a-rasm) bo'yicha taxminiy xarakteristikalarni olish mumkin $v_{cq}(I)$. O'ta aniqliklardagi xarakteristikalarni olish uchun yakor zanjiridagi kuchlanishning pasayishini hisobga olish kerak va tezlik tenglamasini bir oz o'zgartirish kerak bo'ladi:

$$v_{cq}(I) = v_{lk}(I) \cdot (U_k - I_{lq} \cdot r'_m / \beta) / (U_k - I_{lq} \cdot r_m)$$

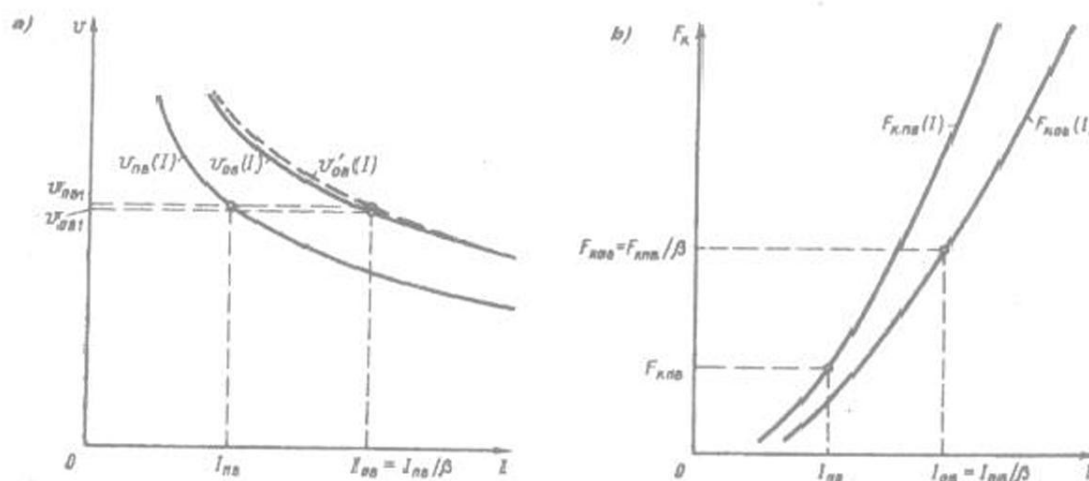
bunda, r_m, r'_m – to'liq va susaytirilgan qo'zg'atishdagi chulg'am qarshiliklari.

$$r_m = r_{ya} + r_{lm} + r_k + r_q; \quad r'_m = r_{ya} + r_{lq} + r_k + r_q \cdot \beta$$

Shunday qilib bir xil tezlik $F_{cq} \cong F_q$, u holda tortish kuchi

$$F_{kcq} = I_{cq} \cdot F_{cq} \cdot C_F \cong F_{lq} C_k \cdot I_{lq} / \beta \cong F_{klq} / \beta$$

Bu bog'lanishni xarakteristikalarni qurishda asos qilib olinadi $F_{kcq} \cdot (I_{cq})$ (1.13, b-rasm).



1.13-rasm. To'liq va pasaytirilgan qo'zg'atishdagi xarakteristikalar:
a- tezlik, b-tortish kuchi.

Har xil darajadgi qo'zg'atish uchun F.I.K xarakteristikalari to'liq qo'zg'atishdagi kabi, barcha hisoblarni hisobga olgan holda hisoblanadi.

Qo'zg'atishni susaytirishning asosiy ma'nosi o'zgarmas tezlikda motor hosil qiladigan quvvatni oshirish hisoblanadi.

F.I.K ni o'zgarishni bir qancha qiymatida hisobga olmagan holda, U_k ning o'zgarish qiymatida, $P \equiv I$ va $P_{cq} \equiv \frac{P_{iq}}{\beta}$ ga ega bo'lamiz.

Tortuv motorlarining rostdash xususiyatlari. Bu xususiyatlar qo'zg'atishni rostdashning nisbiy chegaraviy effekti bilan aniqlanadi.

$$\text{-rostdash koeffitsiyenti } K_p = \frac{I}{(K, \beta_{\min})}.$$

Hozirgi zamon kompensatsion chulg'amli tortuv motorlarida $\beta_{\min} \geq 0,2$, bu eng kam qo'zg'atish darajasida quvvat 5 marta oshishiga olib keladi, kompensatsiyasiz chulg'amli tortuv motorlari uchun ko'pincha $\beta_{\min} \geq 0,3$, bu holda quvvatning ortishi 3 martadan yuqori bo'lishi mumkin. Qo'zg'atish darajasining minimal qiymati mashinaning mustahkamligi bilan aniqlanadi.

1.7-§. Elektr tormoz rejimida tortuv motorlarning xarakteristikallari

Elektr motorlarni tormozlashda uchta tormozlash rejimi qo'llaniladi. Bular reostatli (elektrodinamik) tormozlash, rekuperativ (energiyani tarmoqqa berish bilan, generator) va qarshi qo'shish rejimlaridan iborat.

Elektr harakat tarkiblarida reostatli va rekuperativ tormozlash rejimlaridan foydalaniladi.

Reostatli tormozlash rejimi. O'zgarish tok elektr harakat tarkiblarida ketma-ket qo'zg'atiladigan mashinalarda reostatli tormozlash rejimi ko'p qo'llaniladi. Bunday tizimning qisqartirilgan sxemasi 1.14-rasmda keltirilgan. Tortuv motorlari tormoz rejimiga o'tishda kontakt tarmog'idan ajratiladi va R_t rezistoriga ulanadi. O'z-o'zini qo'zg'atish, ya'ni birlamchi qoldiq EYUK E_{qold} hosil qilish, mashinaning massiv po'lat magnit o'tkazgichida qoldiq magnit oqimi Φ_{qold} yordamida amalga oshiriladi:

$$E_{qold} = C_v \cdot \Phi_{qold} \cdot v$$

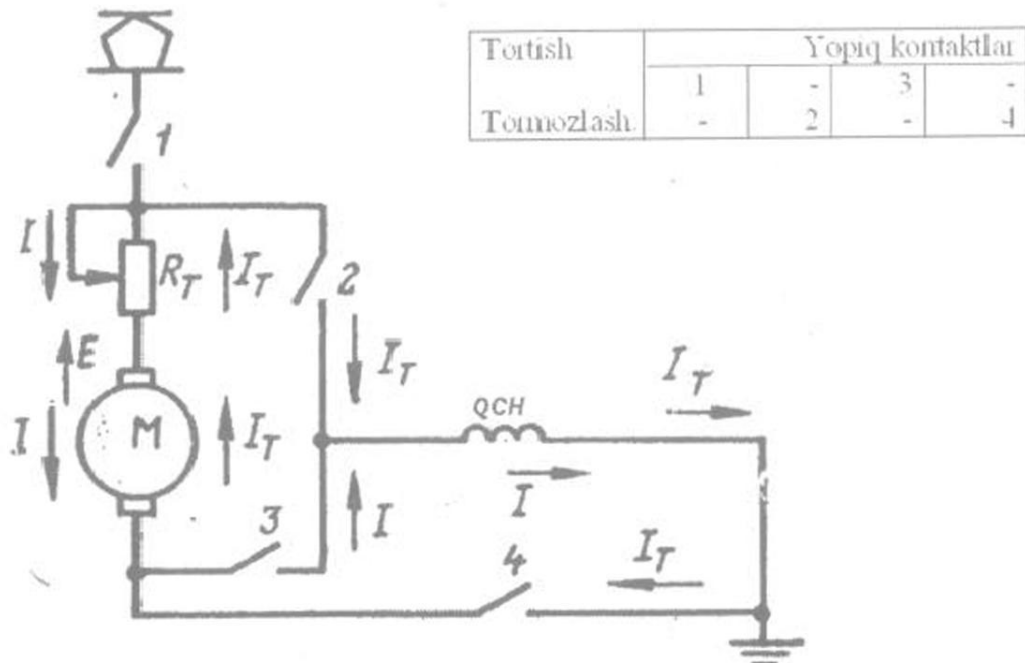
Hosil bo'lgan tormozlovchi tok I_t , mashinani magnitsizlantirmasligi uchun, uni yakor yoki qo'zg'atish zanjiriga qayta ulash bilan reverslash zarur bo'ladi. Agar Φ_{qold} qoldiq oqim uncha katta bo'lmasa va tormozning tez amalga oshirish talab etilsa, motorga bevosita tormozlashdan oldin qo'shiladigan maxsus mustaqil qo'zg'atish chulg'ami qo'shish ko'zda tutilishi lozim.

EYUK ortib borishi bilan generator chulg'amlaridagi kuchlanishning tokka bog'lanishi (tashqi xarakteristika 1.15-rasm).

$$U_k = E - I_t \cdot r_m = C_V \cdot \Phi - I_t \cdot r_m$$

Kuchlanish U_k tormozlovchi rezistorda kuchlanishning pasayishi bilan kompensatsiyalanadi.

$$U_k = I_t \cdot R_t$$



1.14- rasm. O'z-o'zini qo'zg'atish bilan reostatli tormozlash tizimining soddalashtirilgan sxemasi.

Bunday tormozlash tizimining mustahkamligi, agar u har qanday ruxsat etilgan I_a tokda buzilsa, uning elektr turg'unligini tiklash xususiyati bilan aniqlanadi.

Yuzaga keladigan o'tkinchi jarayonlar quyidagi tenglama bilan ifodalanadi.

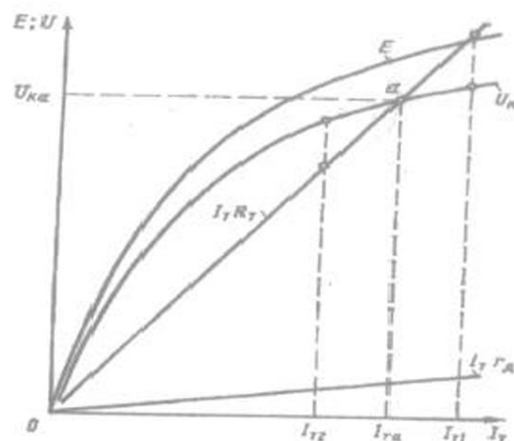
$$U_k = I_t \cdot r_m + L_m \cdot dI_t / dt$$

bunda, L_m – mashina chulg'aminga induktivligi.

Bu ifodadan quyidagini olish mumkin,

$$dI_t / dt = (U_k - I_t \cdot r_m) / L_m$$

O'zgaruvchan hadning ishorasi manfiy, bu turg'un holatning (I_a tok) tizim o'zgarishining tenglashtirishga qarama-qarshi ta'sir qiladi.



1.15- rasm. Reostatli tormozlash rejimi mustahkamligini analiz qilish uchun.

Tizimning mustahkamligini yana, o'zinduksiya EYUK E_k ning va tokning I_{t1} I_{t2} qiymatlariga o'zgarishini analiz qilish bilan aniqlash mumkin.

$$E_u = -L_m \frac{dI_t}{dt} \approx -(I_{tLr} - I_o) L_m / \Delta t$$

bunda, Δt – jarayon vaqtining o'zgarishi.

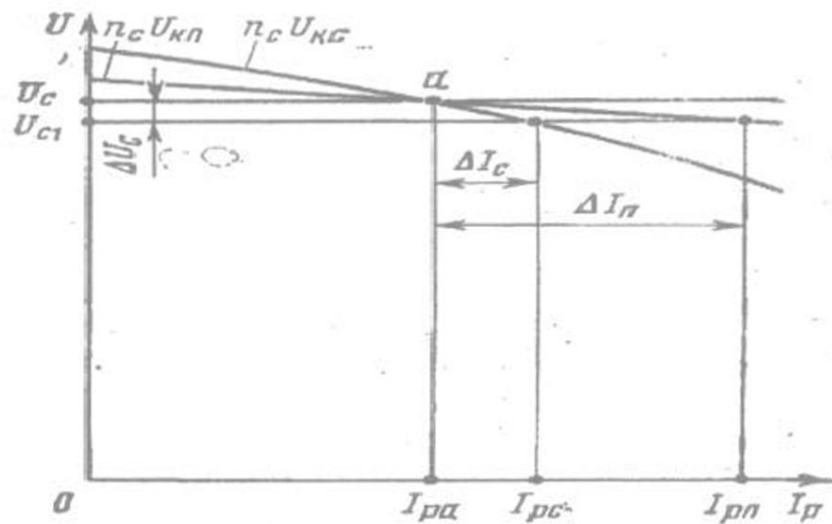
Energiya yig'uvchi L_m , turg'un holatning o'zgarishiga, I_a – tokka teskari ta'sir qiluvchi EYUKni hosil qiladi.

Rekuperativ tormozlash rejimi. EHTni rekuperativ tormozlash, uni tortuvchi elektr ta'minoti tizimiga parallel ishlayotgan generator kabi bo'ladi. Bu rejimda mustahkamlik $dU_k/dI < 0$ shart bajarilganda mumkin bo'ladi, ya'ni pasayuvchan tashqi xarakteristika, mashinalarni doimiy qo'zg'atishda va teskari aralash qo'zg'atishda xususiyatlari mos keladi. Rekuperatsiya toki

$$I_p \approx (n_c E - U_0) / \sum R = (n_c C_v Fv - U_c) / (r'_m + R'_p)$$

bunda, $\sum R$ – rekuperatsiya konturining to'liq qarshiligi, u mashina yakori qarshiligi r''_m va tashqi zanjir qarshiligi R_p dan iborat.

Tok qabul qilgichdagi kuchlanish U_c doimiy emas va uning behosdan $\pm \Delta U_c$ ga og'ishi mumkin. O'zgarmas qo'zg'atishdagi generatorning qattiq xarakteristikalarida $n_c U_{kp}$ (1.16-rasm) tokning katta silkinishlari ΔI_{pn} katta bo'lishi mumkin. Yumshoq xarakteristikalar $n_1 U_{ks}$ rekuperativ tormozlashda ancha foydali bo'lib, aralash qo'zg'atiladigan mashinalarga mos keladigan bo'lib, tokning sakrashi $\Delta I_c < \Delta I_n$ bo'ladi.



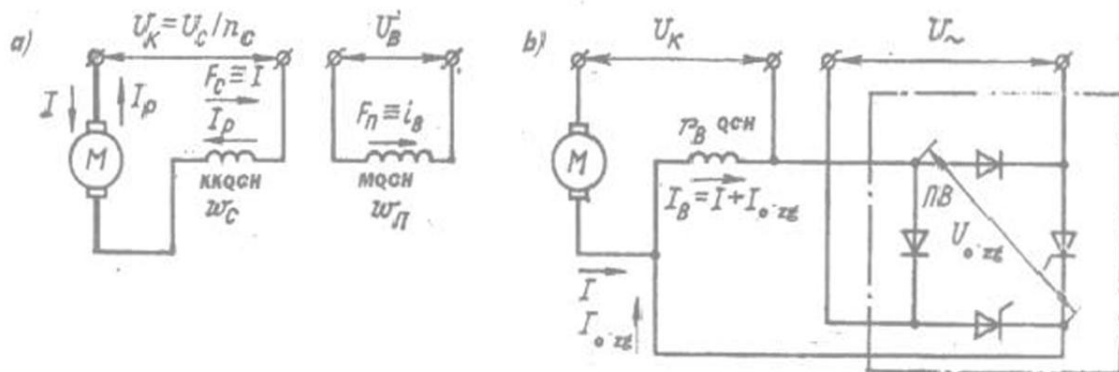
1.16-rasm. Pantograf kuchlanishi o'zgarishi natijasida rekuperatsiya tokining egilishi.

1.17,a-rasmda aralash qo'zg'atiladigan tizimda ketma-ket qo'zg'atiladigan chulg'am KKQCH hosil qiladigan va bog'liq bo'lmagan (o'zgarmas) O'QCH qo'zg'atishda M.YU.K ta'sirini ko'rsatadi.

Tortish rejimida umumiy M.YU.K

$$F = F_n + F_c = \omega_n \cdot i_n + \omega_c \cdot I \quad (1.7)$$

bunda: F_n , F_c – mustaqil (o'zgarmas) va ketma-ket qo'zg'atish chulg'amlariga mos keluvchi MYUK; ω_p , ω_s – bu chulg'amlar o'ramlari soni; i_n – o'zgarmas qo'zg'atish chulg'amdagi tok.



1.17-rasm. Aralash qo'zg'atish (a) va motorning qo'zg'atish chulg'amlarini (b) "ketma-ket" – "parallel" qo'shish sxemalarining soddalashtirilgan ko'rinishi.

Tortish rejimdan tormoz rejimiga o'tish bevosita $I=0$ bo'lganda amalga oshadi, bunda taxminan tezlikka mos holda isrofni hisobga olgan holda

$$v_{ymx} \cong \frac{U_c}{(n_c C_v \Phi_n)}$$

bunda, $\Phi_n - F_n$ MYU kuchda F_c bo'lmaganda qo'zg'atishdagi magnit oqimi.

Tortish $v_m(I)$ va rekuperatsiya $v_p(I_p)$ rejimlaridagi tezlik xarakteristikalar

$$v_m(I) = (U_c / n_c - I r_m) / (C_v \Phi)$$

$$v_p(I_p) = (U_c - I_p \sum R) / (n_c C_v F)$$

Tormoz rejimida (1.7) tenglama quyidagi ko'rinishga ega bo'ladi

$$F = F_n - F_v = \varpi_n i_k - \varpi_c I_p$$

Quyidagi shart $F_n > F_{c\text{ mah}}$ bajarilishi lozim.

Rekuperativ tormozlashdagi tezlik xarakteristikalar tortish rejimidagi xarakteristikalar davomini tashkil qiladi, biroq katta yumshoqlikka ega bo'ladi. Tortish kuchining xarakteristikalari $F_k(I)$ ketma-ket qo'zg'atiladigan motor xarakteristikalaridan kam farq qiladi.

1.8-§. Tortuv motorlarining ekspluatatsion xususiyatlari

Tortuv motorlarining ekspluatatsion xususiyatlari universal bo'lishi mumkin, ya'ni EHT ning alohida turlariga mos keladi. Ko'pgina universal xususiyatlar 1.1§da ko'rsatilgan. Alohida xususiyatlar misolida motorlarning yuqori o'ta yuklanishda, shaharlararo elektr poyezdlar va metropoliten poyezdlari uchun yuqori ishga tushirish tezlanishi zarur bo'ladi.

Yuk tashuvchi elektrovozlarining xususiyatlaridan biri – ular mumkin bo'lgan eng katta tortish kuchiga erishib, uni uzoq vaqt davomida amalga oshirishlari mumkin.

Shaharlararo poyezdlar, metropoliten poyezdlari tortuv motorlari uchun elektrovoz motorlari kabi rostlash xususiyatiga ega bo'lmasligi mumkin. Elektropoyezdlar tortuv motorlari rostlanuvchanlik sharti bo'yicha $\beta_{min} \geq 0,5$, elektrovozlar tortuv motorlari uchun $\beta_{min} = 0,2 + 0,3$ qilib tayorlanadi.

Bir necha ekspluatatsion xususiyatlar o'zaro qarama-qarshi bo'ladi. Bu motorlarning xarakteristikalariga to'g'ri keladi. Analizlar shuni ko'rsatadiki, xarakteristika yumshoqligining ortib borishi bilan, ular doimiy quvvat xarakteristikasiga yaqinlashadi. Xarakteristika qancha yumshoq bo'lsa, EHT ishlash jarayonida iste'mol qilinadigan tok ham o'zgaradi. Yuklamaning ko'p vaqt o'zgarmasligi tortuv elektr ta'minot tizimlari va EHT qurilmalarining ishlashi uchun yaxshi sharoit yaratiladi. Masalan, yuklamaning o'zgarmay turishi mashina chulg'aming qizishiga

yaxshi ta'sir ko'rsatadi. Tortuv motorlarining xarakteristikasi turiga ko'ra qizishga bog'lanishni qizish jarayoni ma'lumotlari bilan baholash mumkin.

$$C_H = \frac{I_{ef}}{I_{o'rt}} = \frac{\sqrt{\int_0^T i^2 dt}}{\int_0^T i dt}$$

bunda, $I_{ef}, I_{o'rt}$ – mos holda T vaqt oralig'idagi effektiv va o'rta tok.

$C_H = 1$ miqdorning minimal qiymatiga $I = \text{const}$ bo'lganda ega bo'ladi.

Xarakteristika qancha qattiq bo'lsa, C_H shuncha yuqori bo'ladi va bir xil tashqi ishlarida chulg'amning qizishi yuqori bo'ladi. Yumshoq xarakteristikaga ega bo'lgan motorlar, tortuv elektr ta'minoti tizimida tez-tez yuzaga keladigan kuchlanishning tez o'zgarishini $\frac{U_k}{U_c}$ kam farqlaydi.

Turg'un rejimda bir xil tokda va ΔU_k kuchlanishning o'zgarishida, tezlikning o'zgarishi quyidagicha bo'lishi mumkin edi, $\Delta v = v_0 \cdot \frac{\Delta U_k}{U_{k0}}$ (bu yerda v_0, U_{k0} mos holda jarayon bog'lanishidagi tezlik va kuchlanish).

Tokning sakrab o'zgarishiga mos keluvchi qiymat

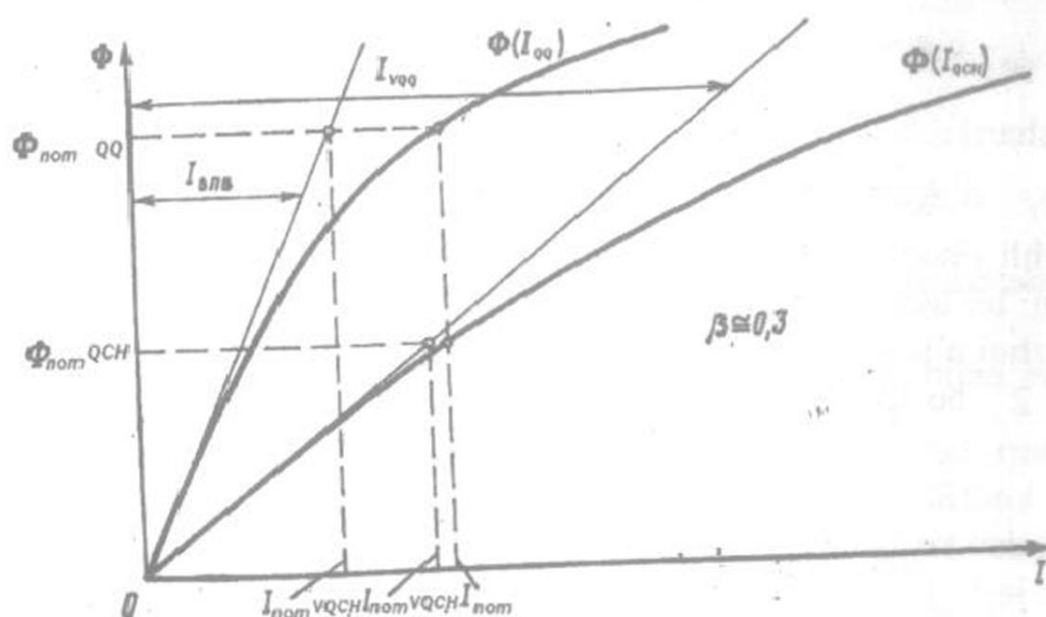
$$\Delta I = \Delta U_k \frac{v_0}{U_{k0}} \cdot \left| \frac{dv}{dt} \right| \quad o'rt$$

bunda, $\left| \frac{dv}{dt} \right|_{o'rt} \Delta v$ — chegarasida $\frac{dv}{dt}$ o'zgarishi modulining o'rtacha qiymati.

Faqat shu qiymat xarakteristikaning yumshoqligini aniqlaydi va uning qiymatini ortishi o'tish jarayonidagi tokning sakrab o'zgarish qiymatini pasaytiradi. Ko'pgina ekspluatasiya qilish jarayonida yumshoq xarakteristikalar, qattiqqa nisbatan yaxshi hisoblanadi. Biroq bunday xarakteristikalarda g'ildirak juftligini bir joyda aylanishiga tushib qolish ehtimoli ortadi. U quyidagicha shartda yuzaga keladi.

$$\left| \frac{dF_{il}}{dv} : F_{il0} \right| < \left| \frac{dF_k}{dv} : F_{k0} \right|$$

bunda, F_{il}, F_{il0} – mos holda g'ildirakning relega ilakishish kuchining joriy va boshlang'ich qiymatlari. F_{k0} – motor yordamida boshlang'ich vaqtdagi tortish kuchi (ilakishning buzilishida).



1.18.- rasm. Qo'zg'atish susayganda K_H to'yinish ko'effitsiyentining o'zgarishi.

Xarakteristika qancha yumshoq bo'lsa, $\frac{dF_k}{dv}$ ning qiymati shuncha katta bo'ladi va farq qilishdan g'ildirakning bir joyga aylanib qolishining yuzaga kelish ehtimoli shuncha ko'p bo'ladi, bunda uning oldini olish uchun shuncha ko'p tortish kuchini kamaytirish lozim.

Motor xarakteristikalarini munosabati qarama-qarshiligining ma'nosi shundaki, rejimlarda qachonki katta tortish kuchi talab qilinsa, (masalan ishga tushirishda, qiyalikka chiqish vaqtida), xarakteristikalar qattiq bo'lishi lozim, qolgan barcha rejimlarda yumshoq bo'lishi lozim. Bu qarama-qarshilikni bartaraf qilishning har xil yo'llari mavjud. Masalan, har bir tortuv elektr motorini berilgan xarakteristika bo'yicha ishga tushirish. O'zgarmas tok EHT lari uchun qo'zg'atishni avtomatik ravishda doimiy rostlash tizimini, yoki kuchlanish va qo'zg'atishni impulsli rostlashni qo'llash mumkin. Bunday tizimlarning kelajagi bor, biroq murakkab, shuning uchun to'liq qo'llanishga qabul qilinmagan. Bunday sodda tizimli motorni ketma-ket qo'zg'atishdan zarur bo'lgan vaqtda vaqtincha mustaqil qo'zg'atishga o'tkazishdan foydalanish mumkin (1.17,b - rasmga qarang). Buning uchun motorning ketma-ket qo'zg'atish chulg'ami QCH uchlariga o'zgartirgich QU kuchlanish U_{uzg} bilan ulangan. Agar $I \cdot r_q < U_{uzg}$ bo'lsa, u holda qo'zg'atish chulg'amlaridagi tok.

$$I_q = I + I_{o'zg} = \frac{U_{uzg}}{r_q} = const$$

bunda, $I_{o'zg}$ – o'zgartgich toki; $I_{o'zg} = \frac{(U_{uzg} - I \cdot r_m)}{r_q}$

Bu shartlarda qo'zg'atish toki I_q xarakteristikaning qattiqligini ta'minlab, o'zgarmas bo'ladi. Agar $I \cdot r_q \geq U_{uzg}$ bo'lsa, yarim o'tkazgichli jihozlar yopiladi va motorning ketma-ket qo'zg'atish amalga oshirilgan bo'ladi. Tortuv motorlari nisbatan o'ta to'yingan tizimli va qo'zg'atishni o'ta susaytirishli ham bo'lishi mumkin.

$K_H \geq 2$ bo'lganda, asosan katta toklar orasida xarakteristika uchastkalari kerakli miqdorda qattiq. Qo'zg'atish darajasi kamayganda to'yinish ko'effitsiyenti sezilarli kamayadi va xarakteristika yumshaydi, bu 1.18-rasmdan ko'rsatilgan.

Rasmda $F(I_{pq})$ va $F(I_{oq})$ larning magnit xarakteristikalarini keltirilgan.

$$\text{Bunda, } I_{nq} = \frac{F}{\omega_c} I_{oq} = \frac{F}{(\omega_c \beta)} = \frac{I_{pq}}{\beta}$$

Bir xildagi nominal tokda I_n , qo'zg'atishning har xil darajasida susaytirilgan qo'zg'atishda magnit oqimi $F_{nom pq}$ dan $F_{nom oq}$ gacha pasayadi. Mos holda to'yinish darajasi

$$K_{npq} = \frac{I_{nom}}{I_{nom pq}}; \quad k_{noq} = \frac{I_{nom}}{I_{nom qoq}}$$

Bundan ko'rinadiki, $K_{noq} < K_{npq}$ bo'ladi. Bular orasidagi farq qancha katta bo'lsa, β_{min} shuncha kichik bo'ladi. Shuning uchun bunday xulosa, kompensatsion chulg'amli mashinalar uchun ancha effektiv hisoblanadi. Buning uchun tok qabul qilish shunday bo'lishi lozimki, mashina qo'zg'atishning past darajasida uzoq muddat ishlashi mumkin bo'lsin.

Nazorat savollari

1. Tortuv elektr mashinalarining klassifikatsiyasini aytib bering?
2. Tortuv elektr motorlarning ishlash xususiyatlarini tushuntirib bering?
3. Tortuv elektr motorlariga qo'yiladigan talablar nimadan iborat?
4. Kollektorli va kollektorsiz tortuv motorlarning qanday kamchiliklari va afzalliklari mavjud?
5. Tortuv elektr mashinalariga qanday ichki dinamik kuchlar ta'sir ko'rsatadi?
6. Tortuv elektr mashinalariga qanday tashqi dinamik kuchlar ta'sir ko'rsatadi?
7. Magnit xarakteristikalar nimani ifodalaydi?

8. Tortuvchi elektr motorlarining o'qidagi foydali ish koeffitsiyenti qanday aniqlanadi?
9. Elektr isroflar qayerlarda yuzaga keladi?
10. Mexanik isroflar qayerlarda yuzaga keladi?
11. Tortuv motorlarining rostlash xususiyatlari nimadan iborat?
12. Magnit oqimini rostlash nima uchun zarur?
13. Harakat tezligini kuchlanish U_k ni o'zgartirish bilan rostlashda tezlik qanday o'zgaradi?
14. Harakat tezligini yakor zanjiriga reostatni qo'shish bilan rostlashda tezlik qanday o'zgaradi?
15. Tortuv motorlarni elektr tormoz rejimlarini ayting?
16. Reostatli tormozlash rejimi qanday amalga oshiriladi?
17. Rekuperativ tormozlash rejimi qanday amalga oshiriladi?
18. O'zgarmas tokda harakatlanuvchi tarkiblar qanday kuchlanishlarda ishlaydi?
19. Bir fazali o'zgaruvchan tokli harakatlanuvchi tarkiblar qanday kuchlanishlarda ishlaydi?
20. O'zgaruvchan tokli harakatlanuvchi tarkiblar qanday kuchlanishlarda ishlaydi?

2-bob. O'zgarmas tok tortuv motorlarining tok qabul qilish xususiyatlari

2.1-§. Tok qabul qilishga qo'yiladigan talablar

Kollektorli TEM larida tok qabul qilish deb, mashinaning qo'zg'almas elektr zanjirida va yakorning aylanuvchi chulg'amida tokning o'tishi bilan bog'liq kompleks jarayonlarga aytiladi. Bu elektromexanik jarayonlar ch'otka-kollektor kontaktida, tokning kommutatsiya jarayonida, reaktiv EYUK kompensatsiyasida, kollektorda yoy hosil bo'lishida va kuchlanishning uning aylana bo'ylab tarqalishida, kompensatsion chulg'am yordamida yakor reaksiyasi ta'sirini chegaralash va boshqa usullar bilan amalga oshadi.

Umum qo'llaniladigan elektr mashinalarni ko'rsatilgan tortuv elektr motori bilan taqqoslashda uning chegaraviy bajarilishlari va uning ekspluatatsiya qilish xususiyatlari ko'riladi. Tortuv elektr motorlarda jarayonning ko'p qismi determenizatsiyalanmagan deb qarash, bexosdan yuzaga keladigan ehtimollik jarayoni, ta'sir qiluvchi faktorlar va xarakterlar bilan aniqlanadi. Tok qabul qilish jarayonining eng ko'p mexanik ta'sirlari qarshilik ko'rsatadi. Bu tok qabul qilishda mashinalar yaratish va ekspluatatsiya qilishda muhim e'tiborni qaratish lozimligini anglatadi.

Tortuv motorlarning ch'otkasi tagidagi uchqun chiqishiga yuqori talab qo'yadi. ГОСТ 2582 -81 ga asosan uchqun chiqishi barcha ish rejimi diapozoniga $1, 1\frac{1}{4}, 1\frac{1}{2}$ darajalarga mos bo'lishi va qisqa muddatli o'ta yuklanishlarda 2 darajagacha ruxsat etiladi. Biroq bu talablarning bajarilishi ham real ekspluatatsiya sharoitida ham intensiv ravishda uchqun chiqish davom etadi. Shuning uchun tortuv elektr motorlarini sinashda kollektorda yoy hosil bo'lmasligi va bunday uchqunlar izi bo'lmasligi talabi qo'yiladi, unda mashina ishlashida ch'otkada ishqalanish bo'lmasligi lozim. Tortuv motorlari uchun birinchi va muxim talab barcha jarayonlar va normal ishlash rejimlarida talab etiladi. ГОСТ: 582-81 ga mos holda tortuv motorlar tok qabul qilish quyidagi rejimlarda sinashda chidashi lozim:

-Ikkilangan soatli tokda $2I_n$ va nominal qo'zg'atish darajasida β_{nom} - nominal kuchlanish U_{nmax} ga bo'lishi:

-eng ko'p aylanish tezligida η_{max} va eng kam qo'zg'atish darajasida β_{min} eng ko'p kuchlanish U_{kmax} ga ega bo'lishi;

-eng ko'p ishga tushirish toki $K_{na} \cdot I_{nom}$ va eng kam qo'zg'atish darajasida β_{min} eng ko'p kuchlanish u_{kmax} ga ega bo'lishi talab etiladi.

-uchqun chiqish darajasi $1\frac{1}{2}$ dan katta bo'lmasligi β_{nom} va β_{min} oralig'idagi ishchi toklar uchun tezlik harakteristikalari ko'rsatiladi. β_{max} qiymatda esa, bu ma'lumotlar kuchlanishning $U_k = 1,5U_{nom}$ qiymatida keltiriladi.

2.2-§. Cho'tka kollektor apparatining ishiga mexanik xavfning ta'siri

Tortuv elektr motorlari ch'otka va kollektorlari amalda uzluksiz mexanik xavf ta'sirida ishlaydi. Ch'otka kollektor apparati – mashinaning shunday qismiki, bularga bu xavflar eng katta ta'sir ko'rsatadi. Mexanik xavflar ichki, ya'ni motorning o'zida, tortish uzatmasida yuzaga keladigan va tashqi – EHTning harakatlanishida yuzaga keladigan va uning yurish qismiga (g'ildirak juftiga) rels bilan ta'sir qiladi.

Ichki xavflar – kollektorning ishchi yuzasiga aniq ishlov bermaganligi, uning ekspluatatsiya davomida yurishlari natijasida yuzaga keladi. Ta'sir etuvchi xavflar yakorning balansirovka (tenglashtirish) qilinmaganligi, yakor podshipniklarining buzuqligi, tortish uzatmasi, g'ildirak-motor buksasining normal holatining buzilishlari ta'sirida yuzaga keladi. Ichki xavflar ko'pincha doimiy tebranish natijasida behosdan yuzaga kelish xarakteriga ega.

Tashqi mexanik xavflar – ko'pincha impuls xarakterida bexosdan yuzaga kelishi mumkin va relsli yo'lning xolatiga va EHTning yurish qismining holatiga bog'liq bo'ladi. Katta xavfni harakatlanuvchi g'ildirak tebranish yuzasining (polzunlar, viboinlar) buzilishidan yuzaga keladi.

Ko'pincha tok qabul qilgichning buzilishidan – bir emas, bir necha xavflar natijasida yuzaga keladi. Ch'otkaga ta'sir etuvchi dinamik kuchlar

$$P_g = (m_{sh} + m_{hp})a_D = (G_{sh} + G_{hp})a_d^* \quad (2.1)$$

bunda, m_{sh} , G_{sh} va m_{hp} , G_{hp} – mos holda ch'otka ushlab turgich ch'otkasi va qisish qurilmasining massasi va og'irligi.

Bu kuch ch'otkaning massasi markaziga qo'yilgan va α - burchak bo'ylab uning o'q chizig'iga (2.1,a-rasm) yo'naltirilgan va burchak 360° oralig'ida o'zgarishi mumkin va R_D kuchni ikkita o'qi tashkil etuvchisiga ajratish mumkin: ch'otka ushlagich aylanasi tarafdin R_{dp} (radial) va bu o'qqa perpendikulyar R_{dt} (tangensial). Bu tashkil etuvchilar $R_{dp} = R_d \cdot \cos\alpha$; $R_{dt} = R_d \cdot \sin\alpha$.

Ch'otkani statik holda kollektorga qisganda

$$r_{sh} = \frac{R_{sh}}{S_{sh}}$$

(bunda, R_{sh} – ch'otkaning statik qisishi, S_{sh} – uning kollektorga qisish yuzasi).

Natijaviy bosim

$$r_{shr} = r_{sh} \pm R_{dp}/S_{sh} = r_{sh} \pm r_{dp}$$

(r_{dp} – ch'otkaning dinamik bosimi).

Eng nohush holatlar ($R_{sh} - R_{dp}$) < 0 bo'lganda mavjud bo'ladi. Bunda ch'otka kollektordan ajraladi va ular orasida yoy hosil bo'lish ehtimoli bo'ladi. Yoy hosil bo'lish ehtimolini kamaytirish uchun, r_{sh} ning qiymatini oshirish zarur bo'ladi, biroq bu holda ch'otka va kollektorning yeyilishi ortadi.

Tayanch-o'qli tortuv elektr motorlari uchun ko'pincha $r_{sh} = 350 \div 500 \text{ gs/sm}^2$ (agar uzatma qattiq bo'lsa, $r_{sh} = 260 \div 350 \text{ gs/sm}^2$), ramaga osilganda $r_{sh} = 180 \div 250 \text{ gs/sm}^2$ qabul qilinadi. Bu siqishlar umum qo'llanuvchi motorlarnikiga nisbatan ancha yuqori hisoblanadi. r_{sh} ning ortirilishi kollektordagi ishqalanish kuchini oshiradi.

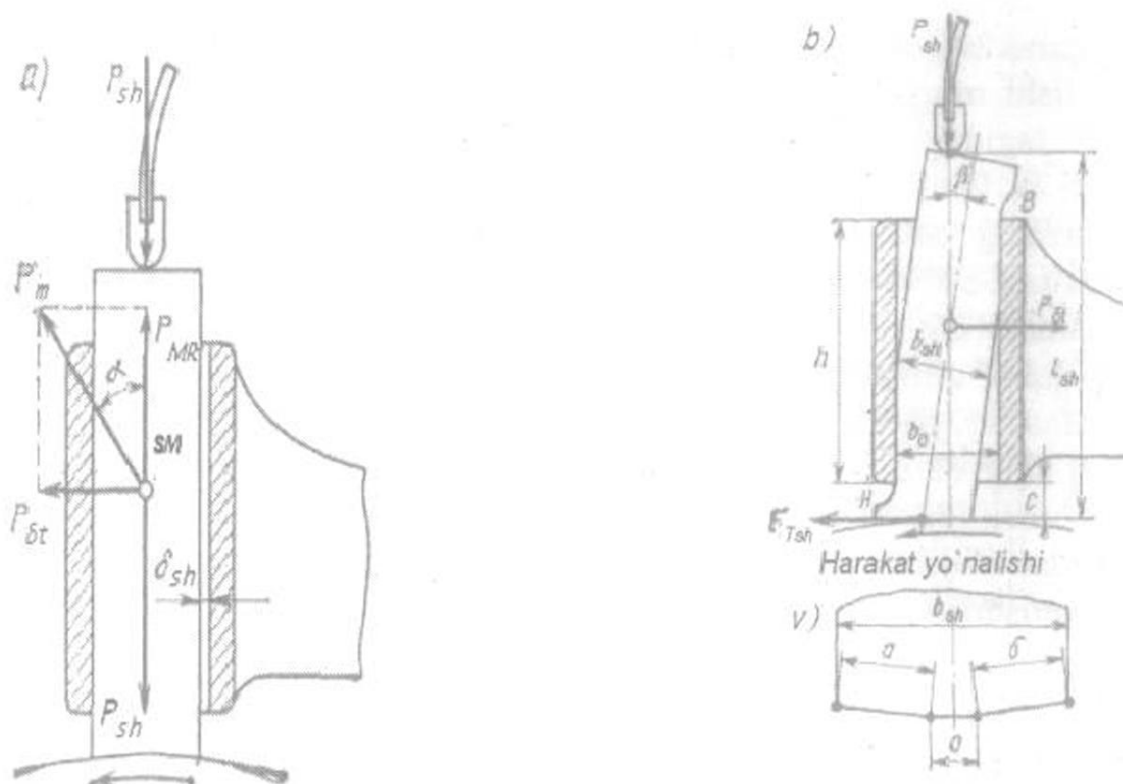
$$F_{tsh} = r_{sh} \cdot \Sigma S_{sh} \cdot f_{sh} \quad (2.2)$$

Bunda ch'otkaning ishqalanishi natijasida quvvat isrofi ΔP_{sh} ortadi. Ch'otkaning ushlab turgich oynasida yedirilishini va asosan muzlashini oldini olish uchun ch'otka va ch'otka ushlab turgich orasida bo'shliq $S_{sh} \geq 0,05 \text{ mm}$ bo'lishi lozim. 2.1-rasmdan ko'rinadiki, $\delta_{sh} = b_0 - b_{sh}$ bo'ladi (bunda b_{sh} , b_0 – mos holda ch'otka va ch'otka ushlab turgich oynasining eni). Motorni tayyorlashda va ta'mirlashda bu havo bo'shlig'i 2 - 3 marta oshirilishi mumkin. Ekspluatatsiya shartlariga asosan havo bo'shlig'ining yaroqsizlik o'lchami o'rnatilgan bo'lib, u $\delta_{yaroqsiz} = 0,35 - 0,40 \text{ mm}$ ga teng.

Bu holda ishdan chiqqan ch'otkaning tirqish o'qiga nisbatan mumkin bo'lgan kesish mavjud, u quydagicha ifodalanadi.

$$\beta = \arctg[\delta_{sh}/(l_{sh} - c)], \quad (2.3)$$

bu yerda, c – ch'otka ishlab turgichning pastki oynasi va kollektor o'rtasidagi bo'shliq.



2.1-rasm. Dinamik kuchlarning ch'otkalarga ta'siri sxemasi (a), qiya ta'sirlar (b) va ch'otkaning kollektor chetlaridan ko'rinishi (v)

Ishqalanish kuchi F_{tsh} , va uni tashkil etuvchi dinamik kuchlar R_{dt} suruvchi momentni hosil qiladi $M = (F_{tsh} \pm P_{dt})l_{sh}$. Bu momentning ta'sirida birinchi B va H to'siqlarga suyuqchi kuchlar ta'sirida tirkashib ch'otka oynaga yopishib qoladi $F_{kr} \equiv \frac{M}{(2h)}$, (bu yerda h – ch'otka ushlab turgichning oynasi balandligi).



2.2-rasm. Qismlardan tuzilgan ch'otkalar.

Mexanik yedirilish va elektr erroziya ta'sirida (asosan egiluvchan bo'lmagan shuntli ch'otka qo'llanilganda) ch'otkaning egilishi natijasida yon tomonlari yuzasi tez ishdan chiqadi. R_{dt} kuchning behosdan yuzaga

kelish xarakteri ch'otkaning egilish burchagini tezda $\beta=2\div 4^\circ$ o'zgarishiga olib kelishi mumkin. Ch'otkaning kollektor bilan tegib turish yuzasi va ch'otka tagidagi tokning zichligi stabil holatda bo'lmaydi. Kontakt yuzasini a va b o'lchamlarigacha qisqarishi (2.1,v-rasm) ch'otka va kollektorning ishdan chiqishini uchqun chiqishini oshishiga olib keladi. Birgalikdagi ch'otkalarni qo'llaganda ch'otkalarni tegib turishi bir qancha yaxshilanadi(2.2-rasm). Ch'otkaning tashkil etuvchi qismiga umumiy bosish qabul qilinadi (qisuvchi barmoq 4 bilan 2 qayishqoq taglik orqali yoki suharlar yordamida alohida qismlarga 5 va 6 bilan birga va shu barmoq bilan (2.2, b -rasm). Elektr eroziyani pasaytirish uchun egiluvchan shunt yordamida bajarilgan ch'otka ushlagichning korpusiga o'rnatilgan 3-ch'otkadan foydalaniladi (2.2, a-rasm), a o'rnatishni yengillashtirish va tushib ketishdan ogohlantirish uchun A uchlik qilingan.

Nazorat savollari

1. Tok qabul qilishga qo'yiladigan talablar nimadan iborat?
2. Ch'otka kollektor apparatining ishiga mexanik xavfning ta'siri qanday?
3. Ch'otka kollektor apparatining ishiga ta'sir etuvchi tashqi mexanik xavflar nimadan iborat?
4. Ch'otka kollektor apparatining ishiga ta'sir etuvchi ichki xavflar nimadan iborat?
5. Tortuv motorlarning ch'otkasi tagidagi uchqun chiqishi qanday darajalarga bo'linadi?
6. Ch'otka kollektor apparatining ishiga ta'sir etuvchi bosim qanday rostlanadi?

3-bob. Pulsatsiyalanuvchi tokli tortuv motorlari

3.1-§. Kuchlanishning pulsatsiyalanishi

Lokomotivlar tortuv motorini to'g'rilash qurilmasi bilan ta'minlash sharoiti elektr harakatlanuvchi tarkib tortuv motorlarini o'zgarmas tok bilan ta'minlashdan farq qiladi. O'zgarmas tokli elektrlashtirilgan yo'llarda tortuvchi podstantsiyalar 6 dan 24 gacha fazalar soni bo'lgan ko'p fazali to'g'rilagichlar yordamida amalga oshiriladi, bunda amalda to'g'rilangan kuchlanish doimiy (pulsatsiyalanish 3-5% dan oshmaydi) bo'ladi. Lokomotivlarning bir fazali o'zgartgich qurilmalari to'g'rilashning bunday sifatini ta'minlay olmaydi, bundan tashqari tortuvchi motorning ishlashi uchun ko'pgina boshqa xususiyatlarini yuzaga keltiradi. Motor chulg'amlariga beriladigan to'g'rilangan kuchlanishning o'rtacha qiymati quyidagicha aniqlanadi:

$$U_K = \left(\frac{U_C}{K_{o'zg}} \right) - \Delta U_{o'zg} \quad (3.1)$$

bunda: $K_{o'zg} = \frac{K_T}{K_V} \approx 1.1 K_T$ o'zgartirish koeffitsiyenti., $K_T = \frac{\omega_1}{\omega_2}$ — transformatorning transformatsiya koeffitsiyenti.

$K_V = \frac{U_M}{U_2}$ — to'g'rilash koeffitsiyenti. To'g'rilangan kuchlanishning o'rtacha qiymatini U_M transformator chiqishidagi kuchlanishning haqiqiy qiymatiga U_2 nisbati.

To'g'rilagich ochiq bo'lganda $K_V \approx 0,9$ bo'ladi. O'zgartirgich qurilmasida kuchlanishning pasayishi.

$$\Delta U_{o'zg} = I \cdot Z_{o'zg} \quad (3.2)$$

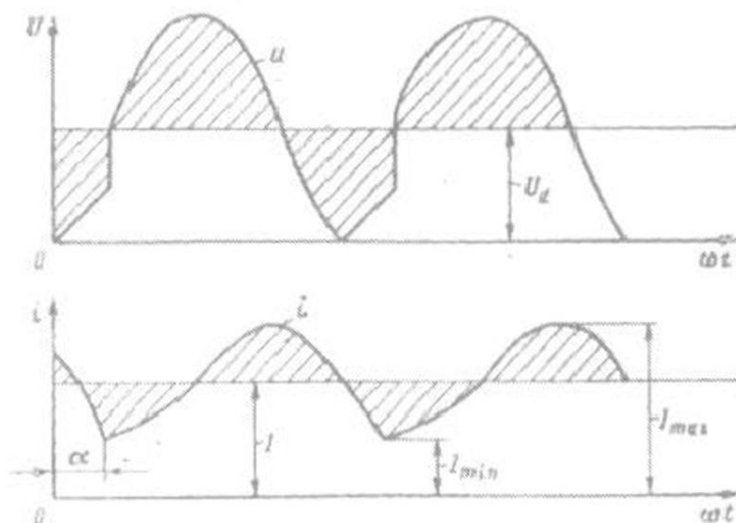
bunda: I — motor toki; $Z_{o'zg}$ — o'zgartgich qurilmasining bir motorga nisbatan keltirilgan qarshiligi.

3.1-tenglamadan ko'rinadiki, $K_{o'zg}$ ning qiymatini saralash bilan lokomotivlarning ekspluatatsion xususiyatlari va motorning konstruktiv o'lchamlarini e'tiborga olgan holda kuchlanishning eng ma'qul qiymatlarini olish mumkin. $K_{o'zg}$ —koeffitsiyenti to'g'rilash U_K kuchlanishni rostlashga imkon beradi va motorlarning ish rejimlarini o'zgartirishda asosiy usul bo'lib xizmat qiladi.

3.1 va 3.2 - tenglamalardan ko'rinadiki, bunda kuchlanish U_K tok I ning o'zgarishi bilan doimiy bo'lib qolmaydi va uning o'zgarish intensivligi

$Z_{o'zg}$ qiymatining o'zgarishiga bog'liq, bu motor chulg'amlari o'zlarida kuchlanish darajasining stabil (bir tekisda) emasligini aniqlaydi.

Bir fazali tokning to'g'rilashdan ikki yarim davrli to'g'rilangan kuchlanishning xarakterini 3.1-rasmida ko'rish mumkin:



3.1-rasm. Bir fazali tokda ikki yarim davrli to'g'rilagichdagi kuchlanish va tokning egri chiziqlari.

To'g'rilangan kuchlanish doimiy tashkil etuvchisi U_d ga o'zgaruvchan tashkil etuvchili kuchlanish qo'shilgan deb hisoblash mumkin (diagrammadagi to'liqinsimon shtrixlangan maydon). Kuchlanishning o'zgaruvchan tashkil etuvchilari sinusoidal emas va bir necha garmonikaga joylashtirilishi mumkin.

Birinchi yaqinlashishda faqat asosiy garmonikalarni qabul qiladi, bunda, chastota $f_{to'g} = 2$, $f_c = 100Gs$ bunda, $f_c = 50Gs$ – tarmoq kuchlanishining o'zgaruvchan chastotasi.

To'g'rilangan kuchlanishning pulsatsiyalanish darajasi pulsatsiya koeffitsiyenti bilan baholanadi.

$$K_{PU} = \frac{U_{p2}}{U_o} \quad (3.3)$$

bunda, U_{p2} – pulsatsiyalangan kuchlanishning ikkilangan garmonikasi amplituda qiymati.

U holda to'g'rilangan kuchlanishning oniy qiymati

$$U \approx U_o(1 + K_{PU} \cdot \sin 2 \cdot \omega_c \cdot t) \quad (3.4)$$

bu yerda, $\omega_c = 2\pi \cdot f_c$ – kuchlanishning burchak chastotasi.

3.2-§. Tok kuchining pulsatsiyalanishi

Kuchlanishning pulsatsiyalanishi tortish motorlari zanjirida tok pulsatsiyasini yuzaga keltiradi. Uning qiymati tokning pulsatsiya qiymati bilan aniqlanadi. K_{Π} , uning qiymati ham kuchlanishdagi kabi o'zgarishlar bilan qabul qilinadi.

$$K_{PI} = \frac{I_{P2}}{I} \approx \frac{(I_{\max} - I_{\min})}{(I_{\max} + I_{\min})} \quad (3.5)$$

bunda: I_{P2} – tokning o'zgaruvchan tashkil etuvchisining ikkinchi garmonikadagi amplituda qiymati; $I_{\max}, I_{\min}$ va I mos holda to'g'rilangan tokning maksimal, minimal va o'rtacha qiymatlari.

To'g'rilash qurilmasidagi yarim o'tkazgichli jihozlar kommutatsiyasi va to'g'rilangan tok zanjiridagi katta induktivligi to'g'rilangan tokning yana ham katta bo'lgan sinusoida bo'lmagan miqdorlarga bog'liq bo'lmagan holda kuchlanishning o'zgaruvchan tashkil etuvchisini yuzaga keltiradi va ularning amplituda qiymatlarini pasaytiradi hamda tokning asosiy garmonikasining faza siljishi kuchlanishning asosiy garmonikasiga nisbatan $\alpha \approx 90^\circ$ suriladi.

To'g'rilangan tokning oniy qiymati taxminan quyidagicha aniqlanadi.

$$i \approx I[1 + K_{\omega, g2} \sin(2\omega_c t + \alpha)] \quad (3.6)$$

To'g'rilangan tok zanjiridagi u kuchlanish mos holda kuchlanishning tushishi bilan kompensatsiyalanadi.

Birinchi yaqinlashishda aytish mumkinki, kuchlanishning doimiy tashkil etuvchisi o'zgarmas holda pulsatsiyalangan kuchlanishning tushishi bilan kompensatsiyalanadi, uning asosiy qismi mashina E.YU.K ni tashkil qiladi. $E = C_v V \Phi$. E ning o'zgarmas bo'lishi tezlik V ning pulsatsiyalanishi yo'qligidadir va amaldagi oqimning F kam o'zgarishida maxsus qo'zg'atish chulg'omini ulash sxemasi mavjudligidadir.

Motor kuchlanishining doimiy tashkil etuvchisi

$$U_K \approx U_d - I r_p \quad (3.7)$$

bunda, r_p – silliqlovchi reaktorni bir motorga keltirilgan qarshiligi bu holda uning qiymati kamligi uchun qabul qilmasa ham bo'ladigan aktiv qarshiligi, shunday qilib tokning doimiy tashkil etuvchisini motorning ish rejimiga bog'liq deb qarash mumkin.

$$I \approx (U_d - E) r_d \approx (U_d - C_v V \Phi) r_d \quad (3.8)$$

bunda, r_d – tortuvchi motor chulg'aming qarshiligi.

Kuchlanishning o'zgaruvchan etuvchilari to'g'rilangan tok zanjiridan aktiv Σr va reaktiv Σx qarshiliklar kuchlanishning tushishi bilan kompensatsiyalanadi. O'zgaruvchan tashkil etuvchilari amplituda qiymati IK_{PI} va UK_{PI} larni bog'lanishini yozish mumkin.

$$m_d K_{PI} I = \frac{U_d K_{PI}}{\sqrt{(\Sigma r)^2 + (\Sigma x)^2}} \quad (3.9)$$

bunda, $\Sigma r = r_p + r_d / m_d$; $\Sigma x = 4\pi f_c / (L_p + L_d / m_d)$

m_d – bir to'g'rilash reaktoriga parallel ulangan motorlar soni.

L_p va L_d – motor va reaktorlar mos holda induktivligi.

$\Sigma r \ll \Sigma x$ bo'lganligi uchun birinchi qiymatni e'tiborga olmasak (3.9) tenlamani quyidagicha yozish mumkin.

$$K_{PI} \approx K_{PI} \frac{U_d}{4\pi f_c (L_p + L_d) I m_d} \quad (3.10)$$

K_{PI} – ning qiymati yarim o'tkazgichli jihozlar to'liq ochiq bo'lganda nisbatan bir tekis (stabil) bo'ladi.

($K_{to'g} \approx 0,73 \div 0,78$). Tiristorning o'tish holatidagi burchak o'zgarishi bilan kuchlanishni rostlaganda qiymati ancha o'zgaradi.

To'g'rilangan tokni to'lishiga silliqlash uchun, ya'ni $K_{PI} = 0$ bo'lishi uchun induktivliklar cheksiz katta bo'lishi lozim, bunga amalda erishib bo'lmaydi.

Ko'pincha nominali ish rejimida $K_{PI} \leq 0,2 \div 0,25$ ni qabul qiladi.

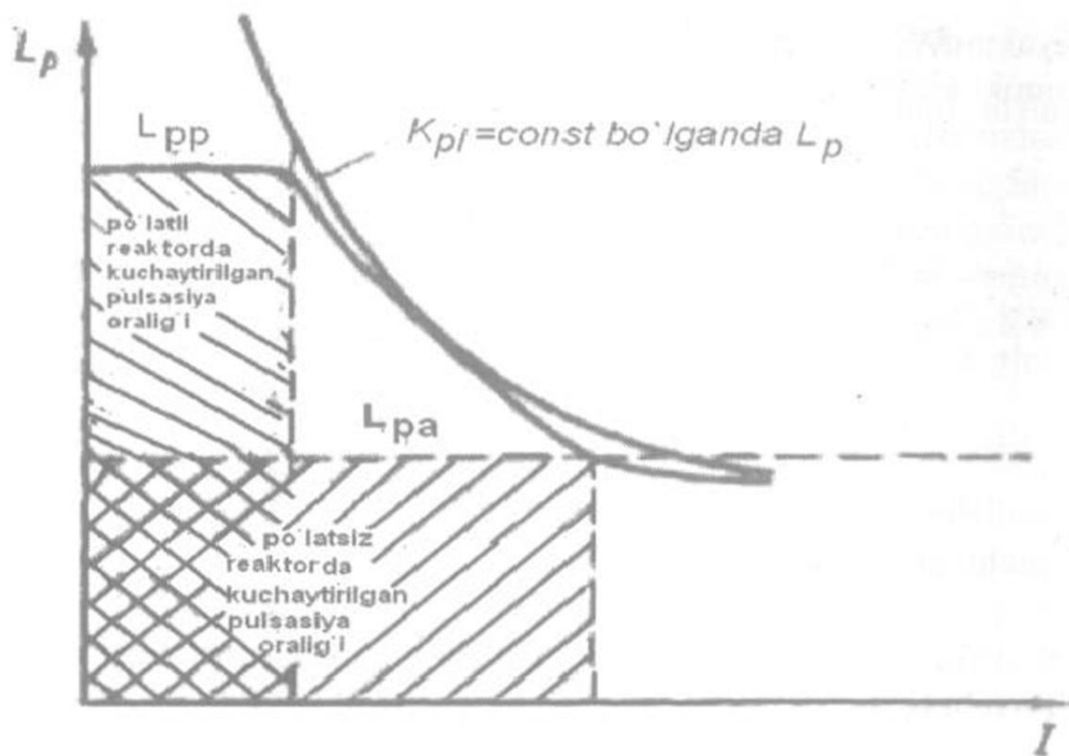
$K_{PI nom}$ qiymatini boshqa ish rejimlarida ushlab turishi quyidagi bog'lanish orqali aniqlanadi.

$$I(L_p + L_d / m_d) \approx 4\pi f_c m_d U_d \frac{K_{PI nom}}{K_{PI}} \approx const \quad (3.11)$$

Magnit oqimining pulsatsiyasini kamaytirish uchun qo'zg'atish chulg'amini aktiv qarshilik bilan shuntlanadi, unda L_d nisbatan kichik va tok o'zgarganda ham sezilarsiz o'zgaradi. U $L_p(I)$ (3.2-rasm) bog'liqlik xarakteriga sezilarli ta'sir ko'rsatmaydi.

Silliqlovchi reaktorning $L_p(I)$ xarakteristikasi motorning ishlash shartiga katta ta'sir ko'rsatishi mumkin.

3.2-rasmda $K_{PI nom} = const$ sharti uchun $L_p(I)$ bog'liqlikdan tashqari silliqlovchi reaktorning po'lat o'zaksiz $L_{pv}(I)$ va po'lat o'zakli reaktorning $L_{ps}(I)$ xarakteristikalari keltirilgan.

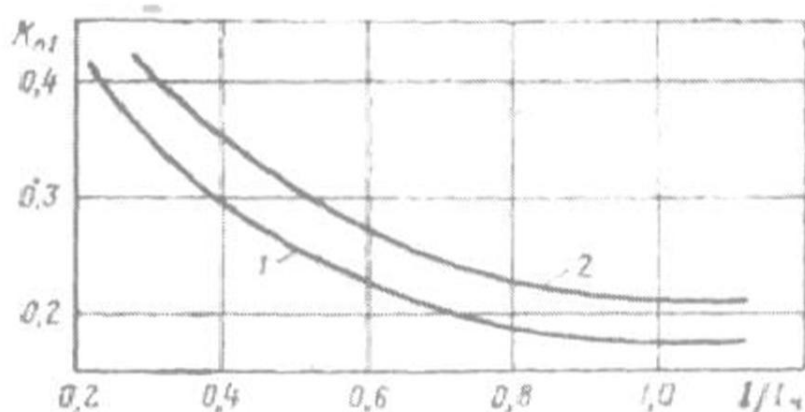


3.2-rasm. Silliqlovchi reaktor induktivligining tokka bog'liqligi grafigi.

Nominal rejimda L_{pnom} ikkala reaktorning induktivligi shunday qabul qilinganki, ular $K_p I_{nom}$ ning nominal qiymatini ta'minlashi zarur bo'ladi.

$$L_{pnom} \approx \frac{2,11 \cdot U_{do}}{K_p I_{nom} \cdot m_g \cdot I_{nom}} - \frac{L_g}{m_g} \quad (3.12)$$

bunda, U_{do} —lokomotiv kuchlanishining yuqori holatidagi salt ishlash oxiridagi to'g'rilangan kuchlanishning eng katta qiymati.



3.3-rasm. Elektrovoz tortuv elektr motorlarining tok pulsatsiyasi koeffitsiyenti egri chiziqlari

Ikkala reaktorda ham tokning $I < I_{nav}$ oralig'ida L_{pv} uchun barcha tok (diapazonida) oralig'ida va L_{ps} ning ancha kichik oralig'ida o'ta

pulsatsiyalanuvchi zona hosil bo'ladi. Bu zonadan qutilishning imkoni yo'q, chunki kichik toklarda $L_p(I) \rightarrow \infty$ bo'ladi.

Pulsatsiyalanuvchi tok koeffitsiyenti kichik toklarda kuchlanishlari oshadi (3.3-rasm), bu lokomotivlarning katta tezligiga mos keladi. Mashinaning magnit maydoni pulsatsiyasidan yuzaga keladigan kuchlanish va tokning pulsatsiyasi motorning ishlashini murakkablashtiradigan ko'pgina boshqa bir qancha holatlarni yuzaga keltiradi.

Nazorat savollari

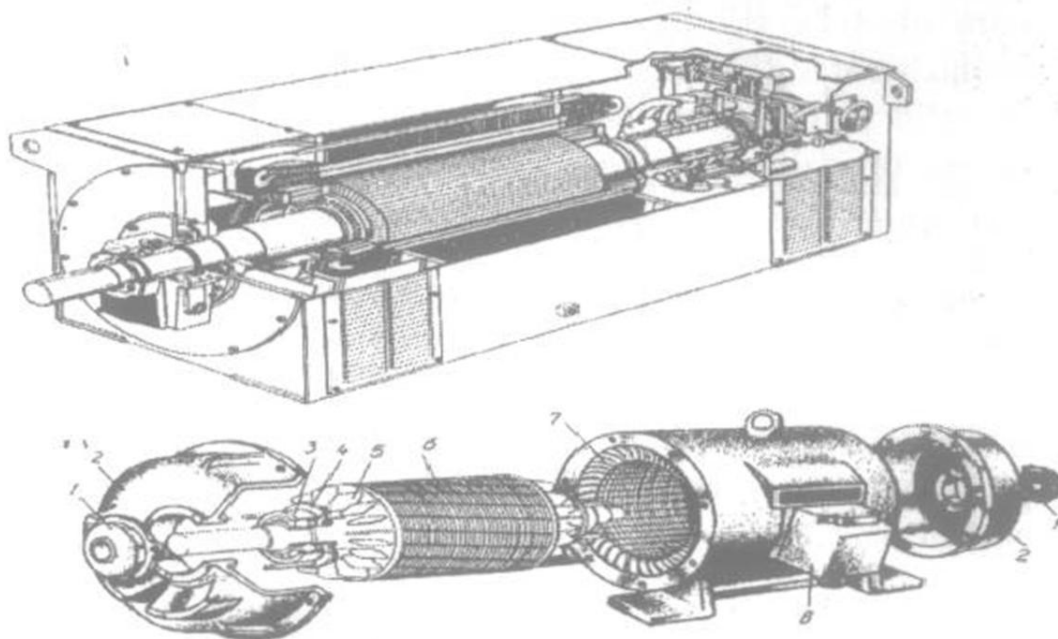
1. Kuchlanishning pulsatsiyalanishi qanday amalga oshadi?
2. Tok kuchining pulsatsiyalanishi nimaga bog'liq?
3. Pulsatsiyalanuvchi tok koeffitsiyenti qanday aniqlanadi?
4. Pulsatsiyalanuvchi kuchlanish koeffitsiyenti qanday aniqlanadi?
5. Silliqlovchi reaktor motorning ishlashiga qanday ta'sir ko'rsatadi?

4-bob. Kollektorsiz tortuv elektr mashinalari

4.1-§. Asinxron mashinalar to'g'risida umumiy ma'lumotlar.

Asinxron mashinaning tuzilishi, ishlash prinsipi va ish rejimlari

Kollektorsiz asinxron motorlar zamonaviy elektr yuritmaning asosini tashkil etib, sanoat turlarining barcha sohalaridagi avtomatik boshqarish jarayonlarida, transportda, qishloq xo'jaligida, kon ishlaridagi yirik elektr jihozlari yuritmalarida va boshqa sohalarda keng qo'llaniladi.



4.1, a-rasm. «BROWN BOVERI» (Shveytsariya) firmasi ishlab chiqargan katta quvvatli faza rotorli asinxron motor; b) Rossiyada ishlab chiqarilgan qisqa tutashgan rotorli asinxron motorning qismlarga ajralgan holda ko'rinishi: 1 – qopqoq; 2 – podshipnik qalqoni; 3 – podshipnik; 4 – podshipnik qopqog'i; 5 – ventilyatsiya uchun kurakchalar; 6 – chulg'ami qisqa tutashgan rotor; 7 – stator chulg'ami; 8 – stator chulg'ami chiqish uchlari jamlangan quticha

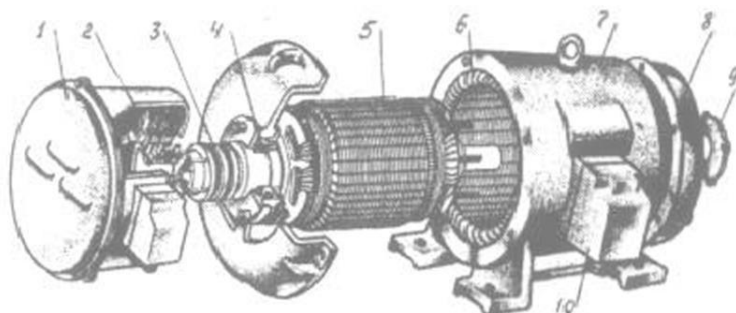
Asinxron motorning rotorini stator ichiga o'rnatiladi. Rotor – o'qi, po'lat o'zak va uning pazlariga joylashtirilgan qisqa tutashgan chulg'am yoki uchta fazaviy chulg'amdan iborat. Stator – qobiq, po'lat o'zak va uning pazlarida joylashgan bir, ikki yoki uch fazali chulg'amdan iborat. Stator va rotorlarning po'lat o'zaklari maxsus elektrotexnik po'latdan tayyorlangan yupqa tunukalardan yig'iladi.

Asinxron motorlar rotorining tuzilishiga qarab ikki xil bo'ladi:

1) qisqa tutashgan rotorli asinxron motor (rotor chulg'ami qisqa tutashgan) (4.1-rasm);

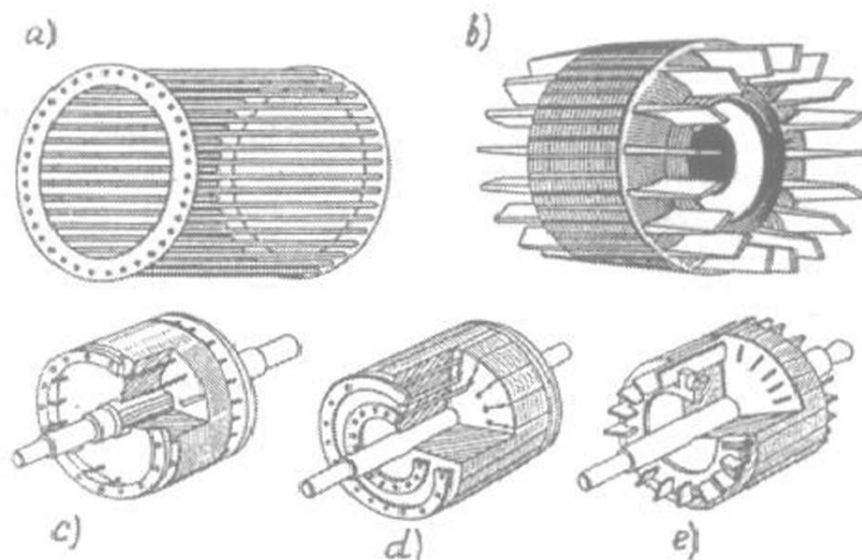
2) faza rotorli asinxron motor (rotor chulg'ami uch fazali) (4.2-rasm).

Qisqa tutashgan rotorli asinxron motor – rotorining po‘lat o‘zagi pazlariga eritilgan alyuminiy quyilib chulg‘am o‘tkazgichlari (sterjenlar) hosil qilinadi va ularning pazlardan tashqari uchlari ikki tomondan quyma alyuminiy halqalar orqali qisqa tutashgan bo‘ladi. Natijada, yaxlit "olmaxon katagi" ko‘rinishidagi qisqa tutashgan chulg‘am hosil qilinadi (4.3,a -rasm).



4.2-rasm. Faza rotorli asinxron motorning qismlarga ajralgan holda ko‘rinishi: 1 – kontakt halqalari va cho‘tkalar joylashgan tomondagi qopqoq; 2 – cho‘tka tutqich va cho‘tkalar; 3 – kontakt halqalar; 4 – podshipnik; 5 – rotorning po‘lat o‘zagi (uning pazlarida uch fazali chulg‘am); 6 – stator chulg‘ami; 7 – qobiq; 8 – podshipnik qalqoni; 9 – o‘qning mexanizmga ulanadigan tomonidagi podshipnik qalqoni qopqog‘i; 10 – stator chulg‘ami chiqish uchlari jamlangan quticha.

Faza rotorli asinxron motori ham o‘q, o‘qqa o‘rnatilgan po‘lat o‘zak, uning pazlariga bir-biriga nisbatan 120^0 ga siljigan uch fazali chulg‘am joylashtiriladi



4.3-rasm. Chulg‘ami qisqa tutashgan rotorning konstruksiyalari: a - "olmaxon katagi" sterjenlari; b - quyma alyuminiy chulg‘amli; s - odatdagi katakli; d - qo‘sh katakli; e - chuqur katakli

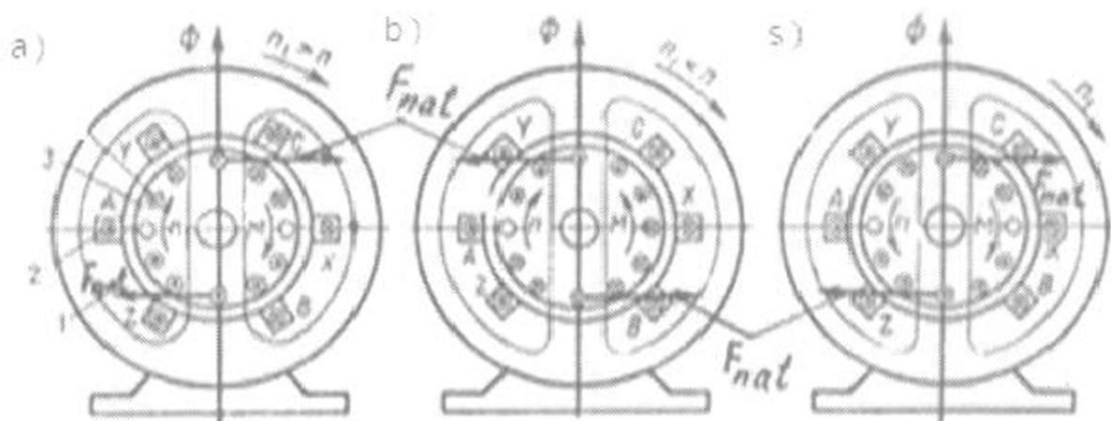
chulg‘amlari yulduz usulida ulangan bo‘ladi va ularning uchlari esa o‘qning bir tomonida o‘rnatilgan uchta mis yoki jez (mis va rux aralashmasi) halqalarga ulanadi.

Ishlash prinsipi. Uch fazali asinxron motorning stator chulg'amiga uch fazali tok berilganda vujudga kelgan magnit yurituvchi kuch (MYuK) statorda aylanish chastotasi $n_1 = 60 \frac{f}{p}$ bo'lgan aylanma magnit maydonni hosil qiladi. Bu maydon kuch chiziqlari stator chulg'ami o'ramlarini va rotorning qisqa tutashgan chulg'am sterjenlarini yoki uch fazali chulg'ami o'ramlarini kesib o'tib, ularda EYUK lar hosil qiladi. Agar rotor chulg'ami qisqa tutashgan bo'lsa, undagi EYUK ta'sirida qisqa tutashgan rotor chulg'amlari o'tkazgichlaridan tok o'tib, bu tokning stator hosil qilgan aylanma magnit maydoni bilan o'zaro ta'siri natijasida rotor chulg'ami o'ramlariga elektromagnit kuch ta'sir qiladi. Bu kuch hosil qilgan aylantiruvchi (elektromagnit) moment tormozlovchi momentdan katta bo'lsa, rotorni aylanma magnit maydon yo'nalishida aylantiradi.

Aylanma magnit maydonning aylanish chastotasi n_1 bilan rotorning aylanish chastotasi n orasidagi nisbiy farqqa sirpanish (s) deyiladi va u quyidagicha aniqlanadi ($n.b.$ – nisbiy birlik):

$$a) S_{(n.b)} = \frac{(n_1 - n)}{n_1}; \quad b) S_{(\%) } = \frac{(n_1 - n)}{n_1} \cdot 100 \quad (4.1)$$

Ish rejimlari. Stator magnit maydonining aylanish chastotasi n_1 va rotorining aylanish chastotasi n larning qiymatlariga bog'liq holda asinxron mashina motor, generator va elektromagnit tormoz rejimlarida ishlashi mumkin. Bulardan tashqari qisqa tutashuv va salt ishlash rejimlari ham mavjud.



4.4-rasm. Asinxron mashinaning motor (a), generator (b) va elektromagnit tormoz (s) ish rejimlarida elektromagnit kuch va momentining jimlarida elektromagnit kuch va momentining yo'nalishi va elektromagnit sxemasi.

Asinxron mashina motor rejimida (4.4,a-rasm) ishlaganida rotorning aylanish chastotasi stator aylanma magnit maydoni chastotasidan kichik ($n_1 > n$) bo'lib, sirpanish esa $0 < s < 1$ oraliqda bo'ladi. Bu holda stator chulg'ami tarmoqdan elektr energiya bilan ta'minlanadi va rotorning o'qi

qandaydir mexanizmga mexanik momentni beradi. Mashinada elektr energiya mexanik energiyaga aylantiriladi.

Asinxron mashinaning rotorini tormozlanib ($n = 0$), stator chulg'ami tarmoqqa ulangan holatni qisqa tutashuv rejimi deyiladi (bunda sirpanish $s = 1$ bo'ladi). Agar rotorning aylanish chastotasini stator chulg'ami aylanma magnit maydoni chastotasi (sinxron chastotasi) bilan teng ($n = n_1$) qilinsa (buning uchun birlamchi motor yordamida rotorning aylanish chastotasini bir oz oshirish zarur), sirpanish $s = 0$ bo'ladi. Bunda aylantiruvchi moment hosil bo'lmaydi, chunki aylanma maydon rotor chulg'amini kesib o'tmaydi. Bunday rejimni asinxron mashinaning ideal salt ishlash rejimi deyiladi.

Agar asinxron mashinaning rotorini birorta mexanizm yordamida stator magnit maydoni aylanish chastotasidan katta ($n > n_1$) bo'lgan chastotada aylantirilsa rotor chulg'ami o'tkazgichlaridagi EYUK, tokning aktiv tashkil etuvchisi va sirpanishlar o'z yo'nalishini o'zgartiradilar. Bunda elektromagnit moment M ham o'z yo'nalishini o'zgartirib tormozlovchi bo'ladi (4.4,b-rasm), ya'ni asinxron mashina generator rejimiga o'tadi. Asinxron mashina generator rejimda birlamchi motordan mexanik energiya olib, uni elektr energiyaga aylantirib tarmoqqa beradi. Bunda sirpanish $0 < s < +\infty$ oraliqda o'zgaradi (« $-\infty$ » – nazariy jihatdan; amalda esa olib bo'lmaydi).

Agar asinxron mashinaning rotorini boshqa motor bilan stator magnit maydoni aylanishiga teskari yo'nalishda aylantirilsa, rotor chulg'ami o'tkazgichlaridagi EYUK va tokning aktiv tashkil etuvchisi motor rejimidagi singari yo'nalgan bo'ladi, ya'ni mashina tarmoqdan energiya oladi [6]. Lekin bu rejimda elektromagnit moment rotor aylanishiga teskari yo'nalib, tormozlovchi bo'ladi (4.4,s-rasm). Bu rejim – asinxron mashinaning elektromagnit tormoz rejimi deyiladi. Bu rejimda rotorning aylanish yo'nalishi aylanma maydonnikiga nisbatan teskari bo'lgani uchun rotor aylanish chastotasi $n < 0$, sirpanishi esa $1 < s < +\infty$ oraliqda o'zgaradi. Bu rejimda asinxron mashina rotor tomonidan mexanik energiya, stator tomonidan esa elektr energiya oladi.

Asinxron mashinaning elektromagnit tormoz rejimi amaliyotda kranlarda va ko'targich mexanizmlarda yukni tushirish jarayonida uning tezligini kamaytirish yoki zarur bo'lganda ularni tezda to'xtatish uchun qo'llaniladi. Bu maqsadda stator chulg'amiga tarmoqdan ulangan xohlagan ikkita simning o'rnini almashtirib ulash kerak bo'ladi. Bu holda statorning aylanma magnit maydoni o'z yo'nalishini o'zgartiradi va tormoz momentini hosil qiladi. Bu rejimda sirpanish katta ($s = 1$) bo'lganligidan, rotor chulg'amidagi EYUK, demak, tok ham katta bo'ladi. Bu tokni

kamaytirish uchun faza rotorli motorda rotor chulg'omini aktiv qarshilikka – tormozlovchi reostatga ulaydilir. Umumiy maqsadli asinxron motorlar nominal yuklama bilan ishlayotgandagi sirpanish $s_n=3\div5\%$ ni, maxsus asinxron motorlarning ayrimlarida esa $s_n = 12\div15\%$ ni tashkil qiladi.

4.2-§. Uch fazali asinxron motorning energetik diagrammasi

Asinxron mashina motor rejimida ishlayotganda (4.5-rasm), u tarmoqdan elektr energiyani oladi va uni mexanik energiyaga aylantirib beradi. Bu jarayonda motorda energiya isroflari bo'ladi. Asinxron motor tarmoqdan aktiv quvvatni oladi.

$$P_1 = m_1 \cdot I_1 \cdot U_1 \cdot \cos \varphi_1 \quad (4.2)$$

Bu quvvatning bir qismi stator chulg'amidagi elektr isroflari P'_{e1} ni va stator po'lat o'zagidagi magnit isroflari P'_{m1} ni qoplashga sarf bo'ladi:

$$P'_{e1} = m_1 \cdot I_1^2 r_1 \quad (4.3)$$

Aylanma magnit maydon vositasida rotorga elektromagnit quvvat Rem uzatiladi:

$$P_{em} = P_1 - P'_{e1} - P'_{m1} \quad (4.4)$$

Elektromagnit quvvatning bir qismi rotor zanjiridagi elektr isrofi (P_{e2})ni qoplash uchun sarflanadi:

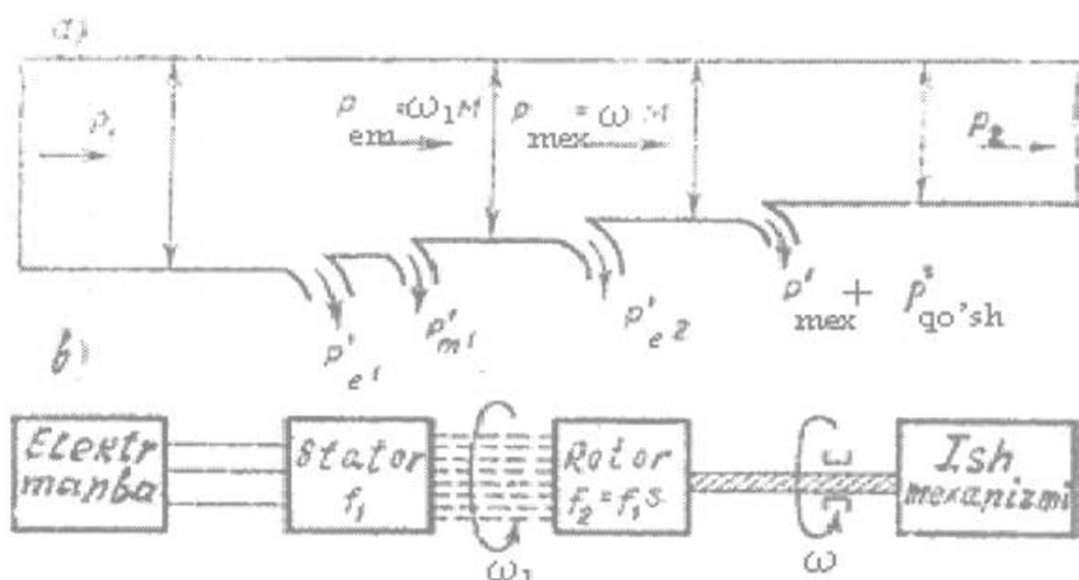
$$P'_{e2} = m_2 \cdot I_2^2 r_2 = m_1 \cdot (I'_2)^2 r'_2 \quad (4.5)$$

Elektromagnit quvvat Rem ning qolgan qismi esa to'la mexanik quvvat $P_{2(mex)}$ ga aylanadi:

$$P_{2(mex)} = P_{em} - P'_{e2} \quad (4.6)$$

Motor ishlaganda podshipniklarning ishqalanishi va aylanuvchi qismlarining havoda ishqalanishi oqibatida ham quvvat isrofi bo'ladi.

Bundan tashqari tarqoq magnit oqimlari, stator va rotor po'lat o'zagi tishlarida hamda yaxlit po'lat qismlarida magnit maydonning o'zgarib turishi natijasida ham qo'shimcha quvvat isroflari bo'ladi.



4.5-rasm. Asinxron motorning energetik diagrammasi.

Asinxron motorning to'la mexanik quvvati P_2 mexanik isrof P'_{mex} va qo'shimcha $P'_{qo'sh}$ isroflarni ayirib, motor orqali ishchi mexanizmga uzatilayotgan foydali quvvat P_2 aniqlanadi.

$$P_2 = P_{mex} - (P'_{mex} + P'_{qo'sh}). \quad (4.7)$$

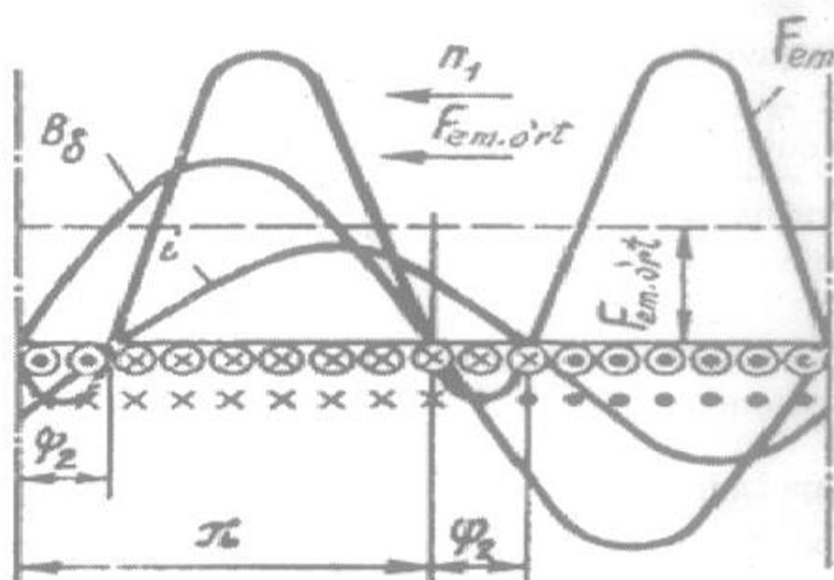
4.3-§. Asinxron mashinaning elektromagnit momenti

Elektromagnit momentni ikki xil yo'l bilan, ya'ni: a) elektromagnit kuchlar va b) elektromagnit quvvat orqali aniqlash mumkin. Quyida shularni alohida ko'rib chiqamiz.

Elektromagnit momentni elektromagnit kuchlar orqali aniqlash. Asinxron mashinaning elektromagnit momenti rotor chulg'ami o'tkazgichlaridan o'tadigan tok aktiv tashkil etuvchisi ($I_2 \cos \psi_2$) ning stator chulg'ami hosil qilgan aylanma maydon, ya'ni magnit oqim Φ_{max} bilan ta'sirlashib Amper qonuniga asosan elektromagnit kuch $F_{em} = B \delta l$ vujudga keladi (4.6.-rasm). Bu kuch hosil qilgan elektromagnit moment quyidagicha aniqlanadi:

$$M = C_M \Phi_{max} I_2 \cos \psi_2, \quad (4.8)$$

bunda: $C_M = r \cdot m_2 \cdot k_{ch.2} / \sqrt{2}$ – o'zgarmas kattalik; Φ_{max} – magnit oqimning maksimal qiymati.



4.6-rasm. Mashina avo oralining magnit induksiyasi (B), rotor chulg'ami toki (i) va asinxron mashina chulg'amlari o'tkazgichlariga ta'sir qiladigan elektromagnit kuch (F_{em}) larning taqsimlanish egri chiziqlari.

(4.8.) formula faqatgina asinxron mashinalar uchungina to'g'ri bo'lib qolmay, balki elektr mashinalarining barcha turlari uchun ham to'g'ridir. Bu formula moment qiymatining motorda sodir bo'ladigan fizik hodisalar orasidagi bog'lanishni o'rnatadi. Undan motorning har xil rejimlardagi ish jarayonini sifat jihatdan tahlil qilishda foydalanish qulay hisoblanadi. Lekin bu formulaga kirgan (Φ_{max} , I_2 va $\cos\psi_2$) kattaliklar to'g'ridan-to'g'ri tarmoq kuchlanishi va mashinaning ish rejimi bilan bog'lanmagan, ularni tajribada aniqlash esa ancha murakkabdir. Shu sababli quyida elektromagnit (aylantiruvchi) momentning qiymatini eng oddiy aniqlash, unga mashinaning har xil parametrlari va ekspluatatsion rejimlarining ta'sirini hisobga olish imkonini beradigan boshqa formulasi keltirib chiqarilgan.

Elektromagnit momentni elektromagnit quvvat orqali aniqlash
Energetik diagrammadan (4.5.-rasm) aniqlangan elektromagnit (P_{em}) va mexanik quvvat (P_{mex})larni elektromagnit moment orqali ifodalaymiz:

$$P_{em} = M \omega_1; \quad P_{mex} = M \omega, \quad (4.9)$$

bu yerda: $\omega_1 = (2\pi \cdot n_1 / 60) \cdot (r/r) = (2\pi/p) \cdot (p \cdot n_1 / 60) = 2\pi \cdot f/p$ va $\omega = 2\pi \cdot n / 60$ tegishli statordagi aylanma magnit maydonning va rotorning burchak tezliklari.

(4.9) ga asosan elektromagnit moment quyidagiga teng bo'ladi:

$$M = \frac{P_{em}}{\omega_1} \quad (4.10)$$

Demak, asinxron motorning elektromagnit momenti, uning elektromagnit quvvatiga mutanosib bo'lar ekan.

Energetik diagrammadan foydalanib rotor chulg'amidagi isroflarni aniqlashning quyidagi ifodalarini yozish mumkin:

$$P'_{e2} = P_{em} - P_{mex} \quad (4.11)$$

yoki

$$P'_{e2} = M\omega_1 - M\omega = M(\omega_1 - \omega) \quad (4.12)$$

(4.12) fomulaning o'ng tomonini $\frac{\omega_1}{\omega}$ nisbatga ko'paytirib quyidagini olamiz:

$$P'_{e2} = M\omega_1 \cdot s. \quad (4.13)$$

(4.13) formuladan quyidagiga ega bo'lamiz:

$$M = P'_{e2} / (\omega_1 \cdot s) = m_1 (I'_2)^2 \cdot r'^2 / (\omega_1 s), \quad (4.14)$$

ya'ni asinxron motorning elektromagnit momenti rotor chulg'amida elektr isroflari quvvatiga mutanosib bo'lar ekan.

Agar G-simon almashtirish sxemasidan foydalanib aniqlangan rotor toki I'_2 ning qiymatini (4.14) ga qo'yib, ($\omega_1 = 2\pi \cdot f_1 / p$) ni ham hisobga olgan holda asinxron mashinaning elektromagnit momentini aniqlash formulasining umumiy ko'rinishiga ega bo'lamiz:

$$M = (m_1 p U_1^2 r'_2) / \{ (2\pi \cdot f_1 \cdot s) \cdot [(r_1 + r'_2/s)^2 + (x_1 + x'_2)^2] \} \quad (4.15)$$

(4.15) formuladan quvvati $P > 10$ kW bo'lgan asinxron motorlar uchun moment M ni hisoblashda almashtirish sxemadagi kompleks son $s_1 \approx 1$ deb qabul qilingan. Elektromagnit momentni hisoblashda ko'proq aniqlik talab qilinganda kompleks son s_1 hisobga olingan (4.15) ifoda quyidagicha yoziladi:

$$M = (m_1 p U_1^2 r'_2) / \{ (2\pi \cdot f_1 \cdot s) \cdot [(r_1 + s_1 r'_2/s)^2 + (x_1 + s_1 x'_2)^2] \} \quad (4.15,a)$$

bu yerda, $s_1 \approx 1,02 \div 1,05$ – quvvati $P \leq 10$ kW bo'lgan asinxron motor uchun (4.15) va (4.15,a) larda sirpanish s dan boshqa hamma kattaliklar o'zgarmas hisoblanib, u o'qdagı mexanik yukka mutanosib ravishda o'zgaradi.

4.4-§. Asinxron mashinaning mexanik xarakteristiklari va asinxron motorning turg'un ishlash shartlari

Ko'rilayotgan asinxron mashinani ideal mashina deb hisoblab, undagi mexanik isroflar (qiymati kichikligidan) e'tiborga olinmasa, elektromagnit moment M o'qdagi moment M_y ga teng deb hisoblangan holda, quyidagi tahlillarda «elektromagnit moment M » tushunchasi o'rniga asosan «aylantiruvchi moment M » tushunchasi ishlatiladi.

Stator chulg'amiga beriladigan kuchlanish $U_1 = U_{1n}$ bo'lgandagi $M = f(n)$ yoki $M = f(s)$ ko'rinishdagi bog'lanishga asinxron motorning mexanik xarakteristikasi (4.7,a-rasm) deyiladi.

Aylantiruvchi momentning sirpanishga bog'liqligi (yoki mexanik xarakteristika) $M = f(s)$. Mexanik xarakteristikani qurish uchun (4.15,a) formuladan foydalanish mumkin.

$$M = (m_1 p U_1^2 r_2') / \{ (2\pi f_1 s) \cdot [(r_1 + s_1 r_2' / s)^2 + (x_1 + s_1 x_2')^2] \}$$

Sirpanish s ga qiymatlar berib, parametrlari ma'lum bo'lgan asinxron motor uchun izlangan mexanik xarakteristikani qurish mumkin (4.7,a-rasm).

Maksimal momentga to'g'ri keladigan sirpanishni kritik sirpanish s_{kr} deyiladi. Uning qiymatini aniqlash uchun (parametrlari o'zgaras deb hisoblangan holda) momentdan sirpanish bo'yicha birinchi hosila olib, uni nolga tenglaymiz (ya'ni $dM/ds = 0$), bunda umumiy hol uchun quyidagi natijaga ega bo'lamiz:

$$s_{kr} = \pm c_1 r_2' / \sqrt{r_1^2 + (x_1 + c_1 x_2')^2} \quad (4.16)$$

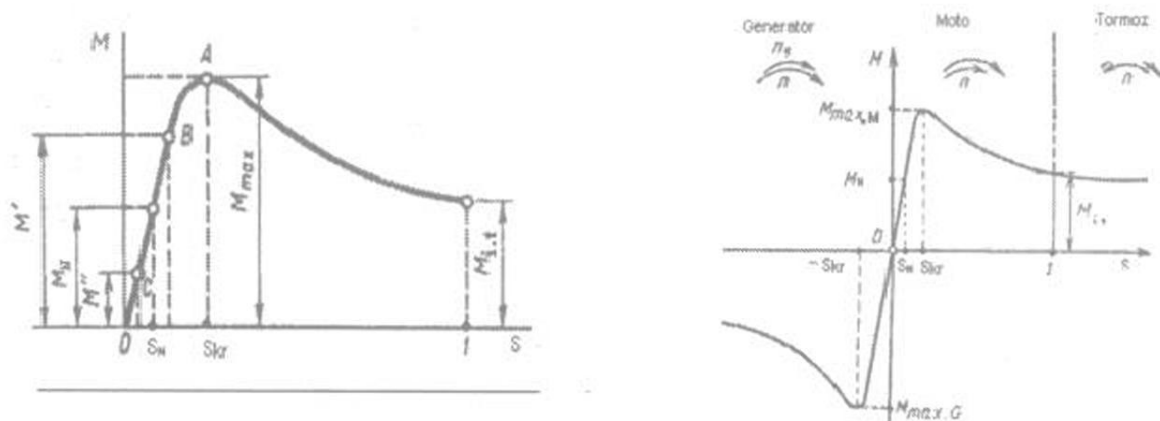
Agarda $c_1 \approx 1$ va qiymati ancha kichikligidan $r_1 \approx 0$ deb olinsa, u holda kritik sirpanish s_{kr} ni aniqlash formulasi quyidagi ko'rinishga ega bo'ladi:

$$s_{kr} = \pm r_2' / (x_1 + x_2') = \pm r_2' / x_{q1}, \quad (4.16,a)$$

Maksimal (kritik) moment M_{max} ning qiymatini aniqlash uchun (4.16) dan s_{kr} ning qiymatini (4.15,a) ga qo'yib hisoblanadi:

$$M_{max} \approx \pm (1/2) m_1 p \cdot U_1^2 / \{ 2\pi f_1 \cdot c_1 \cdot [\pm r_1 + \sqrt{r_1^2 + (x_1 + c_1 x_2')^2}] \}, \quad (4.17)$$

(4.16), (4.16,a) va (4.17)larda musbat (+) ishora motor rejimiga, manfiy (-) ishora esa generator rejimiga tegishli (4.7,b-rasm).



4.7-rasm. Asinxron mashinaning motor, generator va elektromagnit tormoz rejimlari uchun mexanik xarakteristiklari (a, b) - $M_q f(s)$.

Umumiy maqsadli asinxron mashinalar uchun stator chulg'aming aktiv qarshiligi induktiv qarshiliklar yig'indisidan ancha kichik [$r_1 \ll (x_1 + x_2)$], ya'ni taxminan 10÷12 foizini tashkil qiladi xolos] bo'lganligidan $r_1 \approx 0$ deb hamda $s_1 \approx 1$ ekanligini e'tiborga olgan holda $M_{\max}$ ni aniqlashning soddalashgan ifodasiga ega bo'lamiz:

$$M_{\max} \approx \pm(1/2) m_1 \cdot p \cdot U_1^2 / [2\pi f_1 \cdot (x_1 + x'^2)], \quad (4.17, a)$$

(4.17) ifodaning tahlili shuni ko'rsatadiki, asinxron mashina generator rejimda ishlaganida uning maksimal momenti $M_{\max, G}$ motor rejimdagi maksimal momenti $M_{\max, M}$ ga nisbatan kattaroq bo'ladi. Bunga sabab, generator rejimda (4.17) ning maxrajidagi r_1 ning ishorasi minus « - » olinib kasrning maxrajidagi son motor rejimdagiga nisbatan kichikroq bo'lganligidandir. Asinxron motorning maksimal momenti tarmoq kuchlanishi kvadratiga mutanosib ekan, ya'ni $M \propto U_1^2$. Bu esa uning kamchiligi hisoblanadi, chunki kuchlanish, masalan, 10% ga kamaysa elektromagnit moment $M' = 0,92 \cdot M = 0,81 \cdot M_n$ ga, ya'ni 19 % ga kamayadi.

Asinxron motor maksimal momentining karraligi $K_M = \frac{M_{\max}}{M_n}$ standart tomonidan qat'iy belgilangan bo'ladi, ya'ni $k_M \geq 1,8$. Ayrim maxsus asinxron motorlarda k_M ning qiymati 3,0 gacha yetadi. Bu koeffitsiyent asinxron motorning o'ta yuklanish qobiliyatini xarakterlaydi.

(4.16) va (4.17) formulalarning tahlilidan quyidagi muhim xulosalar qilish mumkin:

- 1) kritik sirpanish s_{kr} rotor zanjirining aktiv qarshiligi r'_2 ga mutanosib ravishda o'zgaradi;
- 2) maksimal moment $M_{\max}$ ning qiymati rotor zanjiri aktiv qarshiligi r'_2 ga bog'liq emas;

3) asinxron motorning maksimal momenti $M_{\max}$ va o'ta yuklanish qobiliyati k_M asosan stator va rotor chulg'amlari tarqoq induktiv qarshiliklari (tegishlicha x_1 va x'_2)ga teskari mutanosibda bo'ladi;

4) maksimal moment $M_{\max}$ har qanday sirpanishdagi moment singari U_1^2 ga mutanosibdir, ya'ni berilayotgan kuchlanish kamayganda motorning o'ta yuklanish qobiliyati pasayadi.

$M=f(s)$ —mexanik xarakteristikaning motor rejimda o'zgarish xarakteri quyidagicha tushuntiriladi. Yuk momenti salt ishlash rejimidan oshirilsa, sirpanish s oshadi. Bunda aktiv-induktiv xarakterli rotor zanjiri qarshiligidan o'tadigan tok I'_2 ni va uning shu zanjirdagi EYuK E'_2 dan orqada qoluvchi ψ_2 burchakni hisoblash formulalariga:

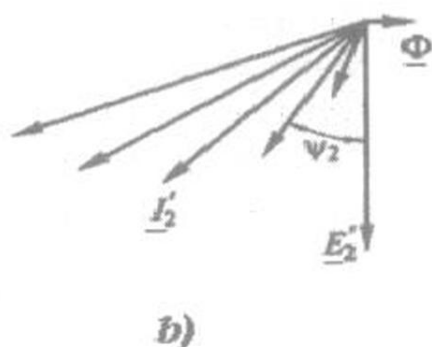
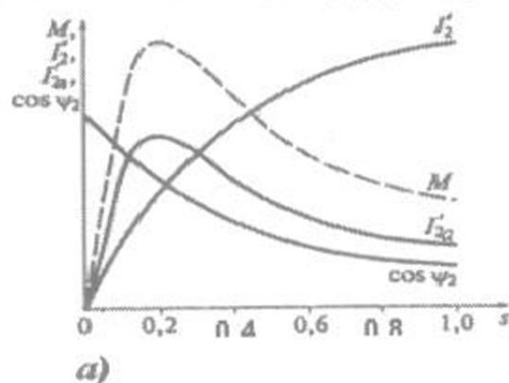
$$I_2 = s \cdot E'_2 / (r_2 + jsx_2) = E'_2 / (r_2/s + jx_2), \quad (4.18)$$

$$\psi_2 = \arctg(x_2 s / r_2) = \arctg(s \cdot x_2 / r_2) = \arctg(x_2 / (r_2/s)) \quad (4.19)$$

asosan rotor toki I_2 va faza siljish burchagi ψ_2 oshadi, $\cos \psi_2$ esa kamayadi.

Sirpanish osha borgan sari rotor tokining induktiv xarakteri tobora osha boradi, uning aktiv tashkil etuvchisi esa avo'q (ψ_2 kichik paytda) oshib, so'ngra (umumiy tokning oshishidan qat'iy nazar) kamaya boradi (4.8, b-rasm), chunki EYUK E_2 va tok I_2 orasidagi siljish burchak ψ_2 oshadi.

$M=f(s)$ bog'lanishning o'zgarish xarakterini asinxron motorning ishlash prinsipidan kelib chiqqan holda analitik yo'l bilan ham isbotlash mumkin, ya'ni (4.7) ga asosan uning elektromagnit momenti ishchi oqim Φ va rotor tokining aktiv tashkil etuvchisi I'_{2a} larning ko'paytmasiga mutanosibdir. Bundan, $\Phi = \text{const}$ bo'lganda mexanik xarakteristikaning o'zgarish xarakteri $I'_{2a}=f(s)$ grafigi bilan aniqlanar ekan.



4.8-rasm. Asinxron motorning mexanik xarakteristikasi o'zgarish shaklini tushuntirishga oid chizma (a) va uning o'qidagi yuk o'zgarganda rotor tokining vektor diagrammasi (b).

Ishga tushirish momenti. Asinxron motorning stator chulg'omini elektr tarmog'iga ulab ishga tushirish paytdagi momenti $M_{i.t}$ ni aniqlash

uchun (1.15,a) formulaga sirpanish $s = 1$ qo'yiladi, natijada quyidagi ifodaga ega bo'lamiz:

$$M_{i,t} = (pm_1 U_1^2 r_2') / [(r_1 + s_1 r_2')^2 + (x_1 + s_1 x_2')^2] \quad (4.20)$$

Bundagi o'rta qavs ichidagi qarshiliklar $r_{2qt} + x_{2qt} = z_{2qt}$ ekanligini hisobga olib ishga tushirish momentining quyidagi ifodasini olamiz:

$$M_{i,t} = (pm_1 U_1^2 r_2') / (2\pi f_1 \cdot z_{2qt}) = rm_1 / (2\pi f_1) \cdot I_{i,t}^2 \cdot r_2' \quad (4.21)$$

bunda, $I_{i,t}$ – sirpanish $s = 1$ bo'lgandagi ishga tushirish toki.

(4.21) dan ko'rinishicha, motorning ishga tushirish momenti asosan ishga tushirish tokining kvadrati $I_{i,t}^2$ ga mutanosib bo'lar ekan. Undan tashqari zarurat tug'ilganda qisqa tutashgan rotorlida «olmaxon katagi» tipidagi chulg'amni qarshiligi oshirilishi mumkin bo'lgan maxsus konstruksiyada ishlab chiqarish, faza rotorlida esa rotor chulg'amiga qo'shimcha aktiv qarshilik ulash yo'li bilan ishga tushirish momentini oshirish mumkin ekan.

Standartning talabi bo'yicha asinxron motor nominal yukda ishga tushishi uchun quyidagi shart bajarilishi, ya'ni ishga tushirish momentining karraligi $k_{i,t} = \frac{M_{i,t}}{M_{max}} \geq 1$ bo'lishi kerak.

Mexanik xarakteristikani katalog qiymatlari yordamida qurish. (4.7) formulaga asosan asinxron motorning elektromagnit momenti quyidagiga teng:

$$M = P_{e2}' / (\omega_1 s) = m_2 \cdot I_2'^2 \cdot r_2 / (\omega_1 s) = m_2 \cdot s E_2'^2 \cdot r_2 / [\omega_1 (r_2'^2 + s^2 x_2'^2)]. \quad (4.22)$$

Motor o'qidagi mexanik yukning o'zgarishi bilan magnit oqim o'zgarmaydi, shu sababli $E_2 \approx \text{const}$ deb hisoblash mumkin. (4.15) formuladan topilgan momentdan sirpanish bo'yicha birinchi hosila olgandan keyin, uni 0 ga tenglab ($dM/ds = 0$), kritik sirpanish s_{kr} ni topish mumkin, ya'ni $s_{kr} = \pm r_2' / x_2'$. U holda maksimal moment quyidagiga teng bo'ladi:

$$M_{max} = \pm m_2 E_2'^2 / (2\omega_1 x_2') \quad (4.23)$$

(4.22) ni (4.23) ga bo'lib ixchamlashtirishdan keyin nisbiy birliklarda hisoblashga qulay bo'lgan quyidagi soddalashtirilgan formulaga ega bo'lamiz:

$$M / M_{max} \approx 2 / (s_{kr} / s + s / s_{kr}). \quad (4.24)$$

Bu formulani Kloss formulasi deyiladi va u ba'zan amaliyotda taxminiy hisoblar uchun qo'llaniladi.

(4.24) formula bo'yicha hisoblashda aniqlik past bo'ladi, chunki stator chulg'amidagi kuchlanish pasayishini hisobga olmaydi. Ammo asinxron motorning bitta rejimini tekshirishda, ya'ni sirpanishning kichik qiymatlarida ($s=0$ dan s_{kr} gacha) magnit oqim juda kam o'zgaradi va bu formula amaliyotda dastlabki tahlil uchun tezkor natijani beradi.

Asinxron motorning turg'un ishlash shartlari. Motor ishinin turg'unligi deb o'qidagi mexanik yukning qisqa muddat ichida keskin oshishi va stator chulg'amiga berilayotgan tarmoq kuchlanishi qiymatining kamayishida barqaror aylanish chastotasini tiklay olish qobiliyatiga aytiladi.

Mexanikadan ma'lumki, motor rotoriga qo'yilgan momentlarning muvozanat tenglamasi quyidagicha yoziladi:

$$M = M_{st} - J \cdot d\omega/dt, \quad (4.25)$$

bu yerda: M – motorning elektromagnit momenti; $M_{st}=M_0+M_2$ – o'qdagi teskari ta'sir etuvchi statik moment; $J \cdot d\omega/dt$ – aylanuvchi massalar inersiyasi J va rotorning tezlanishi $d\omega/dt$ larga bog'liq bo'lgan dinamik moment. $M = M_{st}$ bo'lganda rotor tezlanishi 0 ga teng:

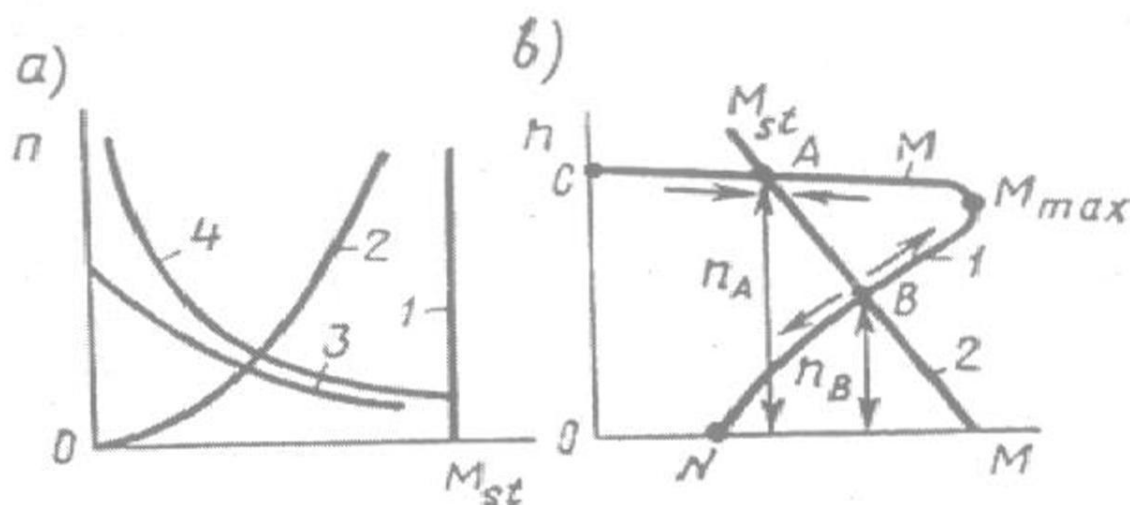
$$\frac{d\omega}{dt} = \frac{(M - M_{st})}{J} = 0, \quad (4.26)$$

ya'ni rotor barqaror chastotada aylanadi. Agar $M > M_{st}$ bo'lsa, rotorning aylanish chastotasi tezlashadi, $M < M_{st}$ bo'lganda esa – sekinlashadi.

Turg'unlik asinxron motor ishlayotgan aniq shartlarga bog'liq bo'ladi, xususan, motorning va u yuritayotgan ishlab chiqarish mexanizmlari mexanik xarakteristikalarining o'zgarish shakliga bog'liq bo'ladi.

Aylanish chastotaning oshishi bilan yuk momenti M_{st} kamayadigan (4.9,b-rasmda, 2 mexanik xarakteristika) ishlab chiqarish mexanizmini yuritayotgan asinxron motorning ishini ko'rib chiqamiz. Bu holda $M = M_{st}$ sharti A va B nuqtalarda aylanish chastotalari mos ravishda n_A va n_B bo'lganda bajariladi. Ammo B nuqtada motor turg'un ishlay olmaydi, chunki yuk momenti M_{st} ozgina o'zgarganda aylanish chastotasi barqaror qiymatidan og'ishi natijasida bu farqni oshiradigan ortiqcha sekinlashtiruvchi yoki tezlashtiruvchi moment $\pm (M - M_{st})$ vujudga keladi. Masalan, tasodifan statik moment M_{st} oshganda motor rotorining aylanish chastotasi n kamayadi. Mashina 1 mexanik xarakteristika ($M_{max} - n_0$ qismi)ning «B» nuqtasida ishlaganida elektromagnit moment M ning

kamayishiga, demak, $M - M_{st}$ ayirmaning oshishiga olib keladi, natijada rotorning sekinlashishi uning to'la to'xtagunicha davom qiladi.



4.9-rasm. Ba'zi bir ishlab chiqarish mexanizmlarining mexanik xarakteristikalari (a): 1 - yuk ko'tarish mexanizmlari (kran, lift); 2 - ventilyatorlar, markazdan qochirma nasoslar; 3 - beton qorgichlar, sharli tegirmonlar; 4 - tortish mexanizmlari (elektrovoz, teplovoz, tramvay, metro), b) Elektr motorlar mexanik xarakteristikalari.

Agar statik moment M_{st} tasodifan kamaysa, rotorning aylanishi tezlashadi va elektromagnit moment yana oshadi. Bu jarayon mexanik xarakteristikasi (1)ning «A» nuqtasida $M=M_{st}$ muvozanat hosil bo'lgunga qadar shunday davom etadi. Bu nuqtada rejim turg'un bo'ladi, chunki bu holda tasodifan M_{st} oshsa va rotorning aylanish chastotasi n kamaysa motorning elektromagnit momenti M oshib, yuk momenti M_{st} ning yangi qiymatiga teng bo'lganda yana barqaror ishlaydi, lekin bunda aylanish chastota bir oz kam bo'ladi.

Shunday qilib, asinxron motor mexanik xarakteristikaning $C - M_{max}$ qismida ishlaganida ichki o'z-o'zini rostlash xossasiga ega bo'lib, uning aylantiruvchi momenti $M=M_{st}$ qonuni bo'yicha avtomatik rostlanadi (bunday rostlash statik rostlash sistemaga xos).

Asinxron motorning turg'un ishlash shartlari quyidagilardan iborat:

1. Agar rotorning aylanish chastotasi n ning oshishida statik moment M_{st} , momentning aylantiruvchi momenti M ga nisbatan sekin kamaysa, motorning ishi turg'un bo'ladi. Bu shart quyidagi tengsizlik ko'rinishida ifodalanadi:

$$dM/dn < dM_{st}/dn. \quad (4.27)$$

Bu shart $M_{st}=f(n)$ xarakteristikasi kamayuvchi bo'lgan, barcha mexanizmlar uchun bajariladi, demak, sirpanish $0 < s < s_{kr}$ oraliqda o'zgarganda asinxron motor turg'un ishlaydi. Lekin, shuni ta'kidlash lozimki, rotor chulg'amidagi isroflar sirpanishga mutanosib bo'ladi, shu tufayli asinxron motorning iqtisod nuqtai nazaridan normal ishi sirpanishning kam qiymatlarida bo'lishligidir.

2. Amaliy jihatdan (4.27) shart zaruriy hisoblanib, lekin yetarli emas. Asinxron motorni ekspluatatsiya qilish jarayonida qisqa muddatli yuk momentining o'zgarishi faqat kichik bo'lmasdan, uning ish rejimida keskin o'zgaradigan katta qiymatli yuk momenti ham sodir bo'lib turadi. Bunday holda motorning sirpanishi s_{kr} dan kam bo'lib, lekin unga yaqin sirpanishda ishlayotganda tasodifan katta yuk qo'yilsa, unda $M_{st} > M_{em}$ bo'lib uning to'xtashiga olib keladi. Shuning uchun asinxron motorning maksimal momentini ayrim hollarda barbod qiluvchi moment deyiladi.

Katta ortiqcha yuklanishlarda motor ishining turg'unligini nominal momentni $M_n < M_{max}$ qilib tanlash bilan ta'minlanadi. Maksimal momentning karraligi yoki o'ta yuklanish bilan ishlash qobiliyati $K_M = \frac{M_{max}}{M_n}$ standart tomonidan belgilanadi. Umumiy maqsadli asinxron motorlar uchun $k_M = 1,7 \div 2,5$ oraliqda bo'ladi.

3. Asinxron motorlarning turg'un ishlashini ta'minlash uchun elektr ta'minotining sifati katta ahamiyatga egadir. Asinxron motorning aylantiruvchi momenti unga berilayotgan kuchlanishning kvadratiga bog'liq bo'ladi. Shuning uchun, hatto kuchlanishning ozgina kamayishi ham maksimal momentga ta'sir qiladi, kuchlanish nisbatan ko'proq kamayganda (masalan, $U_1 = 0,7 \cdot U_n$ bo'lganda) esa motorning nominal yuk bilan ishlashi mumkin bo'lmay qoladi, chunki bu holda aylantiruvchi moment $M \equiv U_1^2 = 0,49$, ya'ni elektromagnit moment taxminan 2 marta kamayadi va motor nominal yukda ishlashi mumkin bo'lmay qoladi.

4.5-§. Uch fazali asinxron motorlarni ishga tushirish

Asinxron motor ishga tushirilganda, quyidagi asosiy talablar bajarilishi lozim:

Motorni ishga tushirish mumkin qadar oson va qo'shimcha qurilmalarsiz bajarilishi lozim, ishga tushirish momenti yetarli darajada katta, ishga tushirish toki esa mumkin qadar kichik bo'lishi lozim.

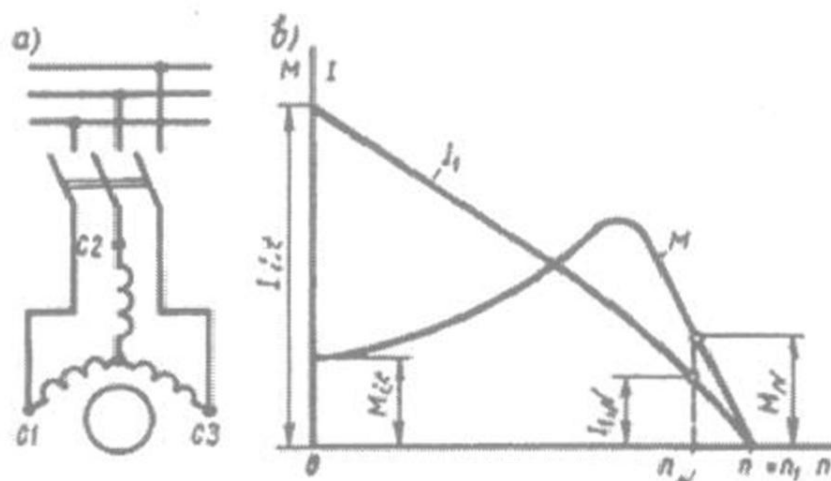
Uch fazali asinxron motorlarni ishga tushirishda amalda quyidagi usullar qo'llaniladi. Stator chulg'amlarini to'g'ridan-to'g'ri tarmoqqa ulash, stator chulg'amiga pasaytirilgan kuchlanish berib va rotor

chulg'amiga reostatni ulab ishga tushirish (oxirgisi faza rotorli motorlarda).

To'g'ridan-to'g'ri tarmoqqa ulab ishga tushirish. Kichik va o'rta quvvatli qisqa tutashgan rotorli asinxron motorlar ana shunday usul bilan ishga tushiriladi. Bunda motorning stator chulg'ami yetarli darajadagi quvvatga ega bo'lgan elektr tarmog'iga magnit ishga tushirgich yoki oddiy ulagich yordamida qo'shiladi va uning tezligi tabiiy mexanik xarakteristikasi bo'yicha o'sib boradi. Ishga tushirish momenti $M_{i,t}$ quyidagicha topiladi (ishga tushirish paytida $s = 1$ bo'ladi):

$$M_{i,t} = (m_1 U_1^2 \cdot r'_2) / \{ \omega_1 [(r_1 + r'_2)^2 + (x_1 + x'_2)_2] \} \quad (4.28)$$

Ishga tushirish toki $I_{i,t}$ ancha katta bo'lsa ham motor uchun xavfli bo'lmaydi, chunki ishga tushirish qisqa vaqt ichida kechadi.



4.10-rasm. Qisqa tutashgan rotorli asinxron motorni to'g'ridan-to'g'ri tarmoqqa ulab ishga tushirish sxemasi (a) va bunda tok I_1 va aylantiruvchi moment M ning o'zgarish graflari (b).

Ishga tushirish tokining nominal tokdan 5÷7 marta katta bo'lishi va ishga tushirish momentining uncha katta bo'lmasligi bu usulning kamchiligi hisoblanadi.

Motoring stator chulg'amini to'g'ridan-to'g'ri elektr tarmog'iga ulab ishga tushirish yuqoridagi kamchiliklarga ega bo'lishidan qat'iy nazar, u sodda, arzon va energetik ko'rsatkichlari (η , $\cos\phi_1$) kattadir.

Tarmoq kuchlanishini pasaytirib ishga tushirish. Bunday usul bilan quvvati katta bo'lgan qisqa tutashgan rotorli asinxron motorlar ishga tushiriladi. Tarmoq kuchlanishini pasaytirish usullari quyidagidan iborat:

a) stator chulg'amini yulduz usulidan uchburchak usuliga o'tkazish yo'li bilan ishga tushirish. Asinxron motorni bunda stator chulg'ami

fazalariga berilayotgan kuchlanish $\sqrt{3}$ marta kamayadi, xuddi shuningdek faza toklari ham $\sqrt{3}$ marta kamayadi, tarmoq toklari esa 3 marta kamayadi. Stator chulg'amlarining ulanish sxemasini o'zgartirish 3 fazali kontaktor yoki ulagich yordamida amalga oshiriladi (4.11,a-rasm).

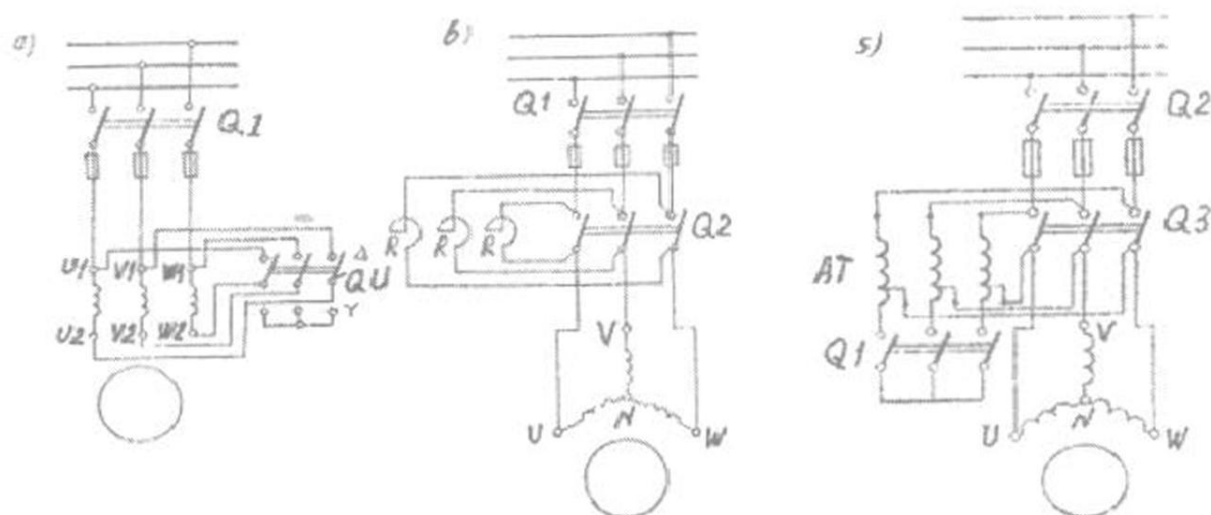
b) asinxron motorni reaktor yordamida ishga tushirish. Bunday usul bilan ishga tushirishda (4.11,b-rasm) reaktiv qarshiliklarda ishga tushirish tokiga to'g'ri mutanosiblikda bo'ladigan kuchlanish pasayishi ΔU vujudga kelib, stator chulg'amlariga pasaygan kuchlanish U_{Iros} beriladi. Bu kuchlanishning qiymati quyidagicha topiladi:

$$U_{Iros} = U_1 - j I_1 x_r, \quad (4.29)$$

bunda, x_r – ishga tushirish reaktiv qarshiligi.

Bu kuchlanish ta'sirida motorning rotori aylana boshlaydi. Motorning aylanish chastotasi oshib borgan sari rotor chulg'amida hosil bo'ladigan EYUK E_{2s} kamayib boradi, natijada ishga tushirish toki ham kamayadi.

Stator chulg'amlari bilan ketma-ket ulangan qarshiliklarda kuchlanish pasayishi ΔU kamayadi va motorning aylanish chastotasi oshgan sari unga berilayotgan kuchlanish U_1 avtomatik ravishda ko'payib boradi. So'ngra Q2 ulagich ulanadi va motorga tarmoq kuchlanishi U_1 beriladi, bunda motor nominal kuchlanish bilan ishlaydi.



4.11-rasm. Tarmoq kuchlanishini pasaytirib ishga tushirish sxemalari: stator chulg'amini yulduz ulanish sxemadan uchburchak ulanish sxemaga o'tkazish yo'li bilan ishga tushirish (a); stator chulg'amiga reaktor R (reaktiv qarshilik) ulab (b) yoki AT - avtotransformator yordamida kuchlanishni pasaytirib (s) ishga tushirish sxemalari (bularda: QU - qayta ulagich; Q1, Q2 va Q3 - ishga tushirish kontaktorlari).

v) asinxron motorni avtotransformator yordamida ishga tushirish (4.11,b-rasm). Dastlab Q3 ulagichning ulangan holatida Q1 ulagich qo'shiladi. Bunda motorning stator chulg'amiga avtotransformatordan pasaytirilgan kuchlanish (U_{1pas}) beriladi.

Bunda motorning dastlabki $M_{i,t}$ momenti quyidagicha topiladi:

$$M_{i,t} = M_{i,t,N_N} (U_1 / U_{1N})^2 \quad (4.30)$$

Ishga tushirish toki kamayadi va u quyidagi formula bo'yicha aniqlanadi

$$I_{i,t} = I_{i,t,N_N} (U_1 / U_{1N})^2 \quad (4.31)$$

Rotorning aylanish chastotasi oshgandan keyin Q3 ulagich uziladi va Q2 ulagich ulanadi. Shu tariqa stator chulg'amiga tarmoqning to'la kuchlanishi beriladi. Demak, avtotransformator yordamida tarmoqning kuchlanishi $(0,55 \div 0,73)U_{1n}$ gacha pasaytirilar ekan. Tarmoq kuchlanishini pasaytirib asinxron motorlarini ishga tushirishning yuqorida ko'rib o'tilgan usullarida ishga tushirish toki va momentning kichikligi ularning kamchiligidir.

Faza rotorli asinxron motorlarni ishga tushirish. Faza rotorli asinxron motorlar maxsus uch fazali ishga tushirish reostati yordamida ishga tushiriladi. Ishga tushirish toki quyidagi formula bilan aniqlanadi:

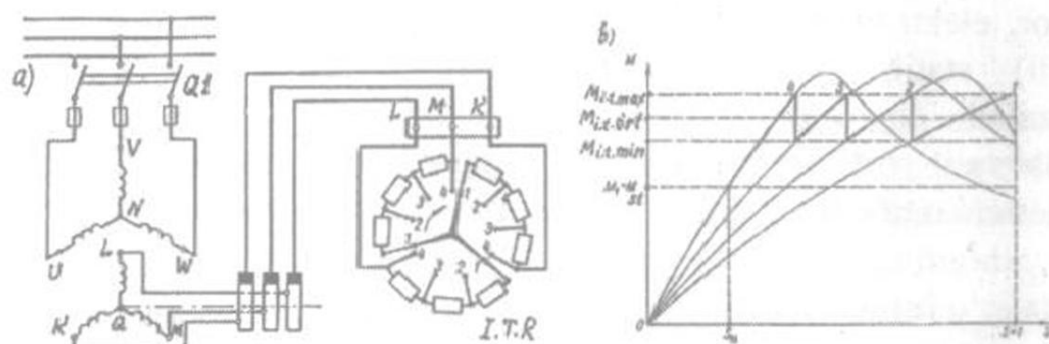
$$I_{i,t} = U_1 / \sqrt{(r'_{i,t} + r'_2 + r_1)^2 + (x_1 + x'_2)^2} \quad (4.32)$$

Ishga tushirish reostati rotor chulg'amiga ketma-ket ulanadi (4.12-rasm).

Uning yordamida rotor chulg'amining aktiv qarshiligi oshirilib, ishga tushirish toki kamaytiriladi, momenti esa oshiriladi.

Dastlab motor 1-xarakteristika bo'yicha ishga tushiriladi. Bu holda ishga tushirish reostatining qarshiligi $r_{i,t} = r_1 + r_2 + r_3$ bo'lib, aylantiruvchi moment maksimal momentga teng bo'ladi ($M = M_{max}$).

Motorning aylanish chastotasi oshib borgan sari aylantiruvchi moment M ham kamaya boradi va $M_{i,t,min}$ momentdan kichik ($M < M_{i,t,min}$) bo'ladi. $M = M_{i,t,min}$ bo'lganda ishga tushirish reostatining bir qismi (r_1) sxemadan chiqariladi. Bunda aylantiruvchi moment birdaniga $M_{i,t,max}$ qiymatga erishadi, so'ngra aylanish chastotasining oshishi bilan 2-xarakteristika bo'yicha o'zgaradi. Bu holda ishga tushirish reostatining qarshiligi $r_{i,t,2} = r_2 + r_3$ bo'ladi.



4.12-rasm. Faza rotorli asinxron motorni ishga tushirish sxemasi (a) va ishga tushirish momenti grafigini qurish (b); I.T.R - ishga tushirish reostati. (I_{20} : chulg'am uchlari yangi standart bo'yicha belgilangan).

Aylantiruvchi moment $M_{i.t.min}$ gacha kamayib boradi, shu vaqtda r_2 qarshilikni uzadilar, bunda motor 2-xarakteristika bo'yicha ishlaydi. Bunda ishga tushirish reostatining qarshiligi $r_{i.t.1} = r_3$ bo'ladi. Ishga tushirishning oxirida ishga tushirish reostati sxemadan butunlay chiqariladi va shu bilan rotorning chulg'amlari qisqa tutashtiriladi. Bu holda motor tabiiy xarakteristika (4) bo'yicha ishlaydi (4.12,b-rasm).

Faza rotorli motorlarni ishga tushirish va ular tuzilishining murakkabligi, qimmatligi va boshqalar bunday motorlarning kamchiligi hisoblanadi. Shu sababli faza rotorli motorlar asosan ishga tushirish sharoiti og'ir bo'lgan mexanizmlarda qo'llaniladi.

4.6-§. Uch fazali asinxron motorlarning aylanish chastotasini rostlash usullari

Asinxron motorlarning aylanish chastotasini rostlash muammosi muhim ekspluatatsion ahamiyatga ega. Sanoatning ayrim sohalarida motorlarning rostlash xarakteristikalariga juda yuksak (keng ko'lamda rostlanishi, bir tekis rostlanishi va iqtisodiy samarali bo'lishi kabi) talablar qo'yiladi.

Asinxron motorning aylanish chastotasi,

$$n = n_1(1 - s) = 60 f_1(1 - s) / p \quad (4.33)$$

bo'yicha aniqlanadi. Bundan ko'rinishicha, motorning aylanish chastotasini rostlash uchun unga berilayotgan kuchlanish chastotasi f_1 ni, juft qutblar soni p ni va sirpanish s ni o'zgartirish kerak ekan.

a) Kuchlanish chastotasini o'zgartirish yo'li bilan aylanish chastotani rostlash (chastotali rostlash). Motorning aylanish chastotasini bunday usul bilan rostlashda o'zgaruvchan aylanish chastotali sinxron

generator, elektr mashinali yoki boshqariladigan yarim o'tkazgich ventilli (tiristorli) statik (ya'ni aylanmaydigan) chastota o'zgartgichlardan foydalaniladi.

Chastotali rostlashning asosiy qonunini birinchi marta akademik M.P. Kostenko ta'riflab bergan va u quyidagi tenglama bilan aniqlanadi:

$$U'_1/U_1 = (f_1/f'_1) \sqrt{M'/M}, \quad (4.34)$$

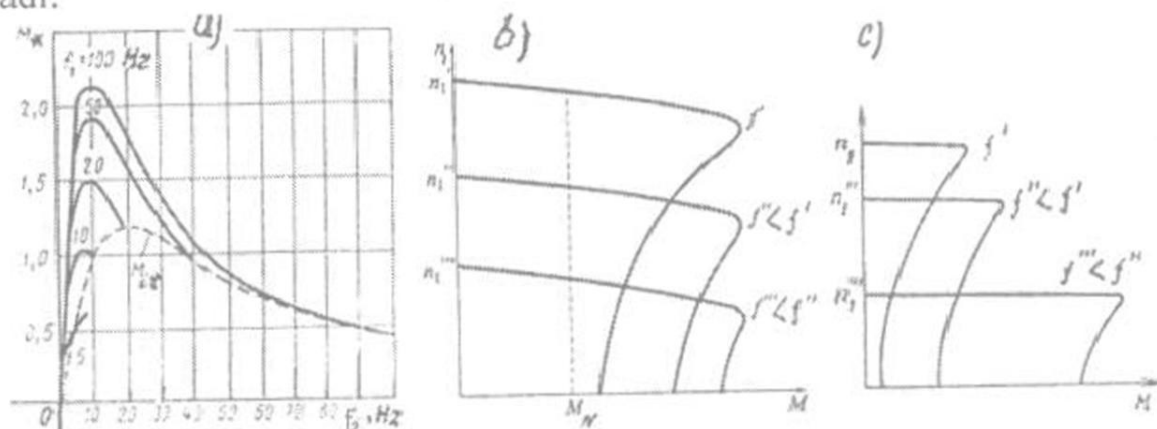
bunda: U_1 va M – f_1 chastotadagi kuchlanish va moment; U'_1 va M' – o'zgartirilgan f'_1 chastotaga mos keladigan kuchlanish va moment.

(4.34) ga binoan, motorning o'ta yuklanish qobiliyatini, quvvat ko'effitsiyentini va FIK ni talab qilingan qiymatda o'zgarmas holda saqlash uchun chastota f_1 ni o'zgartirish bilan bir vaqtda stator chulg'amiga berilayotgan kuchlanish U_1 ni ham o'zgartirish kerak ekan.

Agar motorning aylanish chastotasi yuk momenti o'zgarmas ($M=M'=\text{const}$) bo'lgan shartda rostlansa, unda motorga beriladigan kuchlanishni tok chastotasining o'zgarishiga mutanosib ravishda o'zgartirish zarur bo'ladi, ya'ni:

$$U'_1 = U_1 \cdot f_1/f'_1. \quad (4.35)$$

Bunda motorning quvvati aylanish chastotaning ko'payishiga mutanosib ravishda oshadi. Agar aylanish chastotani rostlash motor quvvati o'zgarmas ($P_{em}=M \cdot \omega_1=\text{const}$) bo'lgan shartda amalga oshirilsa, unda beriladigan kuchlanishni quyidagi qonunga mos o'zgartirish kerak bo'ladi:



4.13-rasm. Tok chastotasi f_1 ning har xil qiymatida motor aylanish chastotasini $U_1/f_1=\text{const}$ sharti bo'yicha rostlashdagi aylantiruvchi momenti M ning chastota f_2 ga nisbatan o'zgarish grafigi (a) hamda $Mq=\text{const}$ (b) va $P_2q=\text{const}$ (c) shartlar bajarilgandagi mexanik xarakteristikalar.

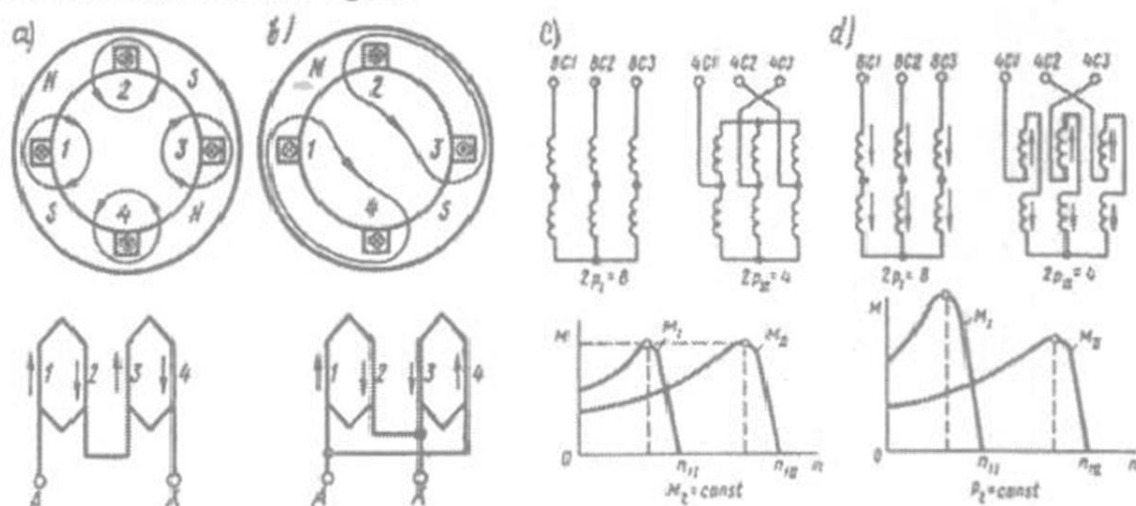
$$U'_1 = U_1 \cdot \sqrt{f'_1 / f_1} \quad (4.36)$$

Asinxron motorlarning aylanish chastotasini stator toki chastotasi f_1 orqali rostlashda uning energetik xarakteristikallari o'zgarmasdan qolishi va aylanish chastotaning bir tekis rostlanishi uning afzalligi bo'lsa, bu usulning murakkabligi va qimmatligi esa uning jiddiy kamchiligidir.

b) Motorning aylanish chastotasini juft qutblar sonini o'zgartirish bilan rostlash. Motorning aylanish chastotasi juft qutblar soniga teskari mutanosibda o'zgaradi. 4.14-rasmda stator chulg'amining juft qutblar sonini o'zgartirishning eng oddiy sxemasi keltirilgan.

Bu sxema bo'yicha stator chulg'amining qutblar soni ikki marta o'zgaradi. Bunda stator chulg'amining har bir fazasi ikkiga bo'linib, ketma-ket ulanishdan parallel ulanishga o'tkaziladi. 1 va 2, 3 va 4-g'altaklarning parallel ulanishi qutblar sonini ikki marta kamaytirib, motorning aylanish chastotasini ikki marta oshiradi. Agarda motorning aylanish chastotasini uch yoki to'rt karra oshirish kerak bo'lsa, u holda statorga qo'shimcha yana bitta chulg'am joylashtiriladi.

Qutblar soni o'zgartirilib, aylanish chastotasi rostlanadigan asinxron motorlarni ko'p tezlikli motorlar deyiladi. Bunday motorlarning rotori qisqa tutashgan bo'ladi. 4.14-rasmda stator chulg'ami qutblar soni 2:1 va 8:4 nisbatlarga o'zgaradigan sxemalar ko'rsatilgan. Bu rasmdagi «c» sxema $M_2 = \text{const}$, «d» sxema esa $P_2 = \text{const}$ hollar uchun qutblar sonini o'zgartiradi va motorning shu rejimlarga mos bo'lgan mexanik xarakteristikallari ko'rsatilgan.

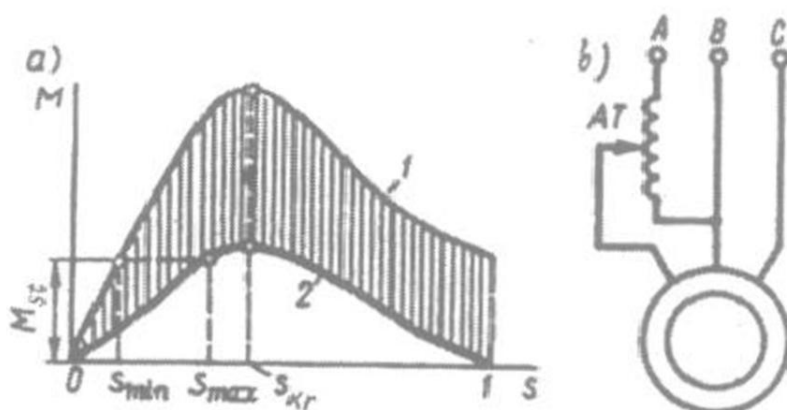


4.14-rasm. Motorning aylanish chastotasini juft qutblar sonini o'zgartirish sxema va grafiklari.

Stator faza chulg'amining qutblar sonini o'zgartirish uchun qayta ulash sxemasi: a - 2r q 4 da va b - 2r q 2 da uch fazali asinxron motor qutblar

sonini qayta ulash sxemalari hamda uning aylantiruvchi momenti $M_q = \text{const}$ (c) va aylanish chastotasi $n_q = \text{const}$ (d) rejimlarida mexanik xarakteristikalar ulanishi va chulg'am qadamiga bog'liq bo'ladi.

Katta o'lchamga ega bo'lish va tannarxining qimmatligi ko'p tezlikli motorlarning kamchiligi hisoblanadi. Bundan tashqari motorning aylanish chastotasini $f = 50 \text{ Gs} = \text{const}$ bo'lganda rostlash bir tekis bo'lmay pog'onali bo'ladi va motorning juft qutblar soni $r = 1; 2; 3; 4$ larda stator chulg'ami hosil qilgan aylanma magnit maydoni n_1 ning aylanish chastotasi 3000: 1500: 1000 : 750 nisbatda o'zgaradi.



4.15-rasm. Asinxron motorga beriladigan uch fazali kuchlanish sistemasi simmetrikligini o'zgartirib aylanish chastotani rostlashda mexanik xarakteristika (a), (bunda: 1 - simmetrik va 2 - nosimmetrik kuchlanishlarda) hamda b - tarmoqqa ulash sxemasi.

v) Sirpanishni o'zgartirish yo'li bilan asinxron motorning aylanish chastotasini rostlash. Sirpanish s ni o'zgartirish uchun stator chulg'amiga beriladigan kuchlanishni, uch fazali kuchlanish simmetrikligini va rotor zanjirining aktiv qarshiligini o'zgartirish kerak bo'ladi.

Motorga beriladigan uch fazali kuchlanish simmetrikligini o'zgartirish uchun uning bitta fazasiga avtotransformator ulab shu fazaning kuchlanish qiymati o'zgartiriladi. Bu holda teskari maydon ham vujudga kelib, natijaviy elektromagnit moment ($M = M_{to'g'} - M_{tes}$) kamayadi; bu esa sirpanish s ni o'zgartiradi (4.15-rasm). Aylanish chastotani rostlashning bu usuli faqat kam quvvatli asinxron motorlarda qo'llaniladi.

4.7-§. Kollektorli va kollektorsiz tortuv elektr mashinalarini umumiy taqqoslash

Kollektorli tortuv elektr motorlari o'zining yaxshi tortuv xususiyatlari va nisbatan yuqori texnik-iqtisodiy ko'rsatkichlari bilan birga muhim kamchiliklari mavjud, birinchi navbatda kollektor va ch'otka apparatlarining mavjudligidir.

Kollektorning mavjudligi ekspluatatsion mustahkamligini pasaytiradi, tortuv motori ta'mirini murakkablashtiradi va EHTning texnik ta'mirlash xarajatlarini oshiradi. Elektr tortishning rivojlanishi umumiy holda EHTni quvvatining ortishi bilan bog'liq (o'qlar sonining oshishi).

Kollektorli TEMlarining alohida quvvatini oshishi mashinaning komutatsion kuchlanganligi, kollektorning mexanik mustahkamligini va yakor chulg'aming mahkamlanishi, isish kuchlanganligi bilan chegaralanadi. O'zgaruvchan tok motori sifatida tortuv motori birinchi navbatda bir fazali past chastotali ($16\frac{3}{2}$ va 25 Gs) kollektorli va uch fazali kontakt tarmog'idan ta'minlanuvchi asinxron motorlardan foydalanilgan. Kontakt tarmog'ining murakkabligi va mustahkam bo'lmaganligi va uch fazali tizimning rostlash xususiyatining qoniqarsizligi sababli keyinchalik foydalanilmadi. Hozirgi kunda kontakt tizimining takomillashganligi va o'zgartgich qurilmalarining keng miqiyosda qo'llanilayotganligi sababli o'zgaruvchan tok motorlari, ayniqsa qisqa tutash rotorli asinxron motorlarni keng miqiyosda qo'llash rivojlanmoqda.

Past chastotali bir fazali kollektorli motorlar ko'pincha chet mamlakatlar EHT larida qo'llaniladi. Ularning ishlashi o'zgaruvchan tok motorlarini ishlash prinsipiga o'xshash, biroq magnit qutblaridagi o'zgaruvchan magnit oqimi yakorning o'zgaruvchan toki bilan o'zaro ta'sirlashadi. Bunday mashinalar kommutatsiya jarayoni murakkabligidan tashqari qabul qilish toki chastotasidan yuqori bo'lganligi uchun ularni 50 Gs chastotaga mo'ljallab tayyorlashni qiyinlashtiradi.

EHTning quvvatini ancha oshirish masalasi bir vaqtning o'ziga mustahkamligini oshirish bilan birga uni kollektorsiz TMLariga o'tish bilan erishish mumkin (ventilli va asinxron). Kollektorli va asinxron TEMni nisbatan quvvat oralig'i 100 dan 1500 kVt oralig'ida, ularni analiz qilinganda quyidagilar aniqlandi:

ATM rotor yuzasi uchun tangensial kuch kollektorli motorlarga nisbatan 1,5-2 marta katta va $5 \frac{N}{cm^2}$ ni tashkil etadi, rotorning birlik yuzasiga tug'ri keladigan quvvat 2 marta katta va $0,25-0,3 \frac{kVt}{cm^2}$ ga yetadi, rotorning aylana bo'ylab tezligi $80-90 \frac{m}{s}$ ga yetishi mumkin, bu kollektorli mashinalarnikidan yuqori bo'ladi. Kollektorli mashinalar yakori aylanishini saqlagan holda motorning momentini 50% gacha oshirish mumkin, solishtirma quvvat bo'yicha ATM 2-2,5 marta kollektorlarga nisbatan yuqori va ular F.I.K. 1,5-2% yuqori bo'ladi.

Bu ko'rsatkichlar jadvaldagi ma'lumotlar asosida ma'lum kollektorli va kollektorsiz motorlar turlari uchun keltirilgan. Ekspluatatsiya qilishning

muhim vazifasi tizimning ishonchligidir. Asinxron tortuv motorlari ishonchligini oshirish va kollektorli ch'otka qismini yo'qotish uchun asinxron mashinalarni qo'llash bilan amalga oshiriladi. Ma'lumki qisqa tutash rotorli asinxron motorlar izolyatsialangan va stator chulg'amiga ega. Shuning uchun ATM larni davriy ravishda nazorat qiluvchi yuqori malakali chilangar motoristlar talab etilmaydi. Uning xizmati faqat podshipniklarni yog'lashda zarur bo'ladi. Bu muhim sotsiologik masalani yechishni talab etadi va chilangar motoristlarning og'ir ish sharoitlari bilan bog'liq holatlarni bartaraf qiladi. Asinxron tortuv motorli yuritmalarni qo'llashdan ekspluatatsiya sharoitida elektrovozlar uchun harajatlar muhim effektiv ko'rsatkichlari hisoblanadi.

Lokomotivning ilakish og'irligi va uning tortish xususiyatini oshirish muhim hisoblanadi va u katta amaliy qiziqishlarni yuzaga keltiradi. VVS firmasi ma'lumotlariga asosan E -1200 elektrovozi ATM li poyezdning joyidan siljitishda 355 kN kuchni yuzaga keltiradi yoki EA-200 kollektorli motorli elektrovozlariga nisbatan 26% yuqori kuch hosil qiladi. EA-1000 elektrovozini ekspluatatsiya qilish jarayonida 504 kg (mln.t.m.) kuch sarflanadi, E - 1200 elektrovozi faqat 176 kg (mln.t.km) sarflaydi.

4.1-jadval

Motor turi	Tayyorlanish mamlakati	Quvvati R, kv	To'liq massasi	Misning og'irligi m_m , kg	Birlik quvvatga to'g'ri keladigan massa m/p kg/kVt	Izolatsion materiallar massasi, kg.
TL – 28 (kollektorli)	MDX	650	4760	505	7,23	39
NB – 418 KB (kollektorli)	MDX	790	4350	586	5,52	32
ETA-1200 (asinxron)	MDX	1200	3650	376	3,04	14
NB-602 (asinxron)	MDX	1200	3900	381	3,25	13
NB-607 (asinxron)	MDX	900	4200	-	4,67	-
VQr-4843 (asinxron)	Shvetsariya	1400	2380	-	1,7	-
VAZ-105776/6 (asinxron)	GFR	1430	2320	-	1,6	-
M-4-1300 (asinxron)	Italiya	1300	2800	-	1,6	-
1TV2624 (Asinxron)	Germaniya	1020	2470	-	2,42	-

Bunday ma'lumotlar asinxron motorli tajriba elektrovozlarini tortuv – energetik sinashlar asosida olingan. Bunda, bir motor bilan tortishda 10,5 kN kuch bilan tortdi. Bu ko'rsatkichlar VL80^f elektrovozini sinash ma'lumotlari bilan yaxshi moslashadi.

Ko'pgina qarama-qarshi fikrlar parallel ishlaydigan ATMLarda yuklamani g'ildirak juftliklarida taqsimlashda g'ildirak juftligi bandaji diametrlari farqi yuzaga kelishi ta'kidlanadi.

Elektrovozlarning tajriba namunalarini ekspluatatsiya qilish shuni ko'rsatganki, ekspluatatsiyaga ruxsat etilgan g'ildirak diametri 10 mm farq qilsa nagruzka farqi 8 - 10% dan ortiq bo'lmaydi, diametrning 4 – 6 mm farqida, nominal yuklamada bu farqlanish 4-6% dan oshmaydi. Bu ko'rsatkichlar ko'p foydalaniladigan kollektorli motorli elektrovozlarnikiga nisbatan ancha yaxshi.

4.8-§. Asinxron tortuv elektr mashinalari ish

rejimlari va xarakteristiklari

Asinxron tortuv motorlari, kollektorli motorlari kabi tortish va elektrik tormoz rejimlarida ishlashi mumkin.

ATM har bir ish rejimlarining ko'rsatkichlari kollektorli mashinalardan farqli ravishda tortuv motorlarini boshqarish qonuni orqali aniqlanadi.

ATMlarning boshqarishning effektiv qonuniga moslash uchun aylanuvchi momentning uning parametrlari bilan bog'lanishini ko'rib chiqish lozim.

$$M = \frac{m_1 p_1 U_1^2 \cdot R_2^1 / S}{9,81 \cdot \omega_1 [(r_1 + r_2^1 / s)^2 + (x_1 + x_2^1)^2]} \quad (4.37)$$

Bunda m_1 va p_1 – mos xolda stator chulg'aming fazalar va juft qutblar soni

U_1 - motorning faza kuchlanishi,

R_2^1 va X_2^1 - rotorning aktiv va reaktiv qarshiliklarining stator zanjiri parametrlariga keltirilgan kattaliklari.

$\omega = 2\pi f_1$ – stator motorining burchak tezligi, f – statorga berilayotgan kuchlanishning tok chastotasi.

R_1 va X_1 - mos xolda statorning aktiv va induktiv qarshiliklari

$S = \frac{(\omega_1 - \omega_2)}{\omega_1}$ - rotorning nisbiy sirpanishi

$\omega_2 = 2\pi f_{ayl} / p_1$ - rotor aylanishining burchak tezligi.

Barcha ko'rsatkichlar ATMning keltirilgan sxemasi asosida olinadi:

bunda $f_1^* = \frac{f_1}{f_{1nom}}$ - statorning nisbiy tok chastotasi $f_2^* = \frac{f}{f_{2nom}} = \frac{f_1^*}{S}$

rotorning nisbiy tok chastotasi, (bunda- f_{1nom} statorning nominal tok chastotasi, f_2 absolyut sirpanishdagi rotorning tok chastotasi). Yuqoridagi (4.37) tenglamaning analizi shuni ko'rsatadiki, moment U_1 , f_1 va f_2 parametrlari bilan xarakterlanadi va elektr tortish shartiga ko'ra katta kenglikda o'zgarishi mumkin.

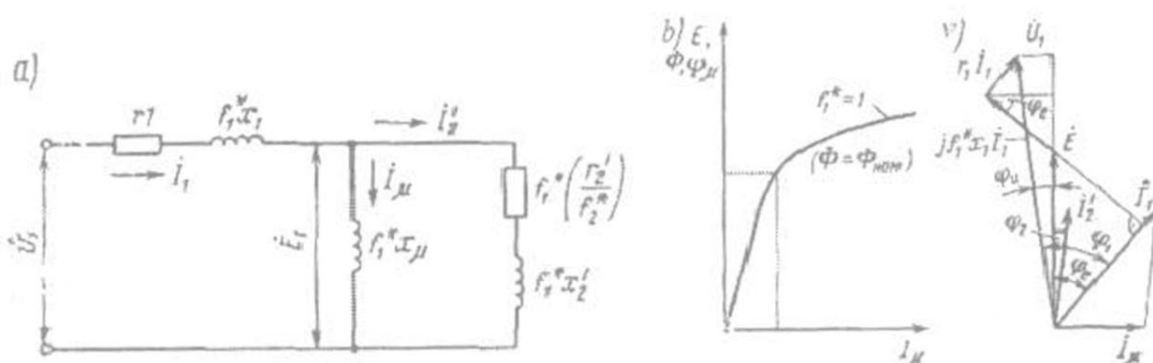
ATMning rejimlari analizini yengillashtirish uchun elektromagnit momentni statorning magnit maydoni, rotor toki va absolyut sirpanishiga f_2 bog'lanishi orqali ifodalash maqsadga muvofiq bo'ladi.

$$M_s = \frac{p_1 m_1}{2\sqrt{2}} \omega_1 K_{chul} \Phi I_2^1 \cos \varphi_2 \quad (4.38)$$

$$M_s = \frac{P_1}{\sqrt{2}} \Phi^2 f_2 r_2 / [r_2^2 + (2\pi f_2 L_{2s})^2] \quad (4.39)$$

bunda: ω_1 va K_{chul} - mos holda fazadagi chulg'amlar soni va stator chulg'amlarining chulg'am koeffitsiyenti; R_2 - rotor kletkasining ko'zda tutilmagan qarshiligi; φ_2 - EYUK va rotor chulg'amlari toki orasidagi siljish burchagi.

$\cos \varphi_2 = R_2 / \sqrt{R_2^2 + (2\pi f_2 h_{2s})^2} h_{2s}$ - oqim tarqalishida rotor o'zagining induktivligi.



4.16.rasm. Asinxron tortuv motorning keltirilgan (a), magnitlanish xarakteristikasi (b) va vektor diagrammasi.

Chastotali rostlanadigan asinxron tortuv motorlari uchun M.P. Kostenkoning asosiy rostlash qonuni mavjud va u quyidagicha ifodalanadi.

$$\frac{U_1}{U_{1nom}} = \frac{f_1}{f_{1nom}} \sqrt{\frac{M}{M_{nom}}} = (f_1 / f_{1nom}) (\Phi / \Phi_{nom}) \quad (4.40)$$

M va M_{nom} – mos holda amaldagi va nominal moment. EHTning harakatlanish tezligini hisobga olgan holda $U = 0,188 \frac{D_k}{\mu} \frac{60f_1}{P_1} (1-S) \approx C_1 f_1$ bunda: D_k – harakatlanuvchi g'ildirak diametri; μ – tortish reduktorining o'zgartirish nisbati; η_a – harakatlanuvchi mexanizmning f.i.k.

Yuqoridagi shartni quyidagicha ifodalaymiz.

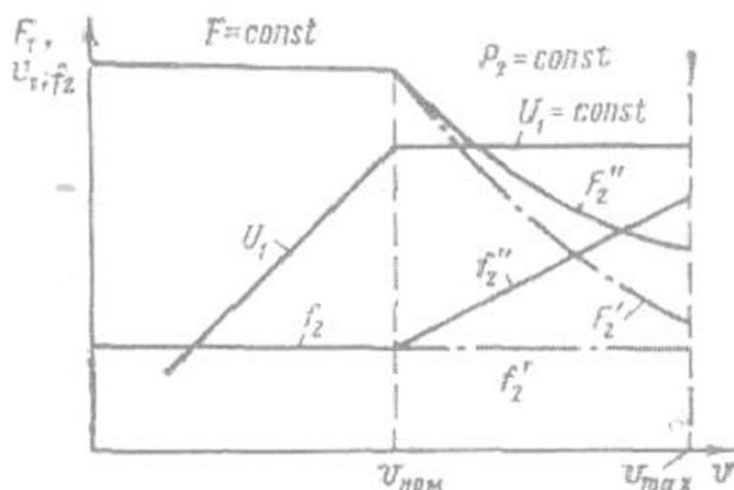
$$\frac{U_1}{U_{1nom}} = \frac{U}{U_{nom}} \sqrt{\frac{f}{f_{nom}}} \quad (4.41)$$

U_{nom} va f_{nom} – qiymatlari nominal faza kuchlanishi va chastotasiga mos keladi.

4.9-§. ATMLarni ishlashini boshqarish qonuni

Sxemada EHT ishlashini boshqarishning ikki xarakterli qonuni $F=\text{const}$ va $P_2=\text{const}$ bo'lgan holdagisi keltirilgan.

$F=\text{const}$ ($M=\text{const}$ yoki $F=\text{const}$) bo'lganda ishga tushirish rejimini ko'rib chiqamiz.



4.16-rasm . ATMning boshqarish qonuni grafigi.

ATMning aylantiruvchi momentini statorning magnit maydoni va stator zanjiriga keltirilgan rotor tokining qiymati I_2^1 aniqlanadi.

$$\Phi = \frac{E}{(cf_1)} = \frac{E}{(cf_1^* f_{1nom})} \quad (4.42)$$

$F = \text{const}$ rejim tenglamaga asosan, agar rostlash jarayonida motorning E.YU.K. quyidagicha o'zgarsa bajariladi, $E = E_0 f_1^*$ bunda E_0 - $i=1$ dagi magnitlanish egri chizig'idan aniqlanadigan E.YU.K. Bu shartni bajarish uchun keltirilgan sxemadan quyidagi tengliklarni olamiz.

E va I_2^1 vektorlar orasidagi burchak $\varphi_2 = \arctg f_2^* X_2^1 / R_2^1$ motor o'qidagi quvvat $P_2 = 3 f_1^* E_0 I_2^1 \cos \varphi_2$ rotorning aylanish chastotasi, $n_2 = 60 f_{1nom} (f_1^* - f_2^*) / P_1$

Statik elektromagnit moment $M_s = 9,56 P_2 / n_2$

M_e — moment magnit oqimi va rotor toklarining vektori tenglamalaridagi F va E larga proporsional ravishda $E_0 \cdot I_2^1 \cdot \cos \varphi_2$ orqali aniqlanadi. I_2^1 va φ_2 larning tenglamalariga asosan $F = \text{const}$ rejimida, ya'ni, $M = \text{const}$ bo'ladi, ishga tushirishning barcha nuqtalarida I_2^1 va φ_2 burchak statorining tok chastotasi f_1 qiymatiga bog'liq bo'lmaydi. Shuning uchun f_1 tok chastotasiga ATMning aylantiruvchi momenti ham bog'liq bo'lmaydi.

$$\text{U holda } M = \frac{0,478 p_1 E_0^2 \cos \varphi_2}{f_{nom} \sqrt{(r_2^1 / f_2^*)^2 + (x_2^1)^2}}; \quad (4.43)$$

$$M = 0,478 (p_1 / f_{1nom}) (I_2^1)^2 \sqrt{(r_2^1 / f_2^*)^2 + (x_2^1)^2} \cos \varphi_2; \quad (4.44)$$

Bu tenglamaga asosan, E_0 (yoki I_2^1) ning ma'lum qiymatida ATM momenti f_2 absolyut sirpanishga mos holda aniqlanadi. Shuning uchun ishga tushirish vaqtida $M = \text{const}$ ga erishish uchun f_2 ning o'zgarishsiz qiymati bilan ushlab turish lozim bo'ladi. ATMning ikkinchi ish rejimi quvvatning doimiyligi $P = \text{const}$ da energiya qabul qilish manbaning tok va kuchlanish chastotalari chegaralarini aniqlash lozim bo'ladi. O'zgartgich chiqishidagi maksimal chastota f_1 ta harakatning maksimal tizimda $U_{\max}$ km/s, ATMning juft qutblar soni p_1 , g'ildirak diametri D_k , m va tortish reduktorining o'zgarishlar soni μ ga bog'liq, $f_{\max} = p_1 \cdot \mu \cdot U_{\max} / (3,6\pi \cdot D_k)$.

Minimal aylanish tezligi poyezdning qo'zg'atish vaqtidagi tezligi olinadi, bunda motor ishga tushirish momentini $(1,3 \div 1,5) M_{nom}$ hosil qilishi kerak. Ko'pincha bu holda $I_1(f_2)$ xarakteristikadan foydalaniladi. ATMning ishga tushirish jarayoni faza kuchlanishi nominal kuchlanishga yetganda tugaydi.

Nazorat savollari

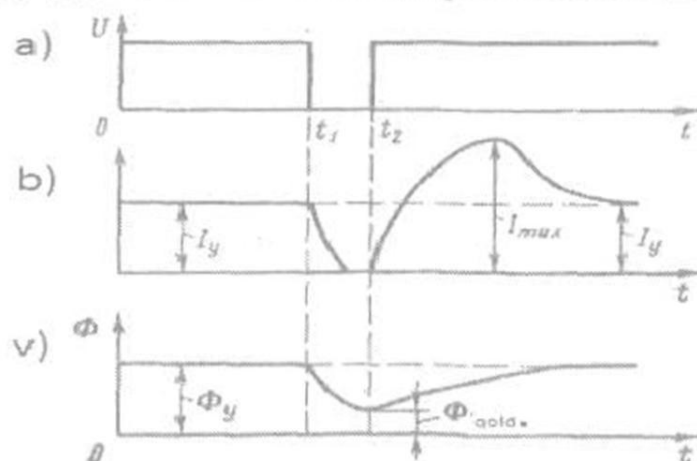
1. Kollektorli va kollektorsiz tortuv motorlarning qanday kamchiliklari va afzalliklari mavjud?
2. Asinxron tortuv motorlarning harakteristikalari qanday ko'rinishda bo'ladi?
3. Tok chastotasini rostlashning qanday qonuni mavjud?
4. Statik elektromagnit moment qanday aniqlanadi?
5. ATMLarni ishini boshqarish qonuni qanday ifodalanadi?
6. Asinxron motorda elektromagnit kuch va moment qanday hosil bo'ladi?
7. Asinxron motorning turg'un ishlash shartlari nimalardan iborat?
8. Asinxron tortuv elektr mashinalarining qanday ish rejimlari mavjud?

5-bob. Tortuv elektr mashinalarida o'tkinchi jarayonlar

5.1-§. O'tkinchi jarayonlar xarakteristikalar

Turg'un bo'lmagan jarayonlarga: zanjirda bir turg'un holatdan ikkinchi holatga o'tishdagi jarayonlar kiradi. Turg'un bo'lmagan jarayonda ma'lum faktorlar ta'sir eta boshlaydi, mashinaning turg'un ishlashiga ko'ra ham ta'sir qilmaydi. Bu ta'sirlarga chulg'amning induktivligi, magnit xarakteristikaning to'g'ri chiziqli emasligi, magnit o'tkazgichlarda yuzaga keladigan uyurma toklari qutblardagi tarqalish oqimining o'zgarishi va boshqalar hisoblanadi. Bu holat agar ko'rilayotgan jarayonning yuzaga kelish tezligi harakatlanayotgan poyezdning tezligidan sezilarli darajada yuqori bo'lsa yuzaga keladi. Shuning uchun ko'pgina turg'un bo'lmagan jarayonlarning analiz qilishda harakatlanish tezligini amalda o'zgaras deb qabul qilinadi.

Tortish mashinalarining kontakt tizimi orqali energiya bilan ta'minlanganda kuchlanish doimiy ravishda tebranib turadi. Motor chulg'amlarida ular tarmoqqa qo'shganda kuchlanishning o'zgarishi seziladi. Kontakt o'tkazgichdan tok qabul qilgichni ajratganda va yana qo'shganda holatlar yuzaga kelishi mumkin. Bunday jarayonning xarakterlovchi ko'rsatkichlar 5.1-rasm orqali tushuntiriladi.



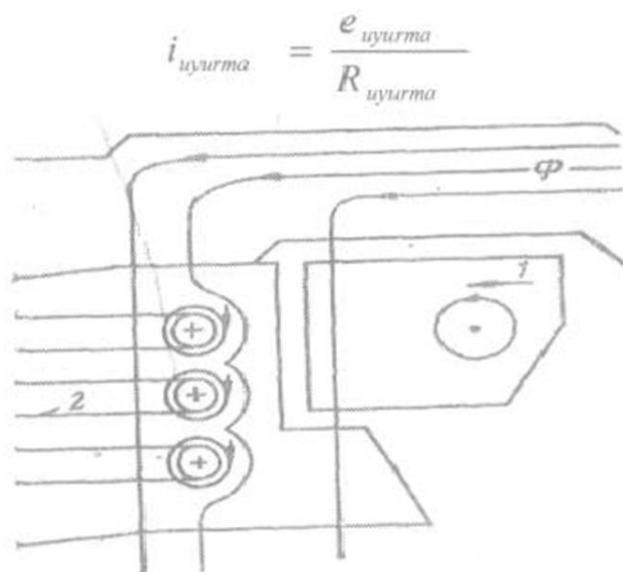
5.1-rasm. Tok qabul qilgichning buzilishi va qayta tiklanishida kuchlanish (a), tok (b) va magnit oqimning (v) o'zgarish diagrammasi.

t_1 dan t_2 vaqt oralig'ida tok nolgacha kamayadi, magnit oqimi esa o'zining qoldiq qiymatigacha Φ_{qold} erishadi. Kuchlanishning t_2 vaqtda qayta tiklanishi magnit oqimning birlamchi Φ_u qiymatiga tezda erishishi bilan birga amalga oshiriladi. Uning tiklanishiga mashinaning po'lat magnit o'tkazgichidagi uyurma toklari to'siqlik qiladi. Mashina magnit oqimi va EYUK o'sishi va kamayishi tokning o'zgarishi (o'sishining) qiymatini $I_{max} = (2 \div 3)I_y$ gacha oshiradi. Mashina magnit oqimi Φ_u o'sishi bilan

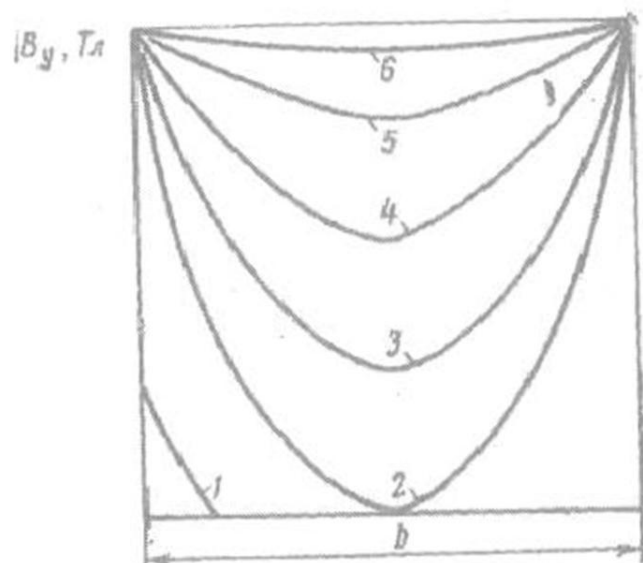
EYUK va toki o'zining turg'un holatiga asta-sekin erishadi. Tokning bunday o'zgarishi komutatsion jarayonni buzilishini yuzaga keltiradi va kollektor yuzasi bo'yicha kuchlanishning bir tekisda taqsimlanishini ta'minlashga olib keladi. Bunda uyurma toki chuqurlashishi qo'shimcha qutblardagi magnit oqimning tezda o'sishiga to'sqinlik qiladi bu reaktiv va kommutatsiyalovchi EYUKlar orasidagi tenglikning buzilishiga olib keladi. Bu mashinaning tok olishini murakkablashtiradi hamda cho'tkalar tagida va kollektorda yoy hosil qilishini tezlashtiradi. Turg'un bo'lmagan jarayon yuzaga keladi va bir qancha kuchlanishning kam sakrashi (o'zgarishi) tok qabul qilgichning to'liq bo'lmagan sakrashi, kontakt tarmog'ining izolyatsiyalangan o'tish qismi va boshqa, g'ildirak juftligi boksalanishini yuzaga keltiradi o'zgartgichlarning nominal ishlashi buziladi va boshqa jarayonlar ham lokomotivlarning jihozlarida yuzaga kelishi mumkin.

5.2-§. Magnit o'tkazgichlaridagi o'tkinchi jarayonlarga uyurma toklarining ta'siri

Tortuv mashinalari magnit o'tkazgichlarda o'tish jarayonlarida uyurma toki yuzaga keladi. U bu jarayonlarni o'tishida katta ta'sir ko'rsatadi. Uyurma toklarini hisobga olgan holda o'tkinchi jarayonlar hisoblashda O.N.Shapiro, A.Tostin, M.Z.Jis va boshqalarning taklif qilgan usullari mavjud. Biroq M.YU.K. kuchining o'zgarishi magnit qismini asta-sekin magnit o'tkazgich kesimida chuqur singishi 1-ko'rsatkich bo'yicha shartli chiziq 2 ni kesib o'tadi va ularda EYUK $e_{uyurma} = \frac{d\Phi}{dt}$ hosil qiladi, uning ta'sirida uyurma toki yuzaga keladi.



5.2-rasm Asosiy qutb magnit o'tkazgichlardagi uyurma toklar.



5.3-rasm. Har xil vaqt oralig'ida magnit induksiyasining tarqalish egri chiziqlari.

Magnit o'tkazgichning chetlarida uning ichki qismlarining tarqalishini sekinlashtiradi. 5.2- rasmda $t_1 < t_2$ vaqt oralig'ida magnit yurituvchi kuch yuzaga kelgach magnit o'tkazgich kesimida induksiyaning taqsimlanishi keltirilgan (1-6 egri chiziqlar mos holda ko'rsatilgan).

Magnit induksiyasining V_u doimiy qiymatini bir tekisda taqsimlanmasligini almashtirish chekinishlarni hisobga olinsa u asta-sekinlik bilan o'zak ichiga singib boradi. Agar q - oqimning singish chuqurligi bo'lsa, unda $\Phi = B_y \cdot q \cdot \Pi'$ bu yerda $\Pi' = K\Pi$ kesimning o'rtacha perimetri, istalgan vaqtdagi oqimning joylashishi; $\Pi = 2(a + \epsilon)$ magnit o'tkazgichning kesim parametri, $K - q$ ga bog'liq bo'lgan koeffitsiyent $K' = (a - q + b - q) : (a + b) = 1 - 2q : (a + b)$ K - koeffitsiyent o'rganilayotgan vaqtdagi oqimning Φ_1 uning turg'un holdagi oqimga nisbati bilan aniqlanadigan koeffitsiyent. Bunda

$$\Phi = B_y \cdot K \cdot q \cdot \Pi \quad (5.1)$$

Uyurma toki konturining qarshiligi

$$r_{uyurma} = \rho \cdot K \cdot \Pi / (ql)$$

bunda, ρ - magnit o'tkazgichning solishtirma elektr qarshiligi. $\text{Om} \cdot \text{sm}$; ℓ - magnit o'tkazgichning uzunligi, sm .

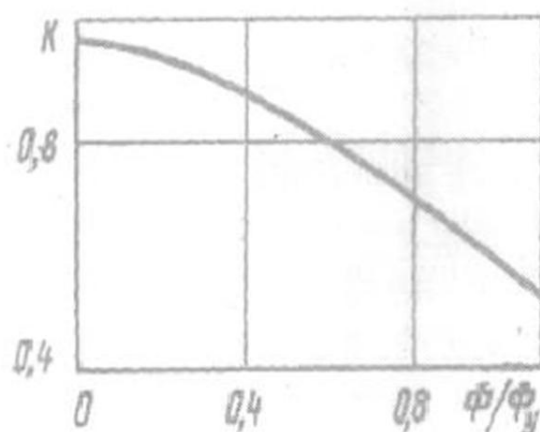
Yuqoridagi (5.1.) tenglamaga asosan

$$r_{uyurma} = \rho (K\Pi)^2 B_y / (I - \Phi) \quad (5.2)$$

$$\text{Bunga asosan } i_{uyurma} = \frac{d\Phi}{r_{uyurma}} = \Phi \frac{d\Phi}{dt} \cdot \frac{l}{\Pi^2 K^2 \rho B_y} \quad (5.3)$$

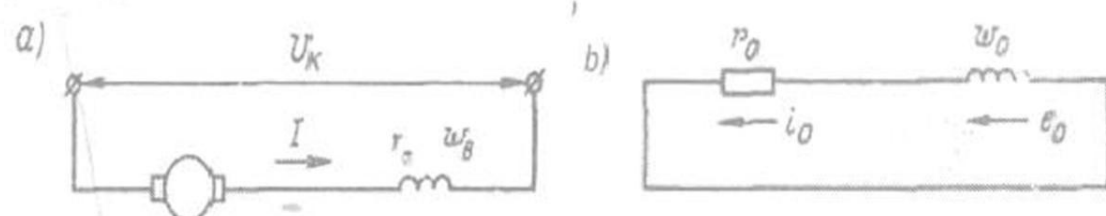


5.4-rasm. Magnit o'zakka magnit oqimining singishini tushuntirish uchun.



5.5-rasm. $K(F/F_1)$ bog'lanish.

Ruxsat etilgan chegaralashlar natijasida o'tkazilgan tajribalar natijasida orttirilgan oqimning ilakishi tuzatishlar kiritish natijasida $i_{uyurma} \approx 0,5 i_{uyurma}$ deb qabul qilinadi.



5.6-rasm. Ketma-ket qo'zg'atiladigan motor zanjiri va uyurma toklari soxta kontur sxemalari.

5.3-§. Tortuv mashinalari chulg'ami induktivligi

O'tkinchi jarayonlarning yuzaga kelish xarakteri faqatgina tortuv motorlari magnit o'tkazgichlardagi uyurma toklar bilan aniqlanmasdan mashina zanjiridagi aktiv va induktiv qarshiliklarga ham bog'liq bo'ladi. O'tish jarayoni xarakteriga tashqi zanjir parametrlarining ta'sirini e'tiborga olmasdan va bu jarayonni tortuv motori uchun hisobga olgan holda motor rejimida quyidagicha yozish mumkin

$$U_K = E + i \cdot r_M - (L - L_K) \frac{di}{dt} + e_{\sigma z L/K}$$

generetor rejimda esa

$$U_K = E - i \cdot r_M - (L - L_K) - e_{o'zUH}$$

bunda, $L = L_M + L_M + L_K + L_{Kr}$ – motorning barcha chulg'amlari induktivligi: yakor, qo'shimcha qutblar, qo'zg'atish va kompensatsion.

$e_{o'z-in} = 2p\delta \cdot \omega_K \frac{d\phi}{dt} = L_K \frac{di_\mu}{dt}$ – qo'zg'atish chulg'aming o'zinduksiya EYUK.

Qo'zg'atish chulg'ami induktivligi ancha katta $L_K \approx (0,6 + 0,7)L$, chunki u mashinalar asosiy magnit oqimi bilan birga qo'shiladi. Quyida motorning alohida chulg'amlari induktivligini hisoblash keltirilgan.

Yakor chulg'aming to'liq induktivligi $L_{ya} = L_{ya}^I + L_{ya}^{II}$, bunda L_{ya}^I – reaksiyasi oqimiga bog'liq bo'lgan induktivlik, L_{ya}^I ning asosiy qismini tashkil etadi; L_{ya}^{II} – joylardagi chulg'amlarda sochilgan induktivlik. L_{ya}^I induktivlikni mashinaning konstruktiv parametrlari asosida aniqlash mumkin. Yakor chulg'amlarining ketma-ket ulangan o'ramlar soni $\omega_{ya} = N/(2a.2)$. Qutblarga to'g'ri keladigan yakor chulg'aming o'ramlar soni

$$\omega_{ya}^I = \frac{N}{(2a.2p.2)} = \frac{N}{(8ap)}$$

Yakor reaksiyasi oqimining kuchi quvuri dx ni ajratamiz (2.18-rasmga qarang), y o'z navbatida yakorning M.YU.K bilan ilakishadi:

$$i\omega_{ya}^I = \frac{2x}{\tau}$$

Po'latdagi magnit potensialining pasayishini hisobga olmasdan, bu quvurdagi oqimni aniqlash mumkin.

$$d\phi_{ya} = \mu_0 \frac{i\omega_{ya}^I 4p}{\pi \cdot D_{ya}} \frac{l_{ya}}{\delta K_h} \cdot x dx$$

bunda, K_h – havo bo'shlig'i koeffitsiyenti $2\pi N / \pi D_{ya}$ ifodadan aniqlangan elementlar oqim bilan bog'langan o'tkazgichlar sonini aniqlaymiz. U holda quvurdagi oqimning ilakishi $\mu_0 \frac{i\omega_{ya}^I}{8K_h} \frac{2p \cdot N \cdot l_{ya}}{(\pi D_{ya})^2} \cdot x^2 dx$ bo'ladi, bir qutib tagida joylashgan yakor chulg'ami qismining induktivligi (bir teksdagi havo bo'shlig'i bo'lgan hol uchun)

$$L_{kya} = \mu_0 \frac{\omega_y^1}{\delta \cdot K_K} \frac{8PNl}{(\pi \cdot D \cdot ya)} \int_0^{x=ca} \frac{\pi D ya}{4p} x^2 dx = \mu_0 \frac{\omega_y^1}{\delta \cdot K_K} \frac{8pl\lambda \cdot N}{(\pi \cdot D)^2} \frac{x^2 (\pi D ya)^3}{3 \cdot 64 p^3}$$

Yakor reaksiyasi oqimi bilan bog'langan barcha yakor chulg'amlarining induktivligi

$$L_{ya}^1 = K_H \cdot L_{kya} \frac{rp}{a}$$

bunda, K_n – tish qatlamiga nisbatan magnit to'yinish zanjirdagi yakor reaksiyasini hisobga olish uchun koeffitsient (5.7, a - rasm).

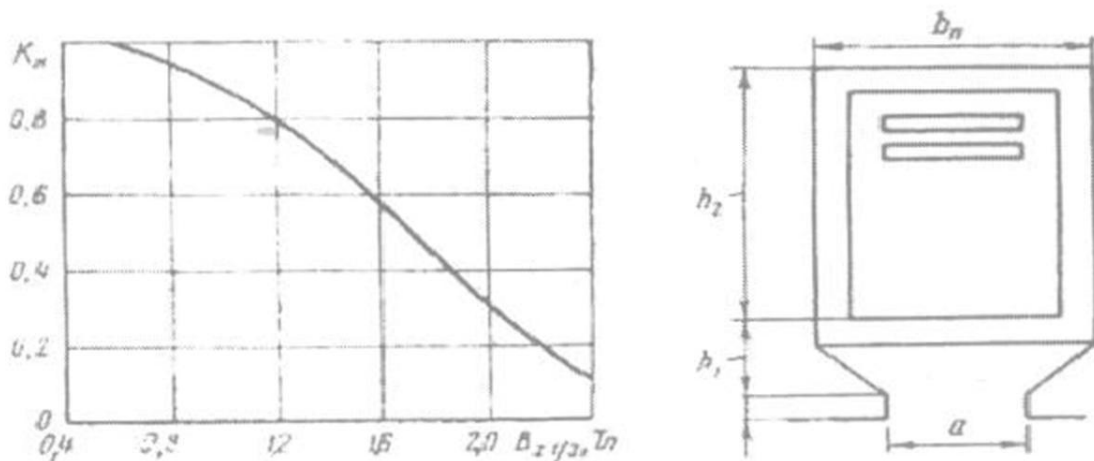
Agar bu tenglamaga L_{qya} qiymatini qo'yib va kerakli o'zgartishlarni kiritib hamda bir tekisdagi havo bo'shlig'i uchun, induktivlik, Gn:

$$L_{ya}^1 = 1,33 K_n \frac{N^2 \alpha^3 l_{ya} D_{ya}}{64 a^2 p^2 \delta_c K_q} \quad (5.4)$$

Shunday qilib, eksentrik havo bo'shlig'ida uning ochilish koeffitsiyenti $K_0=2$ da induktivlik, Gn

$$L_{ya}^1 = 0,87 K_H \frac{N^2 \alpha^3 l\lambda \cdot D_{ya}}{64 a^2 p^2 \delta \cdot K_K} \quad (5.5)$$

bunda, δ_c - qutb o'rtasi tagidagi havo bo'shlig'i.



5.7-rasm. Yakor tishlaridagi induksiyaning to'yinish koeffitsiyentiga bog'lanishi (a) va pazning hisoblangan o'lchamlari (b).

Pazadagi sochilma oqimiga bog'langan yakor chulg'ami induktivligi:

$$L_{ya}^n = (4 \cdot l_{ya} \lambda_{II} \cdot \omega_{ya}^1) / Z \quad (5.6)$$

bunda, λ_p -(2.13) tenglama yordamida aniqlanadigan pazdagi sochilma o'tkazuvchanlik.

Induktivlik $L_{y\alpha}$, induktivi $L_{y\alpha}$ ga nisbatan ancha kam va uni kompensatsion chulg'amli motorlar uchun hisobga olinadi, unda oqimni kompensasiya qilishdagi induktivlik $L_{y\alpha} \approx 0$ bo'ladi. Kompensasion chulg'amning induktivligi $L_{k.ch.}$, uning sochilma oqimidan yuzaga keladi va quyidagi tenglama bo'yicha aniqlanadi.

$$L_{Kr} = \frac{2 \cdot \omega_{Kr}^2 I_{II} \cdot \lambda_{Kr}^1}{p Z_{Kr}} \quad (5.7)$$

bunda: ω_{qch} – kompensatsion chulg'am o'ramlar soni; λ_{qch} – sochilma o'tkazuvchanlik, tish koronkalari λ_k va old qismi λ_l – larning paza qismi o'tkazuvchanligining tashkil etuvchisi, ya'ni $\lambda_{qch} = \lambda_p + \lambda_k + \lambda_l$; $Z_{k.ch.}$ – qutbdagi kompensatsion chulg'amlar joylashgan pazlar soni.

Kompensasion chulg'am paza qismining o'tkazuvchanligi (5.7, b-rasm):

$$\lambda_{II} = \mu_0 \left(\frac{2h_1}{a+b_{II}} + \frac{h_0}{a} + \frac{h_2}{3b_{II}} \right)$$

Tish qoplamasi bo'yicha o'tkazuvchanlik

$$\lambda_K = 5\mu_0 \delta / (Sa + 4\delta)$$

1 sm uzunlikdagi asosiy qutb o'zagiga qo'yilgan chulg'amlar old qismining o'tkazuvchanligi.

$$\lambda_l = \frac{\mu_0 \cdot 0,5(0,67l_1 - 0,43\tau^2) \cdot Z_{k.q.}}{l_{ru}}$$

bunda: l_1 – o'zakning bir tomoni bilan chulg'amning old qismi uzunligi, sm; τ – g'altakning kengligi, sm.

Asosiy qutb chulg'amining o'tkazuvchanligi, G_n ; mashina magnit tizimining to'yinganligiga bog'liq bo'ladi va magnitlanish egri chizig'i bo'yicha aniqlanishi mumkin:

$$L_k = 2pQW_k \frac{d\phi}{di_\mu} \approx 2pQW_k \frac{\Delta\Phi}{\Delta i_\mu} \quad (5.8)$$

Bu asosiy qutblar o'zinduksiya EYUKni aniqlashga imkon yaratadi, V:

$$e_{cq} = L_q \frac{di_\mu}{dt} \quad (5.9)$$

Ko'pincha o'tkinchi jarayonlarni tadqiq qilishda birlamchi tenglamaga o'zinduksiya EYUKni kiritish qulay bo'ladi, U (5.8) va (5.9) tenglamalarni yechish orqali olinadi, V:

$$e_{cq} = -2p\sigma\omega_q \frac{d\Phi}{dt} \quad (5.10)$$

Qo'shimcha qutblar chulg'ami induktivligi shu chulg'amlar bilan ilakishgan to'liq oqim bilan aniqlanadi. Ma'lumki, sochilma oqimining ko'p qismi magnit zanjiri kam to'yinishga ega bo'lgan qo'shimcha qutblar chetlaridan o'tadi. Shuning uchun chulg'amlar induktivligi, Gn :

$$L_{qch} = 0,65 \cdot 2\sigma_{qch} p\Phi_q \omega_{qch} / i_{qch} \quad (5.11)$$

bunda, 0,65 – qutbning barcha balandligi bo'yicha sochilma oqimining tarqalishi tufayli oqim ilakishi kamayishini hisobga oluvchi koeffitsiyent; $\sigma_{qch}, \Phi_q, \omega_{qch}$ – mos holda qo'shimcha chulg'amning sochilishi foydali oqim va o'ramlar soni koeffitsiyenti.

5.4-§. O'tkinchi jarayonlar tenglamasi

O'tkinchi jarayonlarni tahlil qilishda tortuv motorlari chulg'amlaridagi induktivligi va uyurma toklarning ularga ta'sirini hisobga olish zarur bo'ladi. Bu holda magnit oqimining qiymati, asosan yuklanish xarakteristikadan aniqlanadi, ya'ni $\Phi(I_q)$ bog'lanishning $I_{VA} = \cos \alpha t$ dagi har xil qiymatida olinadi. To'liq qo'zg'atishda tortuv motori chulg'amlari uchlaridagi o'z holatiga qaytganda o'tish jarayoni uchun eng katta xarakterga ega bo'lgan holat uchun tenglama tuzamiz. Motor zanjiridagi kuchlanish o'z holatiga qaytgandan keyin vaqtning har bir oralig'i uchun quyidagi ifoda o'rinli bo'ladi.

$$ir_m + C_v \cdot \Phi + 2p\sigma\omega_k \frac{d\Phi}{dt} + L' \frac{di}{dt} = U_k \quad (5.12)$$

bunda. r_m – motor zanjiridagi aktiv qarshilik, Om; L' – qo'zg'atish chulg'amisiz mashinaning chulg'amlari to'liq induktivligi.

$L' \frac{di}{dt}$ qiymtini aniqlash L' induktivlikning alohida tashkil etuvchilarning doimiy bo'lmaganligi qiyinchilik tug'diradi. Shu bilan birga bu qiymatning o'zgarish xarakteri e_{sk} ning o'zgarish qonuniga yaqin, bu ular orasidagi nisbatni o'zgarimas deb olishga imkon beradi.

$$K_a \approx \frac{L'}{L_q} \approx \frac{L' \frac{di}{dt}}{e_{cq}} \approx 0.35.$$

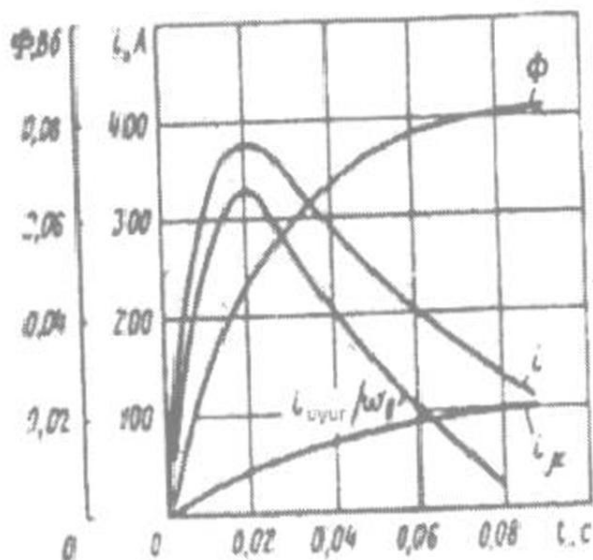
Yuqoridagini hamda (5.7) va (5.8) tenglamalarni hisobga olgan holda quyidagini olamiz

$$i_{\mu} r_m + \frac{r_m}{v_q} K_{uyurma} \Phi \frac{d\Phi}{dt} + C_v \cdot v \cdot \Phi + 2p\sigma \cdot \omega_q (1 + K_a) \frac{d\Phi}{dt} = U_k$$

bunda

$$\frac{d\Phi}{dt} = \frac{U_k - i_{\mu} \cdot r_m - C_v \cdot v \cdot \Phi}{\frac{r_m}{v_q} K_{uyurma} \Phi + 2p\sigma \cdot \omega_q (1 + K_a)} \quad (5.13)$$

$I_{ya} = \text{const}$ ning har xil qiymati uchun $\Phi(i_{\mu})$ yuklanish xarakteristikasiga asosan, ketma-ket oqim Φ qiymatlarini berib, $\frac{d\Phi}{dt}$ va dt qiymatini aniqlash mumkin, ya'ni $\Phi(t)$ bog'lanishni olamiz. Shu funksiya va (5.6) tenglama bo'yicha i_{uyur} tok aniqlanadi, (5.13) tenglama orqali $i(t)$ egri chizig'i beriladi va vaqtning har bir nuqtasida tokning qiymati i_{μ} yakor reaksiyasidagi magnitsizlanishni hisobga olgan holda aniqlanadi. Agar i ning qiymati keyingi hisoblashlarga qadar oldingi hisoblashlarda olingan i dan sezilarli farq qilsa, u holda bu farqni $\Phi(t)$ va $i(t)$ egri chiziqlarni ikkinchi hisoblash bilan tuzatiladi. Ko'pincha amaliy hisoblashlarda katta xatolarsiz salt ishlashdagi magnitlanish egri chizig'idan i_{μ} olinadi. Hisoblashlar amalga oshirilgandan keyin $i(t)$, $\Phi(t)$, $\frac{i_{uyurma}}{\omega_q}(t)$ egri chiziqlari quriladi (5.8-rasm).



5.8-rasm. Motor kuchlanishi va yakor aylanishi tiklangandagi $\Phi(t)$, $i(t)$, $i_{\mu}(t)$, $\frac{i_{uyurma}}{\omega_q}(t)$ bog'lanishlar grafigi.

Tortuv motorining zanjiridagi kuchlanishning aktiv pasayishi asosan past bo'ladi, shuning uchun uni hisobga olmagan holda (5.12) tenglama quyidagi ko'rinishga ega bo'ladi.

$$C_v v \Phi + 2p\sigma\omega_q \frac{d\Phi}{dt} + L \frac{di}{dt} \approx U_k \quad (5.14)$$

Bu tenglamani yechib, magnit oqimining o'zgarish qonunini olamiz

$$\Phi = \Phi_u [1 - \exp(-t/T_q)] \quad (5.15)$$

bunda, $T_q \approx (2p\sigma \cdot \omega_q L) / (C_v L_q)$ – vaqt doimiysi. Vaqt doimiysi bu agarda motor yakori aylanmaganda mashinaning magnit oqimi o'zining turg'un holatidagi Φ_u qiymatiga erishgan vaqt hisoblanadi. Tokning xarakterli maksimumi mavjudligi (5.8-rasmga qarang) uyurma toklarning mavjudligi bilan izohlanadi (5.7) ifodaga qarang. Maksimumning qiymati uyurma toklarning ortishi bilan ortadi. Shixtalangan magnit tizimidan foydalanganda, teskarisi $i_{uyur} = 0$ va tokning o'sish egri chizig'i $i_\mu(t)$ ga yaqinlashadi. Agarda o'tkinchi jarayonlar tenglamasini yechishda usullarni qo'llaganda uyurma toklarning real konturini ekvivalent fiktiv kontur bilan almashtirishda, magnitlanish egri chizig'ini approksimatsiya qilish lozim bo'ladi, bu hisoblashni ancha murakkablashtiradi. O'tkinchi jarayoni tenglamasining yechishning bunday usuli ko'pincha aniq ma'lumotlar olish uchun zamonaviy kompyuter texnologiyalaridan foydalanish mumkin bo'ladi. Motor zanjiri uchun o'tkinchi jarayonlarning birlamchi tenglamasi sifatida (5.12) tenglama qabul qilinadi uyurma toklarning yashirin konturi uchun (5.11) qabul qilinadi. (5.12) tenglamani yechib va to'liq qo'zg'atish deb hisoblab $i = i_q$ olamiz.

$$i = i_\mu \frac{\omega_q \cdot \sigma}{r_c \cdot \omega_q} \frac{d\Phi}{dt} \quad (5.16)$$

(5.22) va (5.26) tenglamalar sistemasini o'zgartiramiz. Magnitlanish toki va magnit oqimi o'rtasidagi bog'liqlikni hisobga olib, mashinaning $i_\mu(\Phi)$ yuklamadagi magnitlanish egri chizig'i bilan ifodalaymiz quyidagini olamiz.

$$\frac{di}{dt} + \frac{r_m}{L} i + \frac{2p\sigma \cdot \omega_q}{L} \frac{d\Phi}{dt} + \frac{C_v v}{L} \cdot \Phi = \frac{U_k}{L} \quad (5.17)$$

$$\frac{\omega_0^2 \sigma}{r_0 \cdot \omega_q} \frac{d\Phi}{dt} + i_\mu(\Phi) = i \quad (5.18)$$

Olingan tenglamalar sistemasi $i_\mu(\Phi)$ – chiziqsiz bog'lanishni faqat yaqinlashtirish usuli bilan grafikni bo'lak chiziqli approksimatsiyalash usulini qo'llash bilan yechish mumkin. Absissalar o'qi bo'yicha magnitlanish egri chizig'i (talab etiladigan aniqlikka asosan ma'lum oraliqdagi aniq son bo'yicha bukib chiqiladi).

Har bir oraliq uchun egri chiziqli bog'lanish chiziqligiga almashtiriladi. Magnitlanish toki n -chi oraliq uchun

$$i_\mu = K_{(n)} \Phi - i_{\mu 0(n)} \quad (5.19)$$

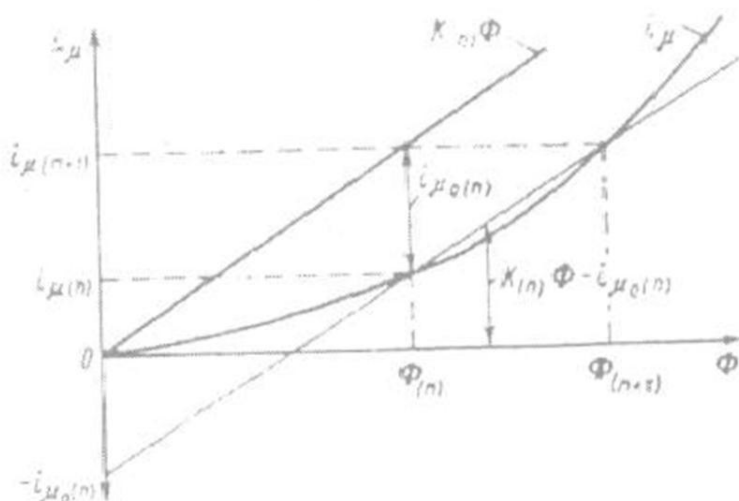
bunda, $K_{(n)}$ – n – m oraliqdagi oqim va magnitlanish toki orasidagi proporsionallik koeffitsiyenti; $i_{\mu 0(n)}$ har bir oraliqdagi grafik usulda (5.9-rasm) aniqlangan doimiylik magnitlanish toki.

Proporsionallik koeffitsiyenti

$$K_{(n)} = i_{\mu(n+1)} - i_{\mu(n)} / (\Phi_{(n+1)} - \Phi_{(n)})$$

bunda, $\Phi_{(n)}, i_{\mu(n)}$ va $\Phi_{(n+1)}, i_{\mu(n+1)}$ – mos holda oraliqning boshi va oxiridagi oqim va tokning qiymatlari. Tokning qiymati i_μ ning qiymati (5.29) dan (5.28) – tenglamaga qo'yilsa quyidagini olamiz

$$\frac{\omega_0^2 \sigma}{r_0 \cdot \omega_q} \frac{d\Phi}{dt} + K_{(n)} \Phi - i_{\mu(n)} - i = 0 \quad (5.20)$$



5.9-rasm. Tortuv motorining magnitlanish egri chizig'ini bo'lak chiziqli approksimatsiyalash prinsipini tushuntirish uchun.

(5.17) va (5.20) tenglamalarni birgalikda magnit oqimga nisbatan yechish natijasida quyidagini olamiz

$$\frac{d^2 \Phi}{dt^2} + 2m \frac{d\Phi}{dt} + D^2 \Phi = A \quad (5.21)$$

bunda

$$2m = 2p \frac{r_0 \omega_0^2}{\omega_0^2 L} + \frac{r_m}{L} + \frac{r_0 \omega_0^2}{\omega_0^2 \sigma} K_{(n)} ;$$

$$D^2 = \frac{r_0 \omega_0^2}{\omega_0^2 L} (C_v v + K_{(n)} r_m)$$

$$A = \frac{r_0 \omega_0^2}{\omega_0^2 L} (U_k - i_{\mu 0(n)} r_m)$$

Har bir oraliqda $2m$, D^2 va A koeffitsiyentlar doimiy bo'lib qoladi. (5.21) tenglamaning umumiy yechimi quyidagi ko'rinishga ega bo'ladi.

$$\Phi = \exp(-mt) [C_1 \exp(\sqrt{m^2 - D^2} t) + C_2 \exp(-\sqrt{m^2 - D^2} t)] + \Phi_0 \quad (5.22)$$

bunda, Φ_0 —(5.21) tenglamaning xususiy yechimi:

$$\Phi_0 = \frac{A}{D^2}$$

C_1 va C_2 integrallash doimiylari boshlang'ich shartlar ($t=0$, $\Phi=\Phi_0$ va $\frac{d\Phi}{dt}=0$) bajarilganda aniqlanadi. Topshiriq yechilishining umumiyliigi uchun jarayon boshlanishidagi magnit oqimi F_{ning} belgilanishini saqlab qolamiz. Tortuv motorlari uchun ko'pincha $m^2 > D^2$ bu yechishga mos keladi.

$$\Phi = \frac{1}{2} (\Phi_0 - \Phi'_0) \left[\left(1 + \frac{m}{\sqrt{m^2 - D^2}} \right) \exp(-m + \sqrt{m^2 - D^2}) t + \left(1 - \frac{m}{\sqrt{m^2 - D^2}} \right) \exp(-m - \sqrt{m^2 - D^2}) t + \Phi'_0 \right] \quad (5.23)$$

Koeffitsiyentlar m , D^2 va A larning qiymatlari har bir oraliq uchun hisoblanadi. Oraliqlar bo'yicha magnit oqimini hisoblash ketma-ket ravishda ruxsat etilgan qiymatga yaqin qiymatni olguncha amalga oshiriladi. Buning uchun, mazkur oraliq oxiridagi magnit oqimi qiymati, keyingi oraliq uchun boshlang'ich qiymat qilib qabul qilinadi. Olingan ma'lumotlar asosida $\Phi(t)$ bog'lanish quriladi. Boshlanish $i_{\mu}(t)$ mashinaning magnit xarakteristikasini hisoblashda olingan $\Phi(t)$ va $i_{\mu}(\Phi)$ boshlanishlar ma'lumotlari asosida quriladi. Buning $\Phi(t)$ bog'lanish egri chizig'i vaqt

bo'yicha bir qator oraliqlarga bo'linadi. Vaqtning har bir oralig'i u magnit oqimi Φ hisoblanadi va magnitlanish egri chizig'i $i_\mu(\Phi)$ orq topiladi. Tokning vaqt bo'yicha o'zgarishini hisoblash (5.16) teng bo'yicha amalga oshiriladi. Buning uchun $i_\mu(t)$ va $\Phi(t)$ bog'lanishdag chiziqlar vaqt bo'yicha nisbatan kichik bir xil oraliqlarga bo'linadi bog'lanish egri chizig'i oraliqlarning o'rta nuqtasidan i_μ tok aniqla Tanlangan oraliq vaqti uchun olingan son qiymatidan hosila quyida bo'ladi.

$$\left(\frac{d\Phi}{dt}\right)_{0.5r(n)} = \frac{\Phi_{(n+1)} - \Phi_{(n)}}{t_{(n+1)} - t_{(n)}} \quad ($$

bunda, $t_{(n)}$ va $t_{(n+1)}$ – qarayotgan oraliqdagi vaqtning boshlang'i oxirgi qiymatlari.

Bog'lanish $i(t)$ ni qurishda, shuni hisobga olish lozimki, t qarayotgan oraliqda topilgan tokning qiymati o'rtacha qiymatga keladi. Chunki, bunda tortuv motorlari ko'pincha tortuv mot qo'zg'atish chulg'amini shuntlash bilan susaytirilgan qo'zg'at ishlaydi, shuning uchun bu rejimda o'tkinchi jarayonlarni tahlil qilish ham muhim hisoblanadi. Susaytirilgan qo'zg'atish rejimida ham r zanjirlari uchun to'liq qo'zg'atish uchun olingan birlamchi tenglamal foydalaniladi, biroq aktiv qarshiliklarda kuchlanishning pasq qarshilikning r_{mtq} dan r_{mqch} gacha o'zgarishiga qarab o'zgaradi. Bu tashqari shuntlangan qo'zg'atish chulg'ami induktivligini kamayishi $t K_a$ koeffitsiyent 0,8 gacha ortadi. Agar i_{rmoq} qiymatini hisobga olma holda magnit oqimi (5.14) tenglama yordamida aniqlanadi. (5.7) va tenglamalardan foydalanib, $i_q(t)$ bog'lanishni topish mumkin. Yake tokning $i_{ya}(t)$ o'zgarishni aniqlash uchun, qo'zg'atish chulg'ami zan shunt bo'yicha tenglama tuzamiz (5.10-rasm)

$$i_{ya} = i_q + i_{sh} \quad ($$

$$2p\sigma \cdot \omega_q \frac{d\Phi}{dt} + r_q i_q - i_{sh} \cdot R_{sh} - \omega_{sh} \frac{d\Phi_{sh}}{dt} = 0 \quad ($$

yoki

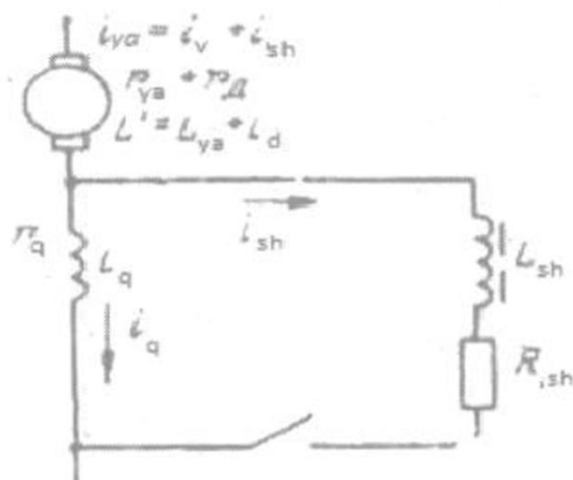
$$2p\sigma \cdot \omega_q \frac{d\Phi}{dt} + r_q i_q - i_{sh} \cdot R_{sh} - L_{sh} \frac{di_{sh}}{dt} = 0 \quad ($$

bunda: ω_{sh} – shuntlovchi chulg'am o'ramlar soni; Φ_{sh} – shuntidagi n oqimi; L_{SH} – shuntning induktivligi.

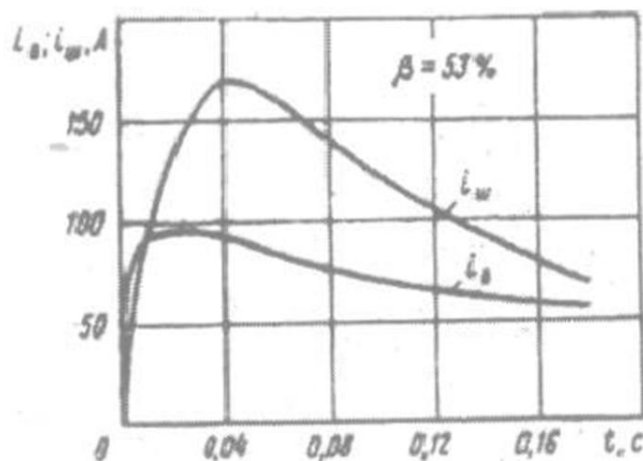
(5.27) tenglamadan quyidagiga ega bo'lamiz:

$$\frac{di_{sh}}{dt} = \frac{2p\sigma\omega_a \frac{d\Phi}{dt} + r_g i_g R_{sh}}{L_{sh}} \quad (5.28)$$

$\Phi(t)$ va $i_q(t)$ bog'lanishlar ma'lum, induktiv shuntning L_{sh} (i_{sh}) ning ma'lum xarakteristikasidan son jihatidan integrallash bajarilsa $i_{sh}(t)$ bog'lanishni aniqlash mumkin, a (5.25) va (5.28) tenglamalar yordamida $i_{ya}(t)$ bog'lanish aniqlanadi.



5.10-rasm. Qo'zg'atish chulg'amini shuntlash bilan qo'zg'atishni susaytirishdagi motor zanjiri sxemasi.



5.11-rasm. Tortuv motori chulg'amlarida kuchlanishning tiklanishida shuntidagi va qo'zg'atish chulg'ami zanjiridagi toklar egri chizig'i.

O'tkinchi jarayonlardagi toklarning taqsimlanishini tahlil qilish bilan, induktiv shuntlar xarakteristikalarini to'g'ri tanlash mumkin bo'ladi. O'tkinchi jarayon vaqtida shuntidagi tok qo'zg'atish chulg'amidagi tokdan katta. Bu uning induktivligining pasaytirilgan qiymatiga mos keladi.

O'zgaruvchan tok lokomotivlaridagi tortuv motorlarida o'tkinchi jarayonlar kontakt tarmog'idagi kuchlanishning sakrab o'zgarishiga olib keladi, u tok qabul qilgich va kontakt o'tkazgichlar orasidagi kontaktning tiklanish ishiga va buzilishiga olib keladi. Ular ham o'zgarmas tok EHTlaridagi tortuv motorlari kontakt tarmog'idan katta induktivlikka ega bo'lgan zanjir bilan ajratilgan. Hisoblashlarda zanjirdagi barcha induktivlikni va motor kuchlanishi sakrashini silliqlovchilarni hisobga olish lozim.

Nazorat savollari

1. O'tkinchi jarayon nima va uning tortuv motorlariga ta'siri?
2. Asosiy qutb magnit o'tkazgichdagi uyurma toklarining ta'siri?
3. Kontakt o'tkazgichdan o'tkinchi jarayon qanday yuzaga keladi?
4. Asosiy qutb chulg'aming o'tkazuvchanligi nimaga bog'liq bo'ladi?
5. Kompensatsion chulg'am paza qimining o'tkazuvchanligi nimaga bog'liq bo'ladi?
6. Yakor chulg'aming to'liq induktivligi qanday qismlardan iborat?
7. O'tkinchi jarayonlarni qanday hisoblanadi?
8. O'tkinchi jarayonlar vaqtini kamaytirish qanday amalga oshiriladi?

6-bob. Tortuv elektr motorlarning konstruksiyalari

6.1-§. Tortuv elektr motorlarning konstruktiv rivojlanishiga ta'sir qiluvchi faktorlar

Tortuv elektr motorlari – elektr harakat tarkibi (EHT) jihozlarning muhim elementidir, undan mexanik energiyani o'zgartirishda poyezdning harakatlanishi ishning asosiy funksiyasini bajarishda, tashish jarayonlarini amalga oshirishda qo'llaniladi. Tortuv motorlarning konstruktiv rivojlanishi shu funksiyalar bajarilishini takomillashtirishga qaratilgan. Tortuv motorlarning rivojlanishiga ilmiy-texnikaviy rivojlanish sezilarli va har tomonlama ta'sir ko'rsatmoqda. Masalan yuqori tezlikli harakatda to'g'ri chiziqli motor asosida qurilgan reaktiv yuritmalar ishlab chiqarishda qo'llanilmoqda. Keyingi vaqtlarda berilgan xarakteristikalarda ishlaydigan motorli yuritmalar muhim o'rin tutmoqda. Yarim o'tkazgichli texnikalarning rivojlanishi bilan elektromexanik kommutatsiyali motorlardan kollektorsiz mashinalarga o'tish imkoniyati yaratildi. Ularda kommutatsiya yarim o'tkazgichli o'zgartgichlar yordamida amalga oshiriladi. Tortuv motorlarini doimiy takomillashtirish ko'pgina qarama-qarshiliklarni yechish zarurligi bilan amalga oshirilmoqda. Masalan motorlarni tubdan soddalashtirish – kollektorsiz konstruksiyaga o'tish-ularning energiya bilan ta'minlash tizimini murakkablashishga hamda yuritmaning energetik ko'rsatkichlarini pasayishiga olib keladi; ramaga osish qurilmasini qabul qilish-ishlash sharoitini yengillashtirish va motor konstruksiyasini soddalashtiradi, ishlash sharoitini og'irlashtiradi va tortish uzatmasi konstruksiyasini murakkablashtiradi; massani va metall hajmini kamaytirish uchun konstruktiv zaxirani pasaytirish, konstruksiyaning va tayyorlash texnologiyasining murakkablashishi bilan amalga oshadi, ba'zida esa ishonchligini pasaytiradi.

Mashina va uning qismlarini tayyorlash ularning quvvatiga bog'liq, bunda elektrovozlar uchun ko'pincha ish rejimiga ko'ra hisoblangan tushish va ko'tarilishga mos holda aniqlanadi. Oxirgi rejim bo'yicha hisoblashda, ya'ni harakat tezligi v_r va lokomotivning bir g'ildirak juftiga to'g'ri keladigan massasi m_k berilganda

$$P_n = \xi m_k \Psi(v_r) v_r K_z \equiv m_k v_r \quad (6.1)$$

bunda: ξ – o'lchov birligi tizimini tanlashga bog'liq bo'lgan koeffitsiyent; K_z – ko'rilayotgan rejim uchun zaxira koeffitsiyenti.

Ishga tushirish rejimi bo'yicha zarur bo'lgan quvvatni hisoblashda

$$P_n = j \xi m_k \Psi_k(v_{UT}) v_{i,T} k_3^1 / k_{u,m} = F_{i,t} v_{i,t} \xi k_z^1 / k_{i,t,e} \equiv m_k v_{i,t}. \quad (6.2)$$

6.2-tenglamadan $\Psi_k(v_{i,t}), \xi^1, k_3^1$ qiymatlar ishga tushirish tugallangandagi tezlikka $v_{i,t}$ mos keladi, $F_{i,t}$ – tortishishning ishga tushirish kuchi.

Nominal rejimdagi v_{nom} va $v_{i,t}$ tezliklar, konstruksion tezlik v_{max} bilan quyidagi munosabat bilan bog'langan.

$$v_{max} \equiv (1,8 \div 2,1) v_{nom} \quad v_{max} \equiv (1,7 \div 2,4) v_{i,t}$$

Tortuv elektr motorlarining quvvati m_n va v_{max} larning ko'paymasiga bog'liq bo'ladi, ular lokomotiv va yo'lning ustki qurilmalarining o'zaro ta'siri bilan aniqlanadi.

Yo'lning ustki qurilmalarining xarakteristikasidan tashqari tarkibdagi resorlangan qism massasi ham muhim ahamiyatga ega bo'ladi. Shuning uchun EHTni katta masofalarda foydalanishda motorni ustun-o'qli osishdan ramali osishga o'tkazish muhim hisoblanadi.

6.2-§. Tortuv motori asosiy parametrlarining tortuv uzatmalari bilan bog'liqligi

Harakatlanuvchi g'ildiraklar juftligi, tortuv motori va tortuv uzatmalari tortuv yuritmalari g'ildirak motorli bloki jamlamasini tashkil qiladi. Bu jamlamaning asosiy parametrlari, asosan tortuv motorlari va tortuv uzatmalarida bir-biriga bog'liqdir. Tortuvchi uzatmalarining konstruksiyasi xilma-xil bo'ladi.

100-110 km/soat tezlikda ko'pincha tirgakli-o'qli osish qo'llaniladi, bunda bir tarafdin motor harakatlanuvchi o'qqa tirkaladi, ikkinchi tarafdin aravacha ramasiga osilgan bo'ladi. Katta tezlikda ramaga osish usuli qo'llaniladi, bunda motor to'liq aravacha ramasiga o'rnatilgan bo'ladi. Keyingi vaqtlarda past tezliklarda ham ramaga osish qo'llanilishi kuzatilmoqda.

Motorlarni tirgak-o'qli osishda (6.1,a- rasm) g'ildirak juftligi 1 o'qi va 3 motor o'qini har qanday g'ildirak juftining 5 aravacha ramasiga nisbatan surilishini o'zgarmaydigan parallelida kerakli miqdorda sodda ta'minlab beradi hamda tishli uzatmalar markazlari orasidagi masofani L (sentral) doimiyligini ushlab turadi.

Sentral uzatma va motorning asosiy o'lchamlarini bir-biriga bog'laydi.

Tishli uzatmalar uchun

$$L = 0,5(D_3 + d_3) = 0,5m(Z + z) \quad (6.3)$$

bunda: D_3, d_3, Z, z – mos holda motor o'qidagi katta tishli g'ildirak va shesterna diametri va ularning tishlari soni; m – nominal rejimda aylanish momenti M_{nom} ga bog'liq bo'lgan ilakishning moduli.

Modulning taxminan normallashtirilgan qiymati quyidagicha, mm

$$m \approx m_0 + 1,5 \cdot 10^{-3} M_x \quad (6.4)$$

bunda: $m_0 \approx 8,3 \div 9,2$ – to'g'ri tishli uzatmalar uchun va $m_0 \approx 7,0 \div 8,2$ – qiyshiq tishli uzatmalar uchun; M_h – hisoblangan uzatish momenti; $M_h = M_{nom}$ – bir taraflama va $M_h = \frac{M_{nom}}{2}$ – ikki taraflama uzatmalarda.

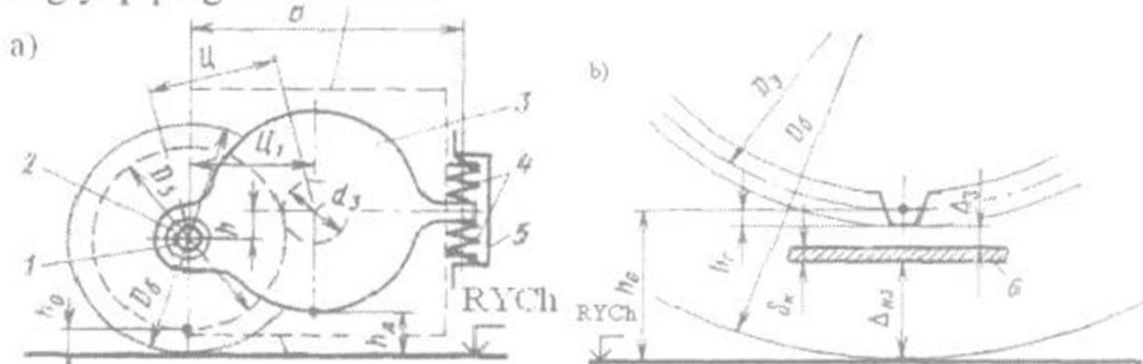
Tishli uzatmalarning uzatishlar nisbati $\mu = \frac{Z}{z} = \frac{D_3}{d_3}$

Shunga mos holda $U = 0,5 D_3 (1 + 1/\mu)$

Tishli g'ildirakning eng katta diametri (6.1, b-rasm) harakatlanuvchi g'ildirakning D_b aylana bo'ylab surilishining $D_3 = D_b - 2h$ bog'lanishi bilan aniqlanadi (bunda, h – rels kallagidan tishli g'ildirakning ilakish aylanisigacha bo'lgan minimal masofa). Tirgak o'qli osilgan tortuv motorlari uchun $h_0 = \Delta_{nz} + \delta_k + \Delta_3 + h_r$; ramaga osilganlari uchun

$$h_p = \Delta + \delta_{kr} + \Delta_3 + h_r$$

bo'ladi. Bu yerda: $\Delta_{nz} = 100 \text{ mm}, \Delta = 150 \text{ mm}$ – elektr harakat tarkiblarining ressorlangan va ressorlanmagan qismlarini rels kallagigacha bo'lgan normalashtirilgan minimal bo'shliq; $\delta_{ko} = 5 \div 6 \text{ mm}, S_{kr} = 6 \div 12 \text{ mm}$ – tishli uzatma qobig'ining tirgak o'qli osishdagi va ramada osishdagi qalinligi; $\Delta_3 \geq 5 \text{ mm}$ – tishli uzatma va qobiq orasidagi bo'shliq; $h_r \approx m$ – tish kallagining balandligi. Shesternaning tishlari z soni chegaralangan, chunki ularda kesilish shartining yo'qligi – bo'linuvchi aylanaga nisbatan asosining yupqaligi hisoblanadi.



6.1, a-rasm. EHTda tortuv elektr motorini tirgak-o'qli osish sxemasi va b) tortuv uzatmalari orasidagi bo'shliq.

1–g'ildirak juftligi o'qi, 2–g'ildirak-motorli buksa, 3–tortuv motori, 4–osish prujinasi, 5–aravacha ramasi, 6–uzatma qobig'i.

To'g'ri tishli g'ildiraklarda elektrovozlar uchun eng kam tishlar soni $z_{\text{st}} \geq 20 \div 21$ va qiyshiq tishlida $z_{\text{st}} \geq 16 \div 17$ ta bo'ladi.

Elektr poyezdlarida esa to'g'ri tishlarida $z_{\text{st}} \geq 16 \div 17$ va qiyshiq tishlar uchun $z_{\text{st}} \geq 12 \div 14$ ta qilib tayyorlanadi.

Eng katta mumkin bo'lgan uzatishlar nisbati

$$\mu_{\delta} \leq (D_{\delta} - 2h) / (m z_{\text{st}}) \quad (6.5)$$

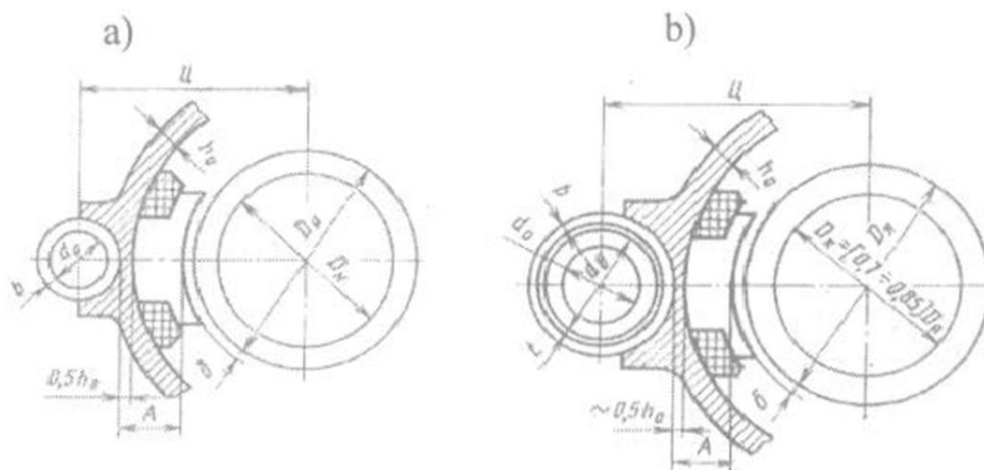
Mos holda eng kam sentral

$$U_M = 0,5 (D_{\delta} - 2h + m z_{\text{st}}) = 0,5 (D_{\delta} - 2h) (1 + 1/\mu_{\delta})$$

M ning qiymati oshishi va U ning kamayishi motorning massasi o'lchamlarini kamayishiga olib keladi, lekin bunda ba'zi cheklashlar va qarama-qarshiliklar yuzaga keladi. Masalan, μ ning oshishi yakorning eng yuqori aylanish chastotasini n_{δ} va uning ortiqcha aylana bo'ylab tezligini yuzaga keltirishi mumkin, m/s

$$v_{y\kappa\delta} \cong 0,276 v_{\delta} \mu_{\delta} D_{y\kappa} / D_{\delta} \leq 60 \div 75 \quad (6.6)$$

bunda: $v_{y\kappa\delta}$ — lokomotivning berilgan konstruktiv tezligi, km/soat;
 D_{δ} — surilish aylanasi bo'yicha harakatlanuvchi g'ildirak diametri, m.



6.2-rasm. Sentral o'lchamlari bo'yicha tortuv motorini joylashishi.

Bu cheklashlar yakor chulg'aming, kollektorning mahkamlanish mustahkamligi bilan bog'liq hamda ch'otka-kollektorli apparatlarining ishlash ishonchligiga bog'liq.

Bir tishning bir necha marta oshirilgan ilakish chastotasini hisobga olmaganda, ularning Z va z tishlari sonining yeyilishining va ishdan chiqishining bir xil emasligi karrali bo'lmasligi lozim. Oddiy

kuchaytiruvchilarga joylashtirilganda ularning tarkibida bir xil elementlari bo'lmashligi lozim.

Motorning barcha qismlari sentral chegarasida joylashtirilishi lozim.

Tirsak – o'qli osishda (6.2, a -rasm)

$$L = 0,5(D_{ya} + d_0) + A + \delta + b \quad (6.7)$$

bu yerda, b – g'ildirak motorli buksa vkladishi qallinligi .

Qaralayotgan bog'lanishga kiruvchi o'lchamlar 6.2-rasmda ko'rsatib o'tilgan.

Ramaga osilgan va kardanli uzatmada

$$L = 0,5(D_{ya} + d_0) + A + \delta + e \quad (6.8)$$

bunda, $e \cong 5 \div 6 \text{ MM}$ – g'ildirak juftligi o'qining aravacha ramasiga nisbatan eng yuqori gorizonta siljishi.

Barcha turdagi uzatgichli ramaga osilgan motorlarda devorning qalinligi t va ichki diametri d_u bo'lgan oraliq yarim o'qli bo'lishi ko'zda tutilgan.

$$L = 0,5(D_{ya} + d_a) + A + \delta + t + b = 0,5(D_{ya} + d_0 + 2f_p) + A + \delta + t + b \quad (6.9)$$

Bunda, $f_R \cong 35 \div 40 \text{ MM}$ – resorli osilgan aravachadagi buksa guruhining maksimal egilishi. Ikki ustunli uzatishda va oraliq tishli g'ildirakli guruhli yuritmalarda motor o'lchamlari sentral qiymati bilan chegaralanmaydi. Yakor diametri D_{ya} va sentral orasidagi nisbat tortuv motorining osilish usuliga bog'liq bo'ladi. Uni sentral koeffitsiyenti bilan baholanadi

$$K_{\eta} = \frac{D_{ya}}{L}$$

K_{ts} ning qiymati tortuv motorlarini osish usuliga ko'ra quyidagilarni tashkil etadi:

Elektrovozlar uchun

Tayanch-o'qli osishda.....	1,03 ÷ 1,22
Ramali kardanli o'q bilan.....	1,15 ÷ 1,25
Ramali oraliq o'q bilan.....	0,75 ÷ 0,90

Elektr poyezdlar uchun

Ramali kardan mufta bilan.....	1,04 ÷ 1,07
Ramali kardan vali bilan.....	1,10 ÷ 1,18

Katta quvvati motorlar uchun gabarit o'lchamlaridan chegaralash motor o'qi markazini h_{11} o'q markazi ustundan yuqoriligini, bunda (6.2, a-rasimga qarang) $U = \sqrt{U_1^2 + h_u^2}$ bo'ladi. Bu rels kallagi va motorning past nuqtasi orasidagi bo'shliq h_d ni ta'minlash uchun kerak bo'ladi. Tortuv motorini ramada osishda $h_d \geq \Delta_3 = 150_{mm}$ bo'ladi.

Tortuv motorini tayanch-o'qli osishda

$$h_d \geq \Delta_{n3} + (\Delta_3 - \Delta_{n3})U_1 / B = 100 + 50U_1 / B.$$

Bu holda g'ildirak-motorli buksa vkladishlari yeyilishidan sentralning o'zgarishida mumkin bo'lgan tishlarining qisilishidagi bo'shliq quyidagiga

$$h_{tr} \leq (0,30 \div 0,35)U_1$$

teng bo'lishi lozim. Tortuv motorlarni ramaga osishdagi ko'pgina uzatishlar uchun bunday chegaralanishlar yo'q. Motorlarning o'q yo'nalishi bo'yicha o'lchamlari tortuv yuritmalari konstruksiyasiga bog'liq bo'ladi.

Ikki yoqlama uzatmada tortuv motorining o'q uzunligi tirgak-o'qli va ramali osishda quyidagicha aniqlanadi (6.3, a-rasm).

$$\ell_o = \ell_K - 2(\Delta_1 + b_p + \Delta_2)$$

bunda: ℓ_K - g'ildirak bog'lamasining ichki oraliqlari masofasi; V_R - reduktor qobig'ining va korpusining eni; Δ_1, Δ_2 - mos holda bandaj va reduktor hamda reduktor va motor orasidagi bo'shliqlar.

Tortuv motorining bir taraflama uzatishida va tirgak-o'qli osilganida

$$\ell_g = \ell_K - (\Delta_1 - \Delta_2 + b_p + \Delta_2^I)$$

bo'ladi.

Tortuv motorining bir taraflama uzatishida va ramaga osilganida (6.3, b-rasm) motor o'qining uzunligi quyidagicha bo'ladi.

$$\ell_o = \ell_K - (\Delta_1 + \Delta_2 + b_p + \Delta_{m1} + b_M + \Delta_{M2})$$

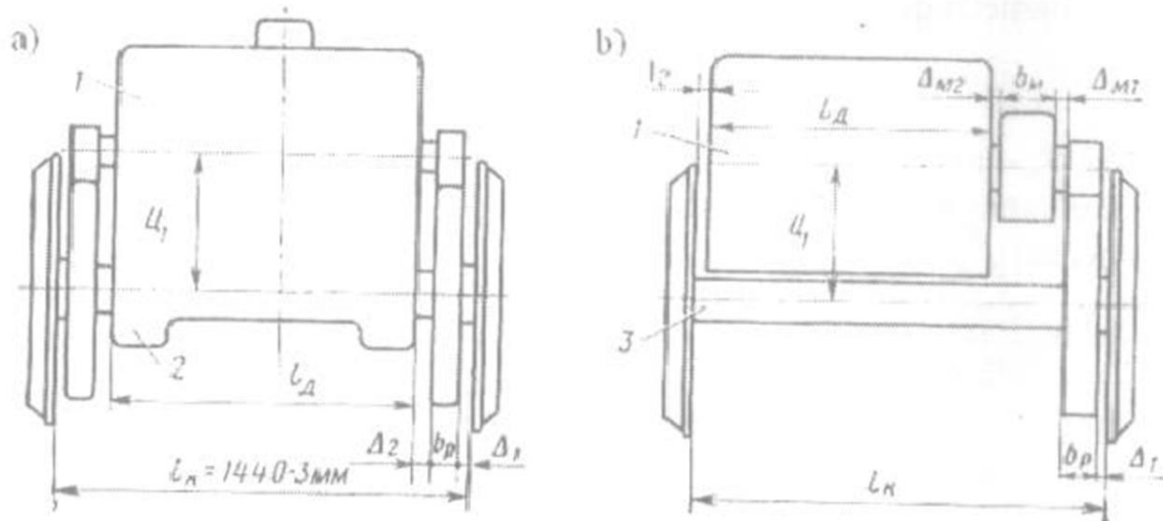
bunda: Δ_2^I - motor va bandaj orasidagi bo'shliq; Δ_{M1}, Δ_{M2} - mufta va reduktor hamda mufta va motor orasidagi bo'shliq; b_m - yuritma muftasining kengligi.

Tortuv motorining o'q o'lchamlarini g'ildirak izlarining kengligi bo'yicha qattiq chegaralash, ularning konstruksiyalari o'xshashligiga ta'sir qiladi. Umumiy qo'llanadigan elektr mashinalarida konstruksiyasining

o'xshashligi bir turdagi mashinalarda ularning o'lchamlari quvvatlariga bog'liq bo'ladi:

$$\frac{l}{l_0} \cong \sqrt[4]{P_{nom} / P_{nomo}}$$

O'xshashlik qonuni tortuv motorlarining o'qi o'lchamlariga ta'sir qilmaydi, a ko'ndalang o'lchamlari uchun $P=P_0 = \sqrt{P_{nom} / P_{nomo}}$ bo'ladi.



6.3-rasm. Ikki va bir taraflama uzatishda tortuv elektr motorining joylashishi. 1-tortuv motori, 2-g'ildirak motor buksasi, 3- g'ildirak jufti o'qi.

Tortuv motorlari yuritmasining rivojlanish tendensiyasi ularning tezligidan qa'tiy nazar ramaga osishni keng qo'llashga qaratilgan. Ramaga osishga o'tish natijasida mashinaning barcha ishiga va konstruksiyasiga sezilarli ta'sir qiladi: motorni tirgak - o'qli osishga nisbatan g'altak izolyatsiyasining qalinligini 20-30%ga kamaytirishga imkon yaratiladi.

Tortuv motorlarini ramaga osishda sezilarli darajada ko'p detallarning yeyilishi va shikastlanishi kamayadi, buning natijasida ta'mirlash oralig'idagi harakatlanishni 2-3 martaga oshiradi.

6.3-§. Yakor va rotorlar asosiy o'lchamlarini hisoblash

Umumiy mashinasozlikda elektr mashinalar yakorining asosiy o'lchamlari: diametri D_{ya} va o'zak uzunligi l_{ya} , aylanuvchi momentga bog'liq bo'ladi.

$$D_{ya}^2 * l_{ya} = C_A P_{nom} / n_{nom} \cong M_{nom} \quad (6.10)$$

bunda, S_A - mashinalar tayyorlashning texnik holatiga bog'liq bo'lgan Arnold doimiysi.

Tortuv motorlarning barcha xususiyatlarini hisobga olgan holda P.A.Zolotaryov tomonidan quyidagi bog'lanish taklif etilgan:

$$D_{ya} \cdot \ell_{ya} = C_{ya} \cdot K_V \cdot P_{nom} \quad (6.11)$$

bunda, $C_{ya} = (0,14 \div 0,2)10^{-3}$ – tayyorlashning texnik holati doimiysi; K_V – tezliklar nisbati koeffitsiyenti. Yakor diametri yakor chulg'ami izolyatsiyasining issiqlikka chidamligiga ham bog'liq bo'ladi. Taxminan yakor diametri quyidagi ifoda bo'yicha aniqlanadi, sm:

$$D_{ya} \cong K \sqrt[3]{P_{nom} n_{nom}} \quad (6.12)$$

bunda, R_n – nominal quvvat, kVt.

Izolyatsiya sinfiga bog'liq holda K-koeffitsiyent quyidagi qiymatlarga ega bo'ladi.

Izolyatsiya sinfi	B	F	H
Koeffitsiyent K	650-750	620-700	600-675

O'lchamlarning chegaralanganligi sababli ikki taraflama uzatishda o'zak uzunligi $\ell_{ya} \leq (360 \div 430)_{mm}$, bir taraflama uzatishda esa $\ell_{ya} \leq (450 \div 480)_{mm}$ ga ega bo'ladi.

Yakor o'zagi aylanganda quyidagi chastota bilan qayta magnitlanadi, Gs.

$$f_{ya} = \frac{pn}{60}$$

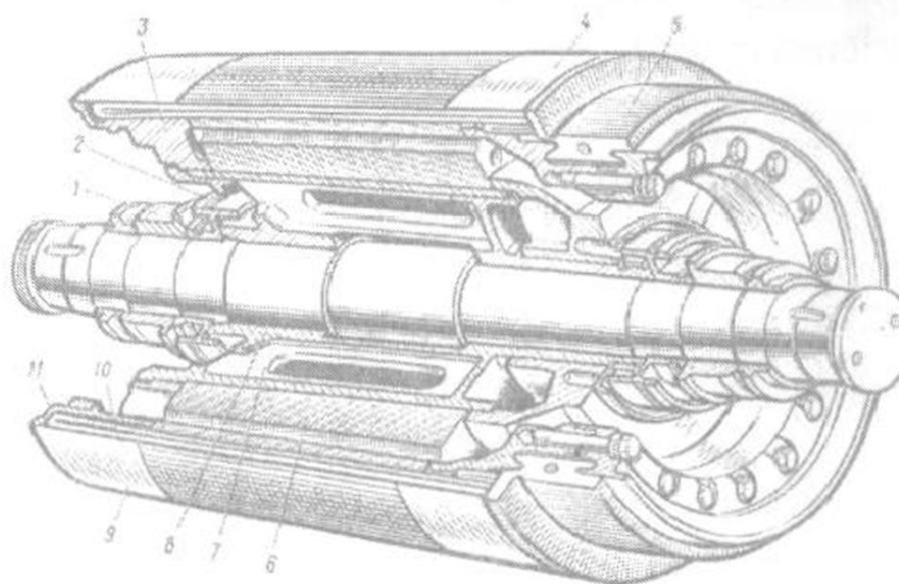
Bu chastotaga mashinalarning asosiy magnit isroflari bog'liq bo'ladi. Bundan tashqari qo'shimcha isroflarga tish qatlamlarida pulsatsiyalanuvchi oqim ta'siridan yuzaga keladigan isroflar ham kiradi. Bu pulsatsiyaning asosiy garmonikasi quyidagi chastotaga ega bo'ladi, Gs:

$$f_z = \frac{Zn}{60}$$

Magnit va qo'shimcha isroflarni kamaytirish uchun yakor o'zagi qalinligi 0,5 yoki 0,35 mm bo'lgan elektrotexnik po'lat plastinkalardan shixtlab tayyorlanadi va lak bilan 0,02 ÷ 0,03 mm qalinlikdagi plyonka bilan izolyatsiyalanadi va pechda quritiladi. Agar nominal rejimda induksiyasi 1Tl va chastotasi 50Gs bo'lganda, chastotasi $f_{ya, nom} < 35 \div 40Gs$ bo'lsa, solishtirma isrofi 2,3 ÷ 2,8 Vt/kg bo'lgan po'lat qabul qilinadi. Agar chastota $f_{ya, nom} < 40 \div 45Gs$ bo'lsa, solishtirma isrofi 2,3 ÷ 2,8 Vt/kg bo'lgan po'latdan

foydalaniladi. Tish yuzasida uning asosidan $\frac{1}{3}h_z$ balandligida hisoblangan induksiyasining qiymati $B_{1/3}=1,7 \div 2,3$ Tl qabul qilinadi. O'zakning markaziy qismidagi induksiya isrofini V_s kamaytirish uchun, 6.5, a -rasm diagrammaga asosan $f_{yu.nom}$ ga bog'lanish qabul qilinadi.

Yakorni sovutish uchun o'zakda (6.5,v-rasm,) bir-ikkita, ko'pi bilan uchta asosan aylana yuzali, diametri $d_n \geq 20 \div 30mm$ bo'lgan ventilyatsion kanallar o'rnatish ko'zda tutiladi.



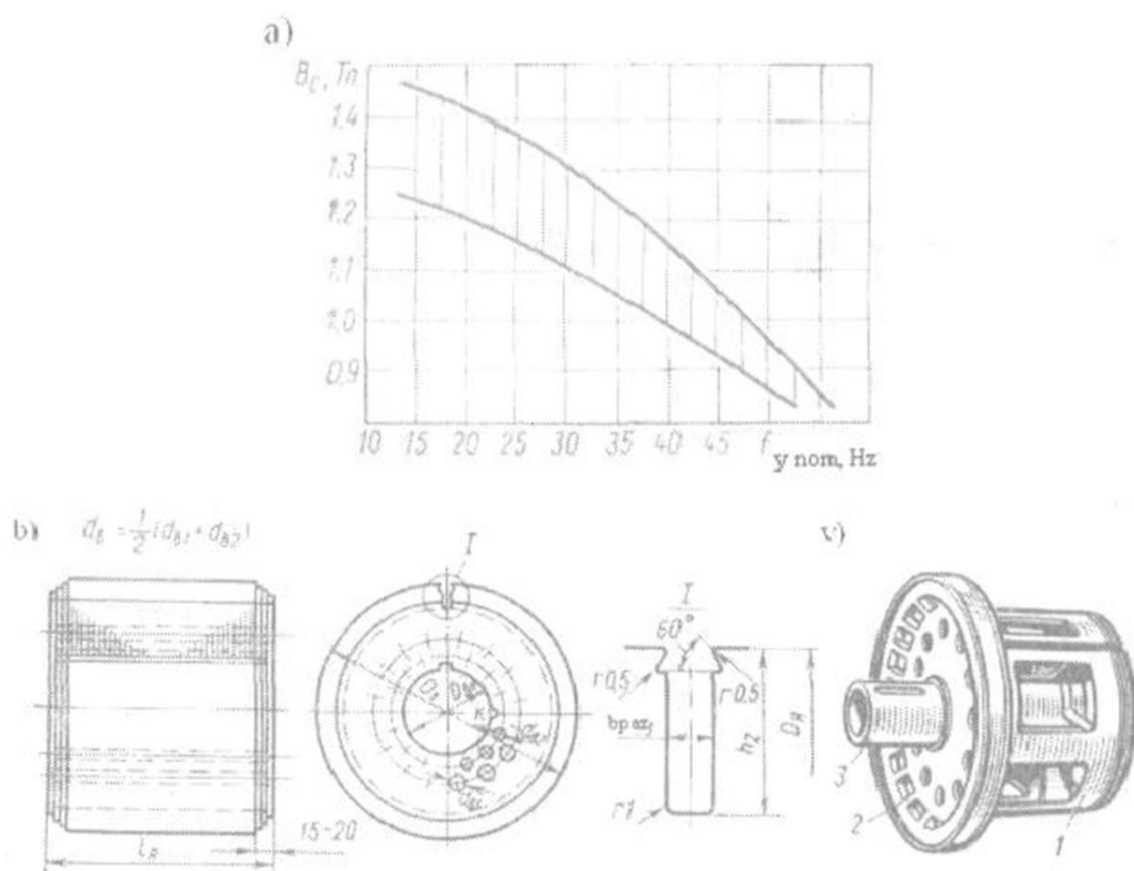
6.4-rasm. Elektrovoz motori yakori: 1-podshipnik halqasi; 2- labirintli halqa; 3- orqa qisish shaybasi; 4,9-old qismlar; 5- kollektor; 6-yakor o'zagi; 7- o'zak qutisi; 8-o'q; 10- oynali bandaj; 11- chulg'am.

Agar shamollatish kanali aylana radiusi r_v ixtiyoriy ko'rinishida bo'lib, 10mm dan kam bo'lsa, unda ko'p miqdorda chang turib qoladi, bunga yo'l qo'yib bo'lmaydi.

O'zak plastinkalari shponkaga yig'iladi va vtulkaga yoki yakor qutushiga $(0,40 \div 0,55)10^4$ Pa bosim ostida presslanadi. Chunki oxirgi plastinkalarni qisish yaxshi bo'lmasa, ularning tish qismida tebranishlar yuzaga keladi, u chulg'am izolyatsiyasini yemiradi, shuning uchun ular nuqtaviy payvandlanadi yoki yelim bilan mustahkamlanadi. Ba'zida oxirgi plastinkalar diametri asta sekin pasayuvchi bo'ladi. O'zak plastinkalarining bir-biriga nisbatan o'zaro to'g'ri joylashishi ularni shponkaga yig'ish va k - nazorat belgisidan foydalangan holda erishiladi. O'zakda spiralsimon pazlar olish uchun spiralsimon shponkalardan foydalaniladi. Yig'ilgan o'zak plastinkalari oxiridan siqish shaybasi orqali siqiladi yakor chulg'amlari old qismlaridan mahkamlash uchun chulg'amga ushlagichlar

o'rnatiladi. Yakorning konstruktiv jamlamasi, uni tayyorlashda va ta'mirlashda butunligiga putur yetkazmaslik uchun – vtulka yoki quti orqali amalga oshiriladi. Faqat $D_{ya} < 300 \div 350 \text{ mm}$ li EHT motorlarida bevosita o'qqa o'zak plastinkalari joylashtirilgan vtulkasiz konstruksiya qo'llaniladi.

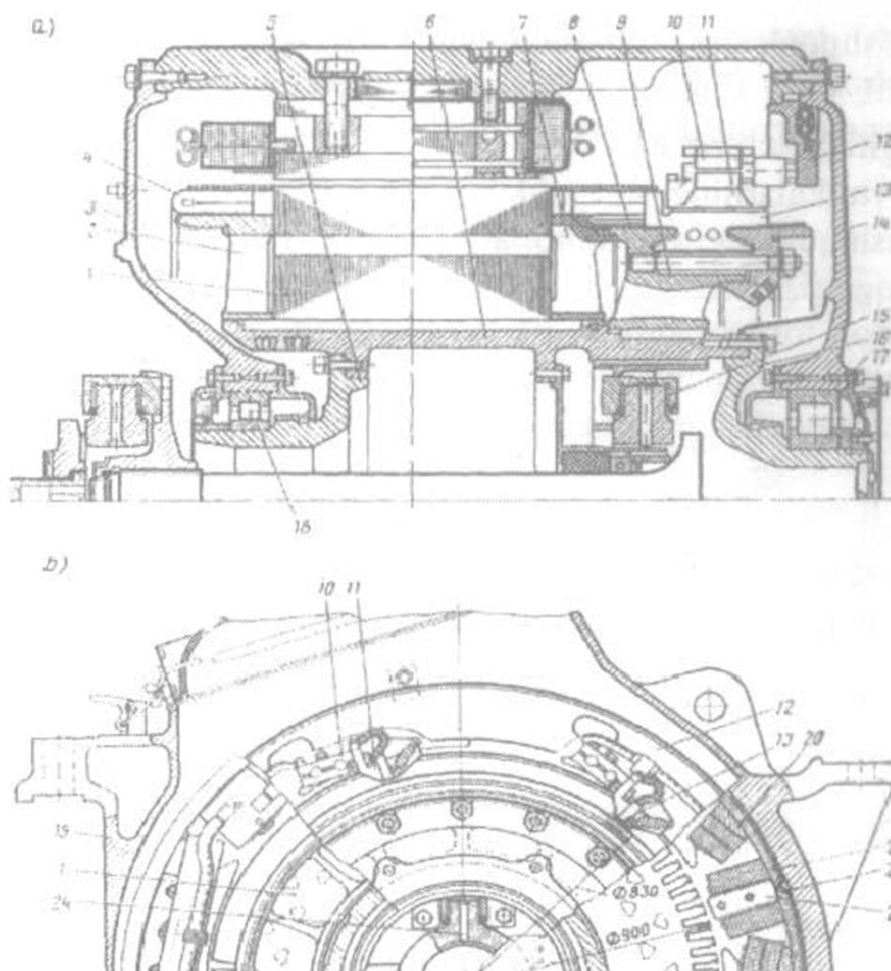
Bunda chulg'amni ishdan chiqishidan saqlash qiyin bo'ladi, chunki o'qdan chulg'amni olish jarayoni murakkab jarayondir. Ko'pincha vtulkaning tashqi diametri $D_{mash} \cong 1.1d_v + s$ (bunda d_v - o'qning vtulkani o'rnatadigan joyi diametri) bo'ladi. Agar o'zakning ichki diametri va d_v - ning farqi 50mm va undan yuqori bo'lsa qutidan foydalaniladi.



6.5-rasm. Yakor o'zagidagi induksiya egri chizig'ini hisoblash (a), shihtlangan paket (b), va yakor o'zagi qutisi (v).

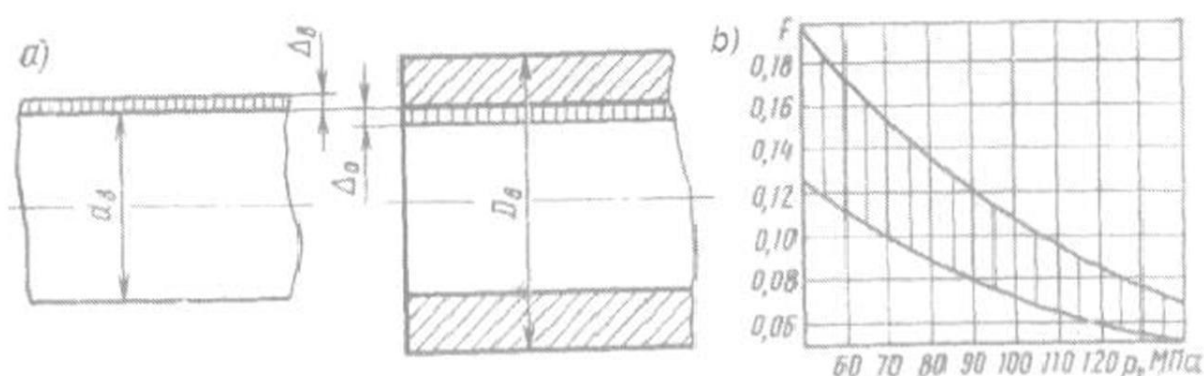
1-o'rnatish silindri; 2-qisuvchi flanets; 3-o'rnatiladigan vtulka.

Kardanli uzatmali, chekka o'qli sharnir muftasidan biri yakor ichida joylashtiriladi, yakor podshipniklari esa quti oxirida o'rnatiladi (6.6-rasm). Ba'zida bunday konstruksiya katta quvvatli mashinalarda yakor massasini kamaytirish uchun qo'llaniladi.



6.6-rasm. 1A14846dT tortuv elektr motorining bo'ylama (a) va ko'ndalang (b) kesimlari ($U_c = 3 \text{ kV}$; $U_{n.\text{nom}} = 1,5 \text{ kV}$; $I = 545 \text{ A}$; $R = 770 \text{ kVt}$):

1-yakor o'zagi; 2,7- old va orqa chulg'am ushlagichlar; 3,14-podshipnik qopqoqlari; 4-chulg'am; 5,16-yakor qutisi dumchalari; 6-yakor qutisi; 8-tenglashtirgich; 9-kollektor qutisi; 10-cho'tka ushlagich kronshteyini; 11-cho'tka ushlagich; 12-cho'tka ushlagichlar traversasi; 13-kollektor; 15-uzatma muftasi; 17,18-yakor podshipniklari; 19-ostov; 20-g'altak ustuni; 21-shixtalangan o'rnatgich; 22-plastmassali tiqin; 23-qo'shimcha qutb; 24-asosiy qutb.



6.7-rasm. Presslash tortmasi (a) va ishqalanish koeffitsiyentining presslash bosimiga bog'lanish grafigi (b).

O'qda shponkasiz o'rnatiladigan vtulkalarda 6.7,a-rasmga asosan tortish $\Delta = \Delta_v - \Delta_0$ (bunda Δ_v, Δ_0 — o'q diametri va vtulkalar (teshiklar) bo'yicha egilish deformatsiyasi).

Po'lat vtulkalarning mustahkamlik shartiga ko'ra, eng kam va eng yuqori tortish quyidagi ma'lumotlarga mos bo'lishi lozim:

O'q diametri, mm	50-8,	80÷120	120-180
Eng yuqori tortish, mm	0,065	0,090	0,120
Eng kam tortish, mm	0,015	0,03	0,05
Vtulka materialini presslashdagi kuchlanish			

$$\sigma \cong (\alpha^2 + 1)E \delta / (2 \alpha^2) \quad (6.13)$$

bunda, $E \cong (2,0 \div 2,1) 10^4 \text{ MPa}$ — po'latning egiluvchanlik moduli; S — nisbiy tortish; $\delta = \Delta / d_v$; α — vtulkaning tashqi va ichki diametrlari nisbati

$$\alpha = \frac{D_v}{d_v}.$$

O'qni presslashdagi bosimning vtulkaga ta'siri, Pa:

$$p_p \cong (\alpha^2 - 1)E \delta / (2 \alpha^2) \quad (6.14)$$

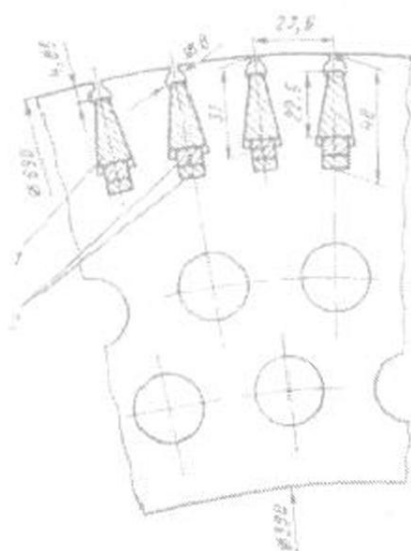
O'qni presslash kuchi, N:

$$P_p \cong \pi f p_p \sum \ell_i d_i \quad (6.15)$$

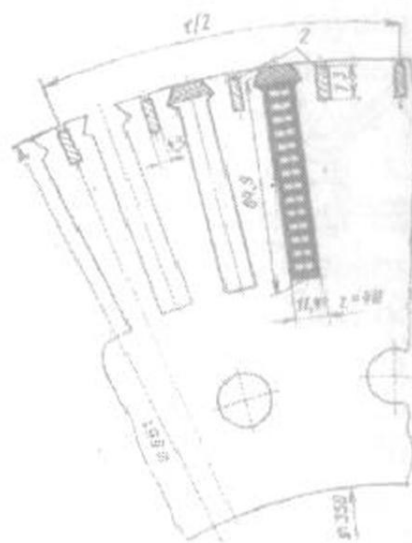
bunda: f — presslash bosimiga bog'liq bo'lgan presslashdagi ishqalanish koeffitsiyenti (6.7,b-rasm); ℓ_i, d_i — o'qni joylashtirish joyining uzunligi va diametri, m.

Chulg'am ushlagichlar (qisqich shaybalar) yakorning qutisida yoki vtulkaga o'rnatiladi va mahkamlanadi, ba'zida ular bilan birgalikda bajariladi (6.5,v-rasmga qarang). Ba'zida oldingi chulg'am ushlagich kollektor qutisi bilan birga tayyorlanadi. Orqa chulg'am ushlagichlar oxirgi himoyalash flanetsi kabi chulg'amning oldingi qism uchligini mexanik buzilishlardan saqlovchi (6.4-rasmga qarang) kabi va u siz (6.5,v - rasm, 6.6-rasm) bo'ladi. Chulg'amning ochiq orqa boshchasi - uning eng ko'p qiziydigan qismi yopiq holda tayyorlanganga nisbatan tez soviydi. Asinxron tortuv motorlarning rotori qisqa tutashtirilgan mis o'zakli chulg'amdan tayyorlanadi. 6.8-rasmda bunday motor rotori o'zagining trapetsiya kesimli chulg'am o'zagi sektori ko'rsatilgan. Bunday rotorlarning konstruksiyasi kollektorli mashinalarning yakori konstruksiyasiga nisbatan mustahkam bo'ladi.

Ventilli motorlarning elektromagnit tizimi sinxron mashinalar elektromagnit tizimi bilan bir xil bo'ladi. Ventilli motorlar uchun texnologik jihatidan noaniq ko'rinadigan qutbli va shixtalangan o'zakli rotorlar ko'p foydali hisoblanadi (6.9-rasm).



6.8-rasm. ATM ning rotor o'zagining tuzilishi 1-chulg'am, 2-qinlar



6.9-rasm. Ventilli tortuv motorlari rotori o'zagining tuzilishi 1-qutb chulg'ami, 2-dempfer chulg'ami

Rotorning qutb chulg'amlarini ta'minlash kontakt halqasi orqali amalga oshiriladi, bu motor konstruksiyasini murakkablashtiradi. Qutb chulg'amlarini kontaktsiz usul yordamida energiya bilan maxsus transformatorlar yordamida ta'minlash kelajakda rejalashtirilmoqda.

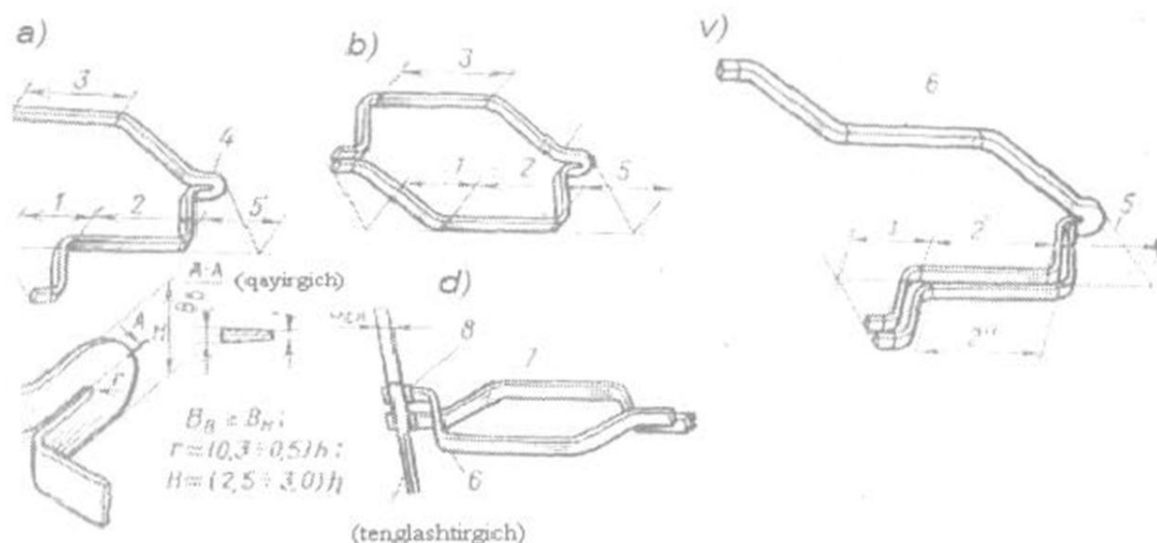
6.4-§. Yakor va rotor chulg'amlari

Tortuv motorlari yakorida pazlarda tayyor holda joylashtiriladigan shablonli g'altak ko'rinishidagi yakor chulg'amlari qo'llaniladi (6.10-rasm).

Bu g'altaklar bir o'ram seksiyalardan ($\varpi_c = 1$) tashkil topgan bo'lib, chulg'am elementlari ikkita kollektor plastinkasini biriktiradi. Ularning soni kollektor plastinkalarining u_k soniga mos bo'lib, bir pazga to'g'ri keladi. Yakor chulg'amidagi umumiy seksiyalarning soni $N_c = N/2 = K$.

Har-bir g'altak ikkita pazda joylashtiriladi: uning birida ustki qatlamda (ustki tarafi), ikkinchisida - pastki qatlamda (pastki tarafda) bo'ladi. Seksiyaning ikki tarafi - yuqori va past taraflari shartli ravishda elementar pazni tashkil qiladi. Ularning umumiy soni fizik pazda u_k ga teng bo'ladi, yakorda esa jami K ta shartli pazlar bo'ladi.

Yakorning va kollektorning aylanasi bo'ylab seksiya taraflarining o'zaro joylashishi va ular bilan biriktirilishi ularning qadami bilan aniqlanadi.



6.10-rasm. Yakorning to'liqinsimon (a), ilgakli(b), pog'onasimon (v) chulg'amlari, orqa uchlik o'lchamlari (g) va chulg'amlarning kesilgan seksiyalari (d).

1 va 5-mos holda old va orqa uchlik qismi, 2 va 3 - mos holda pastki va ustki tomonining faza qismi; 4-orqa boshchasi, 6-ustki tomoni, 7-pastki tomoni, 8-biriktirish qisqichi, 2¹-№1-fazaning past tomonining faza qismi, 2¹¹—bu ham №2 fazaning.

Birinchi alohida qadam u_1 —seksiyaning ikki tarafidan elementar pazlarning joylashish tartib raqamining ketma-ketligi; u_2 — bu ham qaralayotgan seksiyaning past tarafidan keyingisining ustki tarafiga joylashishi; u —qaralayotgan seksiyaning yuqori tarafidan keyigi seksiyaning yuqori tarafigacha bo'lgan natijaviy qadam; $u_z = Z/(2r)$ — fizik pazlardagi chulg'am qadami; $u_k = u$, bir seksiyaning oxirida biriktirilgan kollektor plastinkalari raqami.

Birinchi alohida qadam

$$y_1 = y_z u_k = K/(2p) \pm \varepsilon_p$$

Bunda ε_p (ko'pincha "+" ishorasi bilan) — u_1 ni to'liq songa to'ldirish uchun qisqartirilgan son.

Ko'pincha qabul qilinadigan natijaviy qadamlar mos holda o'ng ilgakli (u_i) va to'liqinsimon (u_t) chulg'amlar bo'ladi;

$$u_n = u_k = 1; \quad u_b = u_k = (K+1)/p \quad (6.17)$$

Mos holda u_2 ilgakli (u_{2i}) va to'liqinsimon (u_{2t}) chulg'am uchun bo'ladi

$$u_{2i}=u_1-u_i;$$

$$u_{2t}=u_t-u_1$$

$$(6.18)$$

Tortuv motorlarida $\varepsilon_p = 0$ da diametral bo'lmagan, balki $\varepsilon_p > 0$ bo'lgan qisqartirilgan xordali chulg'amni qo'llash uning old qismi o'lchamlarini kamaytirishga sabab bo'ladi. Kommutatsiyalanuvchi seksiyalarda tishdagi pulsatsiyalanuvchi chastota f_z bilan magnit oqimini hosil qiluvchi $e_n = f_z \omega_c \Phi_n$ pulsatsiyalanuvchi E.YU.K.ni pasaytirish yoki yo'qotishga sabab bo'ladi.

Bu EYUKlar xordali chulg'amlarda seksiya taraflarida faza bo'yicha mos kelmaydi va o'zaro bir birini qisman yoki to'liq kompensatsiyalaydi. Bunday effekt diametral chulg'amlarda yakor fazalarini qiyshiq qilib qo'llashga olib keladi.

Tortuv motorlari yakor chulg'amlarida to'g'ri burchakli kesim yuzali misdan foydalaniladi, seksiyalar esa mumkin qadar uzluksiz holda tayyorlanadi (6.10,a,v-rasm). Ularning uchlari bir chulg'am qatlamidan boshqasiga o'tishda 6.11,g-rasmga keltirilgan o'lchamlar farqiga ega bo'lishi kerak.

Alohida ajratilmagant seksiyalarda pog'onali chulg'amlarni bajarish murakkab (6.10,d-rasm). Ularning chulg'amlari yarim g'altagi pazlarda alohida o'rnatiladi va uchlari payvandlash yoki birlashtirish orqali birlashtiriladi.

Pog'onali chulg'amlarda birlashtirish aralash holda bajariladi.

Birlashtiruvchi qisqichlar tenglashtirgichlarni ham ulash uchun qo'llaniladi. Yakor chulg'amining parallel tarmoqlaridagi tok i_{ya} mos holda ilgakli chulg'amda $i_{ya,t} = \frac{I}{(2a)} = \frac{I}{(2p)}$ bo'ladi va to'lqinsimon chulg'amda

$$i_{ya,t} = \frac{I}{2} \text{ bo'ladi.}$$

$i_{ya,t}$ – to'lqinsimon chulg'am toki mashinaning juft qutblar soniga bog'liq emas, u holda $i_{ya,t}$ – ilgakli chulg'amda qancha kam bo'lsa mashinaning bir xil tokida shuncha qutblar soni ko'p bo'ladi.

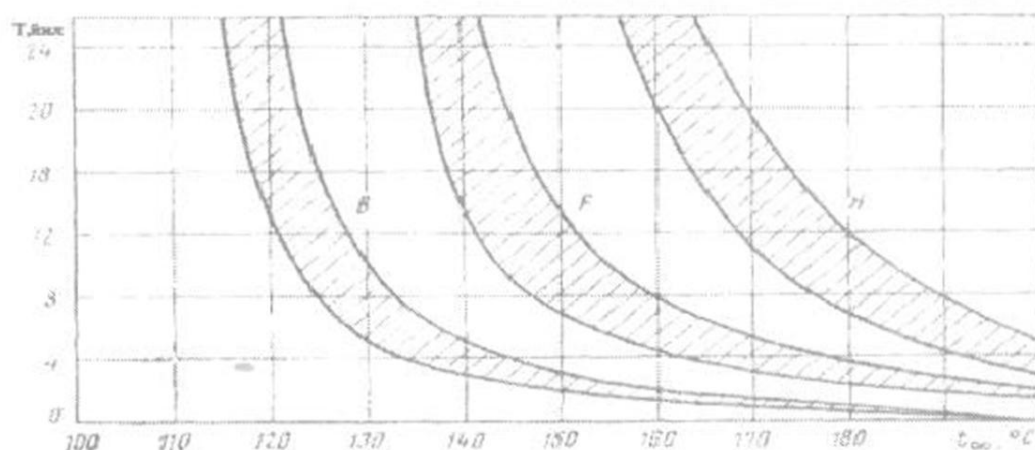
Shuning uchun ilgakli chulg'amlarni har xil quvvatdagi mashinalar uchun qo'llash mumkin, to'lqinsimon chulg'amni $I_{nom} \leq 300 \div 350 A$ bo'lganda qo'llash mumkin. Biroq ilgakli chulg'amda toklarni i_{ya} tenglashtirish uchun bir-ikki yoki har bir seksiyaga $y_{teng} = \frac{K}{p}$ qadam bilan tenglashtiruvchi bog'lanish talab qilinadi.

Bu tenglamada l_c -yakor chulg'amingining seksiyasidagi o'tkazgichning yoyilgandagi uzunligi, barcha o'lchamlar santimetrda bo'ladi.

Qizish faktorining ruxsat etilgan qiymati izolyatsiyaning issiqlikka chidamliligiga bog'liq:

Mashinalar uchun ruxsat etilgan qizish faktori	Izolyatsiya sinfi		
	B	F	H
O'z-o'zini shamollatishda	1700-2000	2000-2500	2600-3000
Bog'liq bo'lmagan shamollatishda	2010-2600	2500-3500	3200-4000

Qizish faktorining keltirilgan qiymatlari doimiy yuklamada uzoq davomli qizishda har xil temperaturada izolyatsiyaning xizmat qilish vaqtida t_∞ (6.12-rasm) mos keladi. Yakor chulg'ami o'tkazgichlarida tokning zichligi nominal rejim uchun uning ko'ndalang kesim yuzasiga bog'liq bo'ladi, A/mm^2 .



6.12-rasm. Izolyatsiyaning t_∞ temperaturaga nisbatan xizmat ko'rsatish davomiyligi.

$$j_{yan} \cong \frac{K}{A}$$

bu yerda, A_n – nominal rejimdagi yakorning chiziqli yuklamasi. U asosan izolyatsiyaning issiqlikka chidamliligiga bog'liq. V sinfidagi izolyatsiya uchun $A_n \cong 320 \div 460 A/sm^2$, F sinfi uchun $A_n \cong 420 \div 500 A/sm^2$ va N sinfi uchun $A_n \cong 470 \div 550 A/sm^2$ bo'ladi, bunda kichik qiymatlar kichik diametrli yakorlarga mos keladi.

Chulg'am o'tkazgichlarning to'liq soni

$$N = 2K = 4pU_{k,nom} / \Delta U_{k,o'r} \quad (6.20)$$

Bir biriga yaqin kollektor plastinkalari orasidagi kuchlanishning o'rtacha qiymati $\Delta U_{k,o'r}$ 6.1-jadvalda keltirilgan

6.1-jadval

Motorlarning ishlash sharti	$\Delta U_{k,o'r}, V$ motorlar uchun	
	Elektr poyezdlarda	elektrovozlarda
Elektr tormozsiz	17-18	17-18/18-20
Ishchi reostat bilan tormozlashda	10-12	- -
Yordamchi reostatlar bilan tormozlash	13-15	13-15/15-17
Rekuperativ tormozlash bilan	15-17	15-17/16-18

Izoh: Suratda kompensatsiyasiz chulg'amda, maxrajda - u mavjud bo'lganda.

Yakorlar pazlari soni

$$Z = \frac{N}{u_{o't}} = \frac{N}{(2u_k)} = \pi D_z / t_1 \quad (6.21)$$

bunda, $u_{o't}$, u_k , t_1 – mos holda o'tkazgichlar soni, pazdagi kollektor plastikalari soni (2.10-tenglamaga qarang) va tish bo'linmasi.

Kuchlanish $u_{k,nom} \leq 1000V$ bo'lganda ko'pincha $t_1 = 18 \div 25mm$ va $u_p = 6 \div 10$ bo'ladi, $U_{k,nom} \geq 1000V$ bo'lganda $t_1 = 23 \div 35mm$ va $u_{11} = 10 \div 14$ bo'ladi. Mumkin qadar $u_{o't}$ 2r ga karrali bo'lmasligi kerak, chunki bunda chulg'amllarda "o'lik" o'tkazgichlar bo'ladi. Qizish shartlariga ko'ra pazdagi tokning hajmi quyidagicha bo'lishi mumkin.

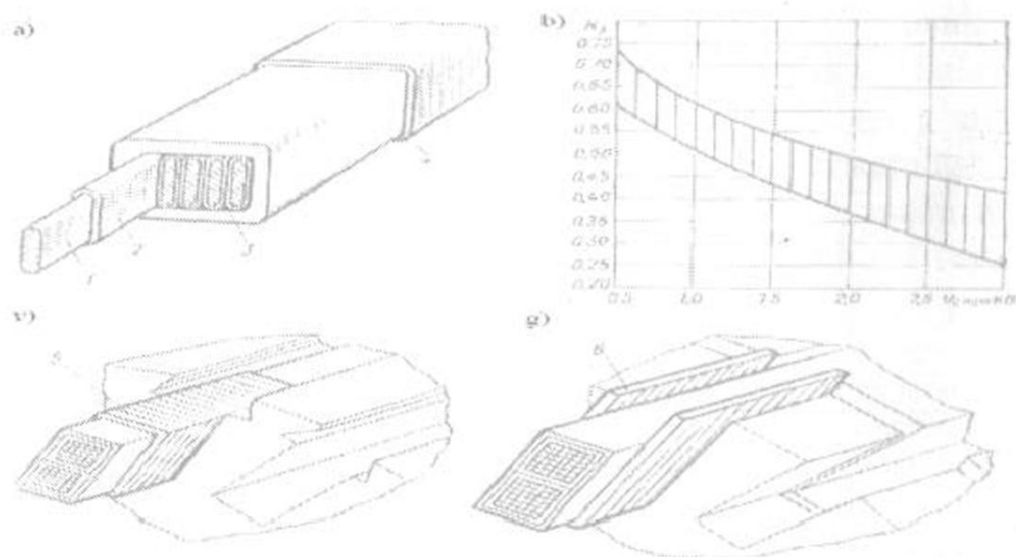
$$i_{ya} u_{o't} \leq 1700 \div 2200A.$$

Yakor chulg'ami izolyatsiyasiga markazdan qochma kuchlar ta'sir qiladi, issiqlik jarayoni va dinamik kuchlar va intensiv namlanish va ifloslanish ta'sir qiladi. Izolyatsiyaning yuqori dielektrik, mexanik xususiyatlari issiqlikka chidamlilik va nanga chidamliligi stabil bo'lishi va uning eskirishi minimal bo'lishi kerak.

Yakor chulg'ami g'altagining faza qismi izolyatsiyasining strukturasi fazaning to'ldirilish ko'effitsiyenti bilan aniqlanadi (6.13,a-rasm).

$$K_z = u_{o't} q_{ya} / (b_{paz} h_z). \quad (6.22)$$

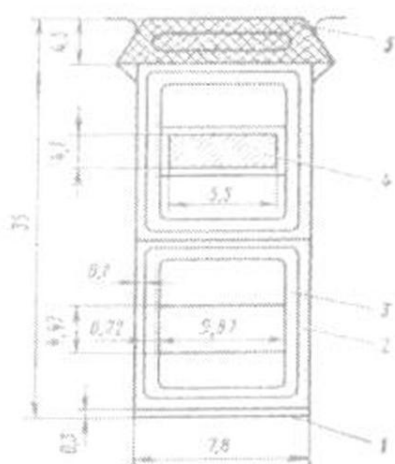
bunda: q_{ya} – yakor o'tkazgichining ko'ndalang kesim yuzasi, mm^2 ; $q_{ya} = i_{ya, \text{nom}} / j_{ya}$, K_T – koeffitsient $U_{s \text{ nom}}$ – kuchlanishga bog'liq bo'ladi (6.13, b - rasm).



6.13-rasm. Yakor g'altagining faza qismi izolyatsiyasi (a), fazaning to'ldirilish koeffitsiyentining bog'lanishi $K_T(U_{s \text{ nom}})$ (b), pazdan chiqishda izolyatsiyani quchaytirish (v va g): 1-o'tkazgich, 2-o'ram izolyatsiyasi, 3-paket izolyatsiyasi, 4-izolyatsiya qoplami, 5, 6-qo'shimcha gilza va taglik.

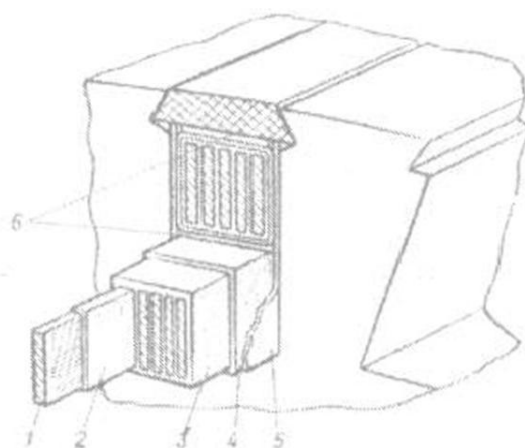
K_T – koeffitsiyentini izolyatsiya qalinligini kamaytirish bilan erishib qolmasdan, balki o'tkazgichlar ko'ndalang kesimi yuzasining formasini kvadratga yaqini va ular paketining ancha maqullarini tanlash bilan ham erishish mumkin. Shuning uchun o'tkazgichni pazga 6.14-rasmda ko'rsatilganidek keng tomoni bilan joylashtirish qulay hisoblanadi. Bunday joylashtirish, ko'p qatlamli chulg'am qo'llaniladigan tortuv motorlarida keng qo'llanilib kelinmoqda. Qisqa qobiqda joylashtirish (6.15-rasm) kam foydali hisoblanadi.

Oldingi tortuv elektr motorlarida V sinfidagi izolyatsiya keng qo'llanilgan, ularda noorganik tashkil etuvchidan tashqari organik (qog'oz, elektr karton va boshqa) xususiyatli qaytarib bo'lmaydigan eskirishga moyilligidir. Hozirgi kunda F va H sinfidagi noorganik asosdagi va sintetik materialli izolyatsiya keng qo'llanilmoqda: smola va plenka, steklovolokno, slyuda, slyudinita va boshqalar. Izolyatsiya o'rami bir qatlam bilan, qallinligi $0,07 \div 0,1$ mmni (F-sinfi) slyudinitli oyna lentali yoki poliamid plenkali qalinligi $0,05$ mmni (H-sinfi) yarim to'lguncha joylashtiriladi.



6.14-rasm. Chulg'am o'tkazgichi keng joyida joylashtirilgan HB-501 motorining fazasi.

1-taglik (stekloplast), 2-izolyatsiya qoplamasi (qalinligi 0,1mmli oynali lenta, bir qatlamda tirqis joylashgan), 3-paket izolyatsiyasi (oynali slyudinitli lenta, qalinligi 0,01mm, to'rt qatlam yarim to'lguncha) 4-PETVPSD-o'tkazgich izolyatsiyalangan, 5-tiqin (qalinligi 1,01mm izolyatsiya tomonlaridan)



6.15-rasm. $U_{c.ном} = 3κB$ bo'lgan motor yakori fazasining qisqa qobig'ida o'tkazgichni o'rnatish.

1-o'tkazgich, 2-o'ram izolyatsiyasi (qalinligi 0,04mm li poliamidli plenka, keng tomonidan bir qatlam), 3-qobiq izolyatsiyasi (qalinligi 0,11 mm li keng qismidagi 6-qatlamli slyudinitli lenta) 4-qoplama (0,1mm qalinlikdagi steklolenta, tiqinning bir qatlam), 5-gilza (izoflik, qalinligi, 2mm) 6-taglik (elektrolit qalinligi 0,5mm)

Paket izolyatsiyasini U_{snom} kuchlanishga bog'liq va u qalinligi 0,1 ÷ 0,13 mm bo'lgan (F-sinfi) slyudinit oyna lentali yoki 0,05 ÷ 0,06 mm qalinlikdagi poliamid plenkali qilib tayyorlanadi.

Izolyatsiya paketining asosiy ma'lumotlari 6.2-jadvalda keltirilgan.

6.2-jadval

Ko'rsatkichlar	U_{snom}, V kuchlanishdagi ko'rsatkich qiymatlari			
	750	1500	3000	6000
Qalinligi 0,05 ÷ 0,13 mm yarim to'yintirilgan lentali qatlam soni	3/2,5	4/3	6/5	9/7
Qalinligi 0,05mmli lentasining izolyatsiya qalinligi	0,3/0,25	0,4/0,3	0,6/0,5	0,9/0,7
Qalinligi 0,13mmli lentaning izolyatsiya qalinligi	0,78	1,04/0,78	1,56/1,3	2,34/1,82

Izoh 1. Suratda tirkak-o'qli osilgan motorlar uchun, maxrajda - ramaga osilgan motorlar uchun. 2. Umumiy qalinlikdagi izolyatsiyalarda ham himoyalovchi faza gilzalari qo'llaniladi.

Slyudinit oynali lentali izolyatsiya paketida 0,1 mm qalinlikdagi oynali lenta bilan tekis holda izolyatsiyalanadi. G'altakdagi yupqa poliamid plenkaning yengil mexanik shikastlanishi sababli bunday plyonka bilan izolyatsiya qilishda oynali lenta bilan qo'shimcha qoplanadi. Bunda oynali lentaning qalinligi 0,1mmdan kam bo'ladi. Ko'pincha yakor chulg'amlari eng ko'p temperatura deformatsiyasi tufayli o'zak pazidagi g'altakning chiqish joyida buzilishlar bo'ladi. Ularni bu joyga mustahkamlash uchun izolyatsiya qilinadi yoki gilza o'rnatiladi (6.13,v-rasm). Bundan tashqari chulg'amning faza qismi uzaytiriladi, u o'zakda E masofaga tashqariga chiqariladi.

$U_{\text{snom}}, \text{ V}$	600	600-750	750-1500	1500-3000
$E, \text{ mm}$	15	20	24	36

6.16-rasmda yakor chulg'amining asosiy o'lchamlarini aniqlashning hisoblash sxemasi keltirilgan. Uch qismining pastki qatlamida joylashish shartiga ko'ra ularning egilish burchagi

$$\alpha = \arcsin[Z(b_1 + e) / \pi - (D_{ya} + 2h_z)] \quad (6.23)$$

bunda, $b_1 \equiv B_{paz}$ - g'altak uch qismining eng katta qalinligi, $e \equiv 0,05 \div 0,12$ - g'altakning past qismi bo'yicha ruxsat etilgan bo'shliq.

Egilish qismlarini joylashtirish uchun kerak bo'lgan o'qning uzunligi $L_l \equiv Zy_2(b_{paz} + e) / \cos \alpha$.

6.16-rasmga asosan uzatgich o'qining old L_{old} va orqa uch qismi L_{lor} uzunligi

$$L_{old} \equiv L_l + E + C \quad L_{lor} \equiv L_l + E + F$$

Bunda $C = 10 \div 15$ mm-kollektor kirish qismidagi to'g'ri chiziqli qismi uzunligi, F -seksiyaning orqa kallagi uzunligi.

6.10-rasm bo'yicha kesilmagan va kesilgan seksiyalarda mos holda

$$F_H = (1,9 \div 2,4)h + (3 \div 5); \quad F_P \equiv B_{CK} + (15 \div 20)$$

Yakor chulg'ami seksiyasining uzunligi, mm

$$\ell_c \equiv 2(\ell_{ya} + 2E + 2L_l + C + F) \equiv 2(\ell_{ya} + 1,2\tau) \quad (6.24)$$

Chulg'am o'tkazgichlarning umumiy uzunligi, m:

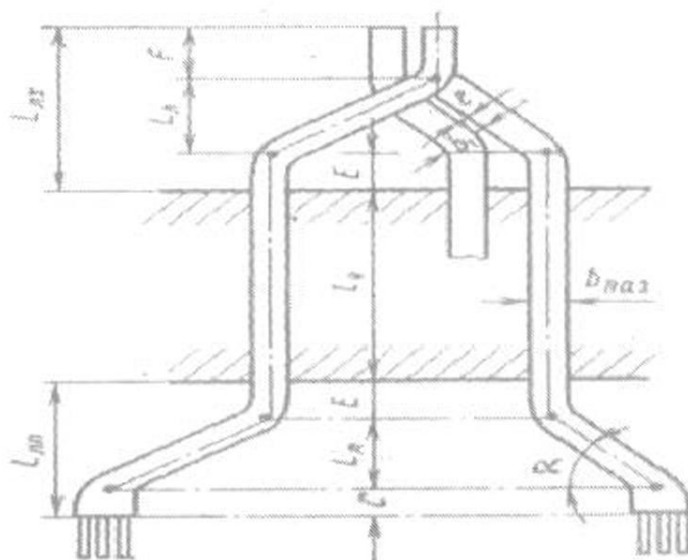
$$\sum \ell_c = 0,5 \ell_c N 10^{-3} \quad (6.25)$$

Yakor chulg'amning qarshiligi, Om:

$$r_{ya} = \sum \ell_c / (176 q_{ya} a^2) \quad (6.26)$$

Yakor chulg'amlaridagi misning massasi, kg:

$$m_{ya} \approx 8,9 q_{ya} \sum \ell_c 10^{-3} \quad (6.27)$$

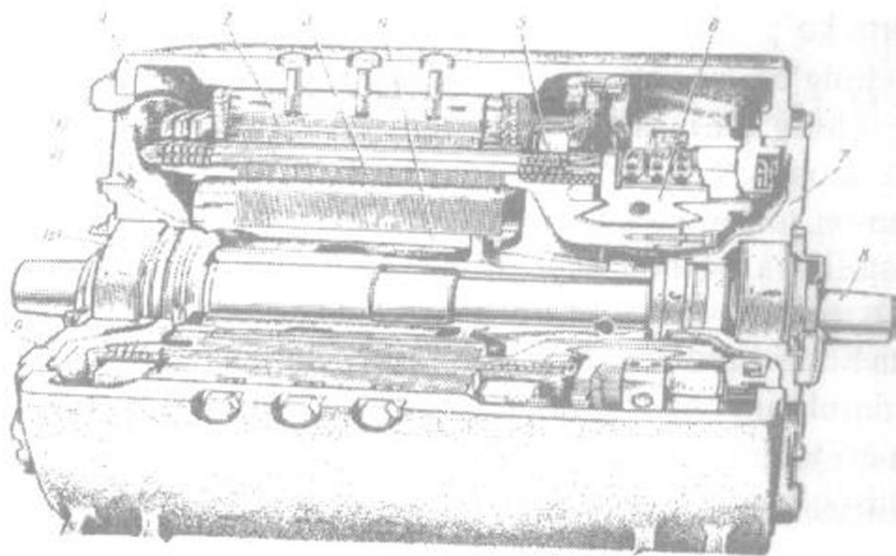


6.16-rasm. Yakor chulg'amini hisoblash sxemasi.

Yakorda chulg'amlar old qismini joylashtirish 6.17-rasmda keltirilgan.

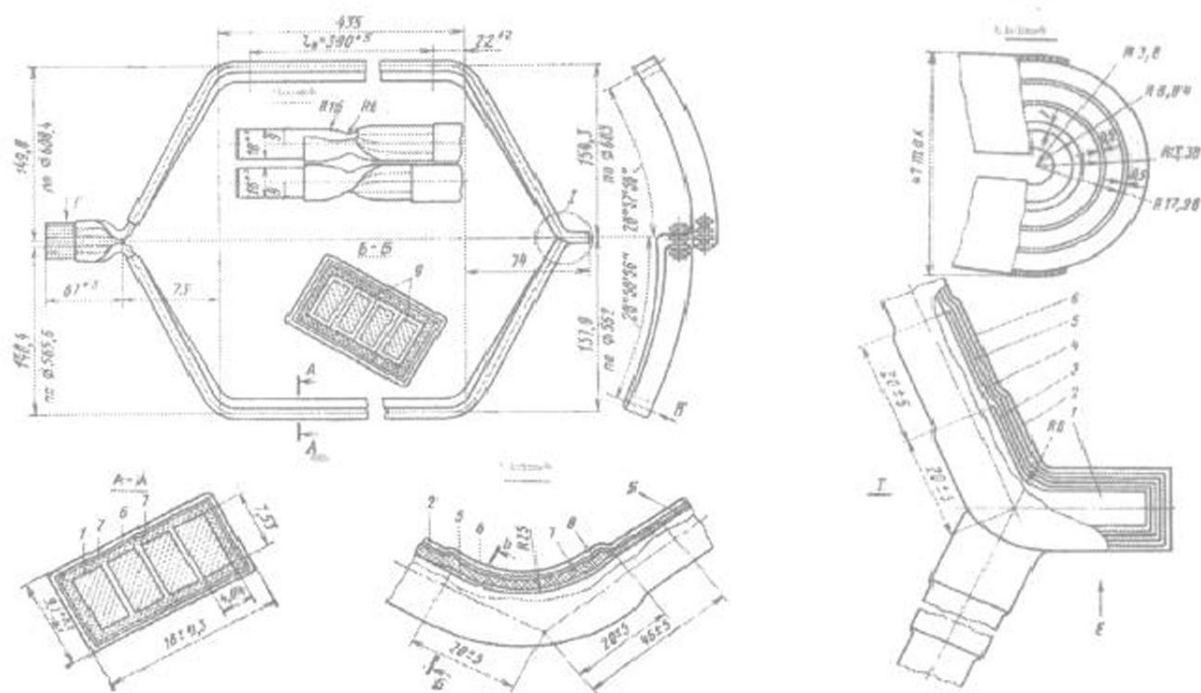
O'tkazgichni yakorning keng qismida o'rnatilganda old qismi 25-40 mmga o'tkazgichni 90° ga burish uchun uzaytiriladi va kollektor plastikalaridagi shlisga (ariqchaga) joylashtirish uchun pachoqlanadi. G'altak boshchasining orqa yopiq tarafi (6.4-rasmga qarang) mexanik buzilishlardan himoyalashga erishiladi. Chulg'am ushlagichning boshchasi va flants orasida tayyorlash aniq bo'lmasligi sababli texnologik bo'shliq qoldiriladi. Uni ingichka arqon yoki boshqa to'ldirgichlar bilan to'ldiriladi. Yakor chulg'ami mustahkamligi uning zichligiga bog'liq. G'altaklar ichki bo'shliq va gaz aralashmasiga ega bo'lmasligi kerak, ular intensiv ionizatsiyalanadi va izolyatsiyani buzadi. G'altakni tayyorlash texnologiyasi ularning zichligi va monolitligini ta'minlashi zarur bo'ladi. Murakkab konfiguratsiyasiga qaramasdan (6.18-rasm) ular bir necha marta barcha kontur bo'yicha formaga solinadi va presslanadi. Old qismi o'tkazgichlari paz qismidagi kabi, g'altaklar bevosita yerlangan qismlari kabi tegmaydigan qilib izolyatsiyalanishi lozim.

Paketning izolyatsiyasi asta-sekin keng qismidagi lentaning bir qatlamigacha kamayib boradi. Katta egilish bo'lgan joylarda izolyatsiya joydagi tagliklar bilan kuchaytiriladi.



6.17-rasm. HB-481K-tortuv elektr motori.

1-qobiq, 2-qo'shimcha qutb, 3-yakor o'zagi, 4-yakor qutisi, 5, 11-yakorning old qismlari, 7, 9-podshibnik shillari, 8-o'q, 10-podshibnik, 12-kompensatsion chulg'am



6.18-rasm. HB-514-tortuv motorining yakor chulg'ami g'altagi. 1-PETVSL 3,55h7,1 mm li izolyatsiyalangan o'tkazgich.

2-plenka (F-TEO – floroplasti) 3,4,5,7,8,9-lenta (LS-Ek5-SPL-steklovekalon) mos holda har bir qatlam paket uchun 0,08 mm, bu ham to'rt qatlam keng joylashgan, ham ikki qatlamli, ham bir qatlamli, faqat 0,1mm li, bir qatlam tekis holda bo'ladi.

Old qismi chulg'am ushlagichlari chulg'amdan mikanit va oynali plastik bilan presslangandan keyin umumiy qalinligi 6.2-jadvaliga nisbatan

2 ÷ 2,5 marta ko'p qilinadi. Taxminan shunday qalinlikdagi izolyatsiya old qismidagi chulg'amlar qatlami orasida ham qo'yiladi.

Yakor chulg'amining o'rnatilish mustahkamligi ГОСТ 2582-81 standartiga asosan sinalayotgan aylanish tezligiga nisbatan hisoblanadi. Hozirgi zamon tortuv elektr motorlari chulg'amining faza qismi tekstolit, oynali tekstolit va boshqa shunga o'xshash materiallardan tayyorlangan tiqin bilan qotiriladi. Chulg'amlarning old qismlari ipsiz bo'ylama uzuqsiz oynali lenta bilan mahkamlanadi.

Faza tiqinlarini hisoblash (6.19-rasm) ko'pincha o'zakning birlik uzunligiga qo'yilgan, ko'pincha 1 sm ga markazdan qochma kuchlarga (N) asoslanib hisoblanadi.

$$C \cong 5,45 m_0 (D_{yt} - h_z) n_{bod}^2 \quad (6.28)$$

Bu yerda barcha o'lchamlar santimetrda bo'ladi.

Fazaning 1 sm uzunligiga to'g'ri keladigan chulg'amning izolyatsiya bilan massasi:

$$m_0 = m_u + m_{iz} \cong 8,9 q_{ya} u_n 10^{-3} + \gamma_{iz} (b_{g/p} h_z - q_z u_p)$$

bunda: m_u va m_{iz} — fazaning 1 sm dagi mis va izolyatsiyasining massasi, kg; $\gamma_{iz} = (2,0 \div 2,5) 10^{-3}$ kg/sm³ — izolyatsiya zichligi; 8,9 misning zichligi, kg/sm³.

Tiqinni ma'lum mustahkamlik zaxirasi bilan hisoblashda ko'pincha, S kuch umumlashtirilgan va tiqinning o'rtasiga qo'yilgan bo'ladi. Tirgaklar nuqtali qilib tanlanadi va ular orasidagi masofa $b \cong 0,5(d_x + b_{paz})$ bo'ladi.

Egilish kuchlanishi, Pa:

$$\sigma_{iz} = 1,5 10^5 C b / h_k^2 \quad (6.29)$$

Bundan tashqari klinni kesish kuchlanishi ham hisobga olinadi, Pa:

$$\sigma_{o'r} \cong (0,6 \div 0,75) 10^5 C h_k \quad (6.30)$$

Umumlashtirilgan kuchlanish

$$\sigma_{nom} = \sqrt{\sigma_{iz}^2 + \sigma_{o'r}^2} \quad (6.31)$$

Tiqinning materialiga asosan ruxsat etilgan qiymat $\sigma_{nom} \leq 25 \div 40$ MPa bo'ladi.

Hisoblanayotgan rejimdagi chulg'amning old qismiga ta'sir etuvchi markazdan qochma kuchlar, N:

$$C_{oldl} \cong 5,45 m_{oldl} (D_{ya} - h_z) n_{baj}^2 \quad (6.32)$$

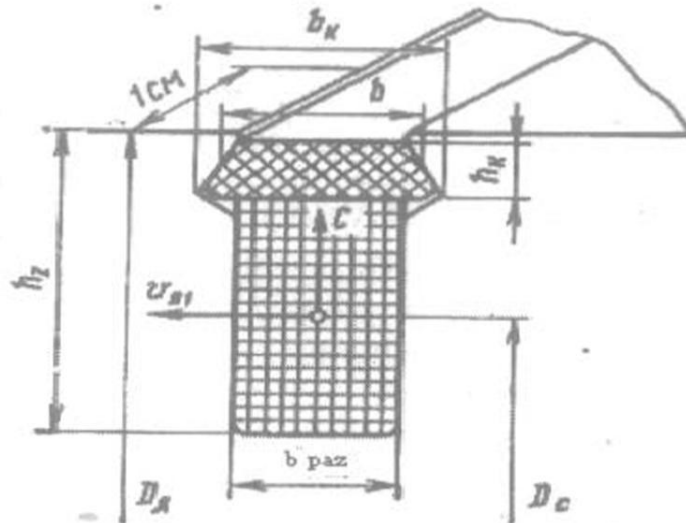
bunda, m_{oldl} – qaralayotgan chulg'am old qismining massasi (old yoki orqa qismi), kg:

$$m_{oldl} \cong \pi L_{oldl} (2D_{ya} h_z - h_z^2) [8,9 \cdot 10^{-3} K_z^1 + \gamma_{hp} (1 - K_p^1) / 4]$$

bu yerda, K_t – chulg'amning old qismini to'ldirish koeffitsiyenti, qiymati 6.13, b-rasmga keltirilgandan pazlar uchun 8-12%ga kam hisoblanadi; L_{avdl} – chulg'am old qismining o'qqa nisbatan uzunligi.

C_{avdl} – kuchni kompensatsiya qilishda qisilgan holatda barcha ish rejimlarida bandajlar chulg'amni ushlab turishi uchun bandajlarni tortib turish zarur bo'ladi (tangensial kuchlar), N:

$$T_0 \cong (1,5 \div 1,6) C_{avdl} / (2\pi) \quad (6.33)$$



6.19-rasm. Faza tiqinini hisoblash sxemasi.

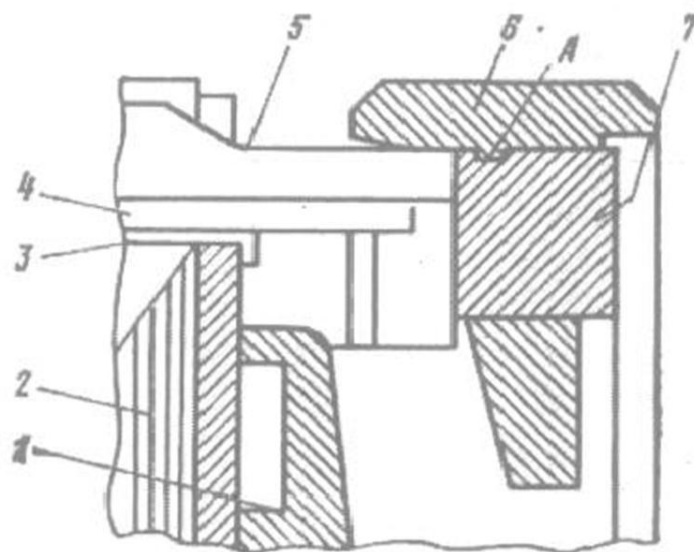
Oynali bog'lagich lentalar uchun ruxsat etilgan kuchlanish $\sigma_{pyx} \leq 150 \div 200$ MPa bo'ladi. Lentaning kerak bo'lgan o'ramlar soni

$$\omega \geq T_0 / (\sigma_{pyx} q_s) = T_0 / (\sigma_{pyx} \delta_s b_s) \quad (6.34)$$

bunda, q_s – lentaning ko'ndalang kesim yuzasi, m^2 ; $\delta_s = (1,8 \div 2,0) \cdot 10^{-4}$ – lentaning qalinligi, m; $b_s = (1,5 \div 2,0) \cdot 10^{-2}$ – lentaning eni, m.

Asinxron tortuv motorlarning qisqa tutashtirilgan chulg'amining faza qismi (6.19, a-rasmga qarang) fazalarda po'lat shponkali ponalar bilan o'rnatilgan trapetsiya ko'rinishidagi mis o'zaklardan tayyorlanadi. Bu o'zaklarda tayyorlangan 5-qisqa tutashtirilgan chulg'am rotorning ikki

tarafidan biriktiradigan mis halqa 7 bilan payvandlanadi, bu 6.20-rasmda ko'rsatilgan.



6.20-rasm. Asinxron tortuv motori rotorining old qismi.
1-qisish shaybasi, 2-o'zak, 3-pastki tiqin, 4-ustki tiqin, 5-chulg'am o'zagi,
6-tutashtiruvchi halqa.

Chulg'amlarning bu qismiga markazdan qochma dinamik kuchlar va issiqlikdan deformatsiyalanishga mustahkamligi magnitsiz po'latdan tayyorlangan bandaji halqasi issiq holda o'rnatish bilan ta'minlanadi. O'q tarafdin to'rtib chiqqan A halqa bilan belgilab qo'yiladi.

6.5-§. Yakor chulg'amlardagi qo'shimcha isroflarni kamaytirish usullari

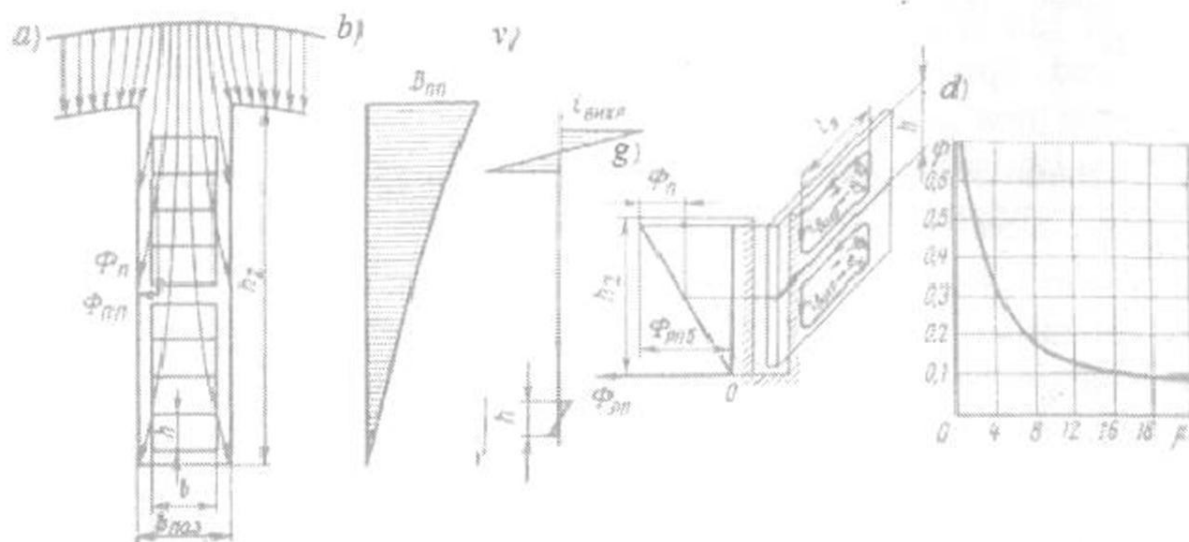
Yakor chulg'amlaridagi qo'shimcha isroflar uning qizishini kuchaytiradi. Ular f_{ya} — o'ta magnitlanish va f_z — tishlardagi chastotalar oshishi bilan ortadi (6.3-rasmga qarang). Qaralayotgan qo'shimcha isroflar, ya'ni magnit oqimining pazlardagi ko'ndalang tashkil etuvchisi va komutatsiya jarayonida pazlarda oqimning tarqalishi chulg'am o'tkazgichlardagi uyurma toklarning ta'sirida yuzaga keladigan isroflardir.

Pazlardagi oqimning ko'ndalang tashkil etuvchisini F_K hosil qilinishi 6.21,a-rasm orqali tushuntiriladi. Pazning balandligi bo'yicha induksiyaning V_K — o'zgaruvchan tashkil etuvchisining taqsimlanishi 6.21, b-rasmda keltirilgin. Har bir o'tkazgichda hosil bo'ladigan uyurma toklar i_{uyur} , chulg'am joylashish qismidagi induksiya qiymatiga bog'liq. 6.21,v-rasmda — pazlarning chekka qismida joylashgan o'tkazgichlarning balandligi h bo'yicha uyurma toklarning tarqalish xarakteri ko'rsatilgan. Uyurma toklar va isroflar o'tkazgichlarning yakor yuzasida yaqinlashishi

bilan ortib boradi. Fazalardagi oqimlarni pulsatsiyasining barcha xususiyatlarini aniq hisobga olish qiyin va bu isroflar faqat taxminan aniqlanadi, Vt.

$$\Delta P_p \approx 1,5 N h^2 f_z^{1,5} F_z b \ell_{ya} / (b_{paz} 10^6) \quad (6.35)$$

Bunda barcha o'lchamlar santimetrda; F_z —yakor tish qatlamidagi MYUKning hisoblangan (tushishi) pasayishi.



6.21-rasm. Qo'shimcha isroflarni hisoblashga doir:

a-faza maydoni; b-pazdagi ko'ndalang induksiya; v-o'tkazgichlardagi uyurma toklar; g-kommutatsion isroflarning tabiati (ko'rinishi); d- $\psi(\mu)$ bog'lanish.

Yakor chulg'ami o'tkazgichlaridagi kommutatsion isroflar ΔP_{kom} - kommutatsiya jarayonida pazlardagi oqim tarqalishining o'zgarishi $+F_{ro}$ dan $-F_{ro}$ gacha o'zgargan qiymati. 6.21,g-rasmda ko'rsatilganidek, bu oqim taxminan faza balandligi bo'yicha to'g'ri chiziq bo'yicha F_p —oqim farqi bo'yicha, $\Phi_n = \Phi_{po} h / h_z = \Phi_{yuq} - \Phi_{past} \equiv h$ (bu yerda F_{yuq} va F_{past} —mos holda chulg'amning yuqori va pastki qismi).

Chulg'amlarda hosil bo'lgan natijaviy E.YU.K.

$$\Delta e = e_{yu} - e_{pas} = \Phi_{yu} - \Phi_{pas} = \Phi_p$$

Aktiv r_{uyur} qarshilikda, uyurma tok $i_{uyur} = \frac{\Delta e}{r_{uyur}} \equiv \Phi_p \equiv h$.

Mos holda kommutatsiya isroflari $\Delta P_{kom} = i_{uyur}^2 r_{uyur} \equiv h^2$ bo'ladi. Bundan ko'rinadiki, o'tkazgichlarning balandligi komutatsion isroflarga katta ta'sir ko'rsatadi.

$$\Delta P_{kom} = (K_{\phi} - 1) I^2 r_{ya} \quad (6.36)$$

Filda koeffitsiyenti chulg'amlarda isroflarning ortishini kommutatsion isroflar ta'sirida yuzaga kelishini xarakterlydi.

$$K_{\phi} = (u_m + \rho_0)(1 + \rho_0) \quad (6.37)$$

bunda, u_m pazlarda o'tkazgichlarni joylashtirish natijasida isrofning ortishi; ρ_0 – yakor chulg'amining faza uzunligi bo'yicha chet qismlar uzunligiga nisbati

$$\rho_0 = (0,5 \ell_c - \ell_{ya}) / \ell_{ya} \cong (1,12 \div 1,25) \tau / \ell_{ya}$$

Pazlarda o'tkazgichlarni joylashtirish natijasida isrofning ortish qiymati $u_b = 1 + 0,425 m^2 h_{kelf} \Psi$ bo'ladi.

Bunda, m – faza balandligi bo'yicha chulg'am qatlamlari soni; Ψ – bu μ kommutatsiya ko'rsatkichlariga bog'liq bo'lgan kommutatsiya doimiyligini hisobga oluvchi kommutatsion isroflar koeffitsiyenti.

$$h_{pr} = h \sqrt{1,76 \cdot 10^{-2} f_{ya} \cdot (b_m / b_{paz})}$$

bunda: b_m – o'ram izolyatsiyasi umumiy qalinligini qo'shish bilan misning faza kengligi bo'yicha umumiy o'lchami: $b_m = b_{paz} - 2(\Delta_{iz.pak.} + \Delta_{iz.n.})$; $\Delta_{iz.pak.}$, $\Delta_{iz.n.}$ – mos holda g'altak paketi va izolyatsiya qoplami qalinligi.

Kommutatsiya ko'rsatkichi

$$\mu \cong 31 p(u_r + \gamma - 1) / (K h_{kelf}^2) \quad (6.38)$$

$\Psi(\mu)$ bog'liqlik 6.21, d-rasmda keltirilgan. Olingan bog'liqlikni analiz qilishda $\Delta P_{kom}(h)$ bog'liqlik taxminan $\Delta P_{kom}(h) = h^{2,5}$ bog'liqlikka mos keladi.

Faza isrofi kabi, kommutatsion isroflar yuqori darajada faza chulg'ami o'tkazgichining h balandligiga va joylashishiga bog'liq bo'ladi.

Bu isroflarni kamaytirishning eng ko'p tarqalgan usuli fazaning keng qismida chulg'amning o'rnatilishiga bog'liq (6.14, 6.18-rasmlarga qarang). Bunda mis o'tkazgichning eng past balandligi $h_m \cong q_{ya} / [b_{paz} - 2(\Delta_{iz.o'tkyu.} + \Delta_{iz.o'tkp.} + \Delta_{iz.o'ram.})]$ (bunda $\Delta_{iz.o'ram.}$ o'tkazgich izolyatsiyasi o'ramining qalinligi) h_m – o'tkazgich balandligi ancha kam bo'lganda ularni qisqa qobig'ida joylashtirishda qo'shimcha isroflar sezilarli darajada pasayadi. Bir necha texnologik murakkablikka qaramay (kesimni 90° ga burilishi va o'tkazgich oxirini biriktirish) keng qismida joylashtirish keng tarqalmoqda. Qisqa qobirg'ada joylashtirishda isroflar har bir o'tkazgichda balandlikda bo'linganda izolyatsiya qilingan m qismlari kollektorga kirish

joyida faqat biriktiriladi (ko'pincha $m=2$). Bunda bo'limda qo'shimcha isroflarni ajratishda ΔP_{pm} va ΔP_{komi} isroflar ajratilmagan o'tkazgichlardagi isroflarga nisbatan kam bo'ladi

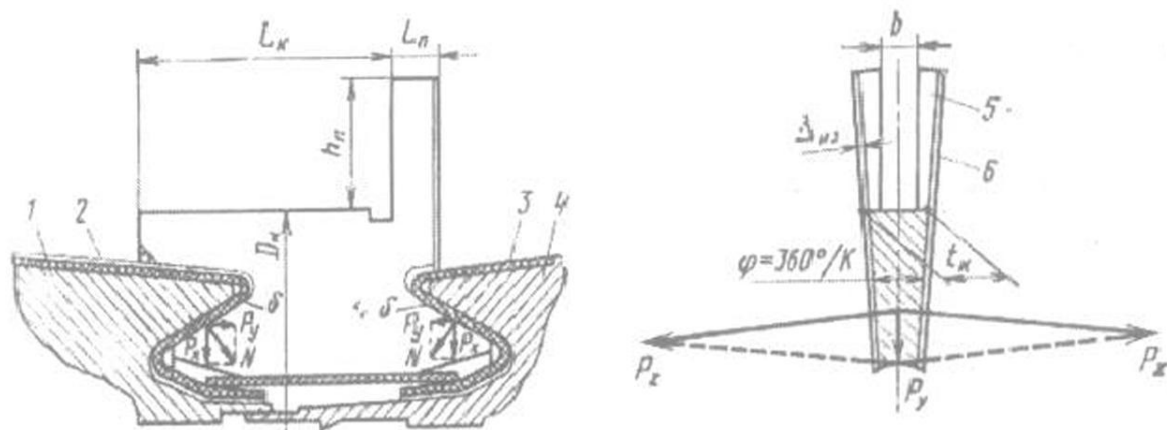
$$\Delta P_{pm} \cong \frac{\Delta P_n}{m} \quad \Delta P_{komi} \cong \Delta P_{kom} \sqrt{1/m^3} \quad (6.39)$$

Chulg'amlarni $m \geq 2$ qilib tayyorlash kam hollarda qo'llanadi. Ba'zida transpozitsiya ko'zda tutiladi, unda o'tkazgichlarni pazda burash yoki har xil balandlikdagi o'tkazgichlar seksiyasining yuqori va pastki tarafdin burash bilan bajariladi (kesilgan seksiyalarda yoki orqa boshchani kesimining 90° ga burilganda). Bu usulda yakor chulg'ami asosining qalinligini bir necha marta oshirish mumkin. Bu usul qo'shimcha isrofni sezilarli darajada kamaytiradi, biroq texnologiyani murakkablashtiradi va ko'pincha ishonchlikni pasaytiradi.

6.6-§. Tortuv motorlari kollektorlari

Hozirgi zamon tortuv motorlari kollektori uning ko'p yuklangan qismidan biri hisoblanadi. Elektromexanik kommutatsiya prinsipi – mashinalar tayyorlashdagi chegaraviy kamchiliklardan biri hisoblanadi. Kardan o'qli tortuv motorlarida kollektor diametri kollektor plastinkalari soni $K=550 \div 600$ bo'lganda $D_K=800 \div 900$ mm bo'ladi, aylanma tezlik $v_{K,MAX}=60 \div 65 \frac{m}{s}$ va plastiklardagi 1 sekundda kommutatsiya chastotasi $f_{KMAX}=(12 \div 18)10^3$ bo'ladi.

Tok qabul qilishning yuqori sifatiga erishish uchun kollektorni tayyorlashda katta aniqlik, ekspluatatsiya qilishda texnik xususiyatlar stabilligini ta'minlash yuqori mustahkamlik va yemirilishga chidamligini ta'minlash talab etiladi. Ekspluatatsiya qilishda ularga o'z vaqtida xizmat ko'rsatish va sinchkovlik bilan qarash talab etiladi.



6.22-rasm. Arka turidagi kollektorga ta'sir etuvchi kuchlar sxemasi.

Kollektorning asosiy o'lchamlari – ishchi yuza diametri D_k va uning uzunligi L_k . Kollektorning eng kichik diametri (6.22-rasm).

$$D_k \geq t_{k, \min} K / \pi = 2 p t_{k, \min} U_{r, \text{nom}} / (\pi \Delta U_{k, o'z}) \quad (6.40)$$

bunda, $t_{k, \min} = 3,8 \div 4,5 \text{ mm}$ eng kam kollektor bo'lmasi.

Diametrning eng katta mumkin bo'lgan qiymati

$$D_k \leq K_c D_{yo} = D_z - (3 \div 4) h^1 \quad (6.41)$$

bunda, h^1 – kollektorga kirish joyidagi o'tkazgichning balandligi. Agar o'tkazgichlar yassilanmasa $h^1 = h$ bo'ladi. O'tkazgichlar yassilanganda $h^1 \cong q_{yo} / b \cong 2 q_{yo} / (t_k - \Delta_{iz})$ bo'ladi va unga mos holda

$$D_k \leq D_{yo} - (6 \div 8) q_{yo} / (t_k - \Delta_{iz}) \quad (6.42)$$

Kollektor ishchi qismining uzunligi, mm, ch'otkalarning o'lchamlariga ℓ_{sh} va ularning kollektor uzunligi bo'yicha karraligiga n_u bog'liq bo'ladi.

$$L_k = n_u \ell_u + 15 \cong I_{nom} / (j_{\text{max}} \gamma t_k p) + 15 \quad (6.43)$$

O'tkazgichlari qalay yordamida biriktirish ko'zda tutilganda “xo'rozcha” ning kengligi L_x , mm.

$$L_x \cong I_{nom} / (4 a h j_x) + 3 \quad (6.44)$$

bunda, $j_x = (0,2 \div 0,3) \text{ A/mm}^2$ – o'tkazgichlarni kollektor plastinkalarida payvandlash joyidagi tokning zichligi.

L_x ning qiymati qo'llanilayotgan texnologiyaga asosan tanlanadi.

“Xo'rozcha” ning balandligi $h_x \cong \frac{(D_{yo} - D_k)}{2}$

$h_x \leq 2h$ bo'lganda kollektor plastinkalari yo'l-yo'l formadagi qattiq tortilgan misdan, ya'ni uning formasi “xo'rozcha” ni ham egallaydigan qilib tayyorlanadi $h_x \geq 2h$ bo'lganda bir-biriga payvandlangan “xo'rozchalar”ni qo'llash maqsadga muvofiqdir.

Mexanik tizim sifatiga tortuv motorlari kollektori plastinkalari arka ko'rinishda mahkamlangan konstruksiyasiga kiradi. Bunday mahkamlanish prinsipi 6.22-rasmda tushintiriladi.

Bu yerda kollektor plastinkalari 5, izolyatsion taglik 6 bilan birga 2 va 3 izolyatsion manjetalar, 4-quti konusi va qisgich shayba 1 yordamida 8 yuza bo'ylab tortib joylashtirilgan. Cho'zish kuchini P_r , radial kuchlar P_r ,

va N kuchlar S yuzaga perendikulyar holda yuzaga keltiradi. P_y kuchlar markazdan qochma kuchlarga qarama-qarshi yo'nalgan va ularni kompensatsiyalaydi. Kollektor plastinkalari yon tekisliklari orasidagi φ burchak katta emasligi va radial kuchlar P_y orqali kuchlar ta'sirida yuzaga keladigan bosim arka plastinkalari yon tomonning normallashtiruvchi P_z kuchni yuzaga keltiriladi. Ular kollektorni mahkam presslaydi. Arkali kuchlar ta'sirida yuzaga keladigan bosim kollektorning alohida plastinkalarining markazdan qochma kuchlar va issiqlik jarayonning notekisligi tufayli yuzaga keladigan deformatsiyalarni kamaytirish yoki yo'qotishi lozim.

Birinchi navbatda, bular misning E_m , po'latning E_p va izolyatsiya E_{iz} larning egilish modulining farqi natijasidir.

Kollektor plastinkalarining hisoblash sxemasi 6.23, a-rasmda keltirilgan. Plastinkalarga ta'sir etuvchi markazdan qochma kuchlar, N :

$$C_1 \cong 0,545 m D_c n^2 \quad (6.45)$$

bunda, D_c – plastinkalar massasi markazi orqali o'tadigan aylana diametri, m – plastinkalar massasi, kg.

Yuza I da S_1 kuchlardan egiluvchi moment hosil bo'ladi, Nm:

$$M_1 = 0,5 C_1 \ell_1$$

bu yerda: $\ell_1 = 0,5 \ell_{nk} + \ell_0 \cong 0,5 h_{ctg\alpha}$; bunda $\ell_0 = (3-6) 10^{-3}$ – plastinkalarni tortish uchun bo'shliq, m.

Bu kesimda aylanish chastotasi n_{isp} da eguvchi kuchlanish quyidagicha bo'lishi kerak $\sigma_{rg} \leq 87 \pm 90$ MPa.

S_1 kuch, N ham plastinkalarni tortish kuchiga R_{pt} teskari yo'nalgan o'q kuchini S_h yuzaga keltiradi

$$C_x = 0,5 C_1 tg\alpha \quad (6.46)$$

Shuning uchun plastikalarni quyidagi kuch bilan presslash lozim bo'ladi.

$$P_{zp} = \pi D_r^1 \ell_{yr} p_0 (tg\alpha + f) \cong (1,4 \div 1,5) K C_x \quad (6.47)$$

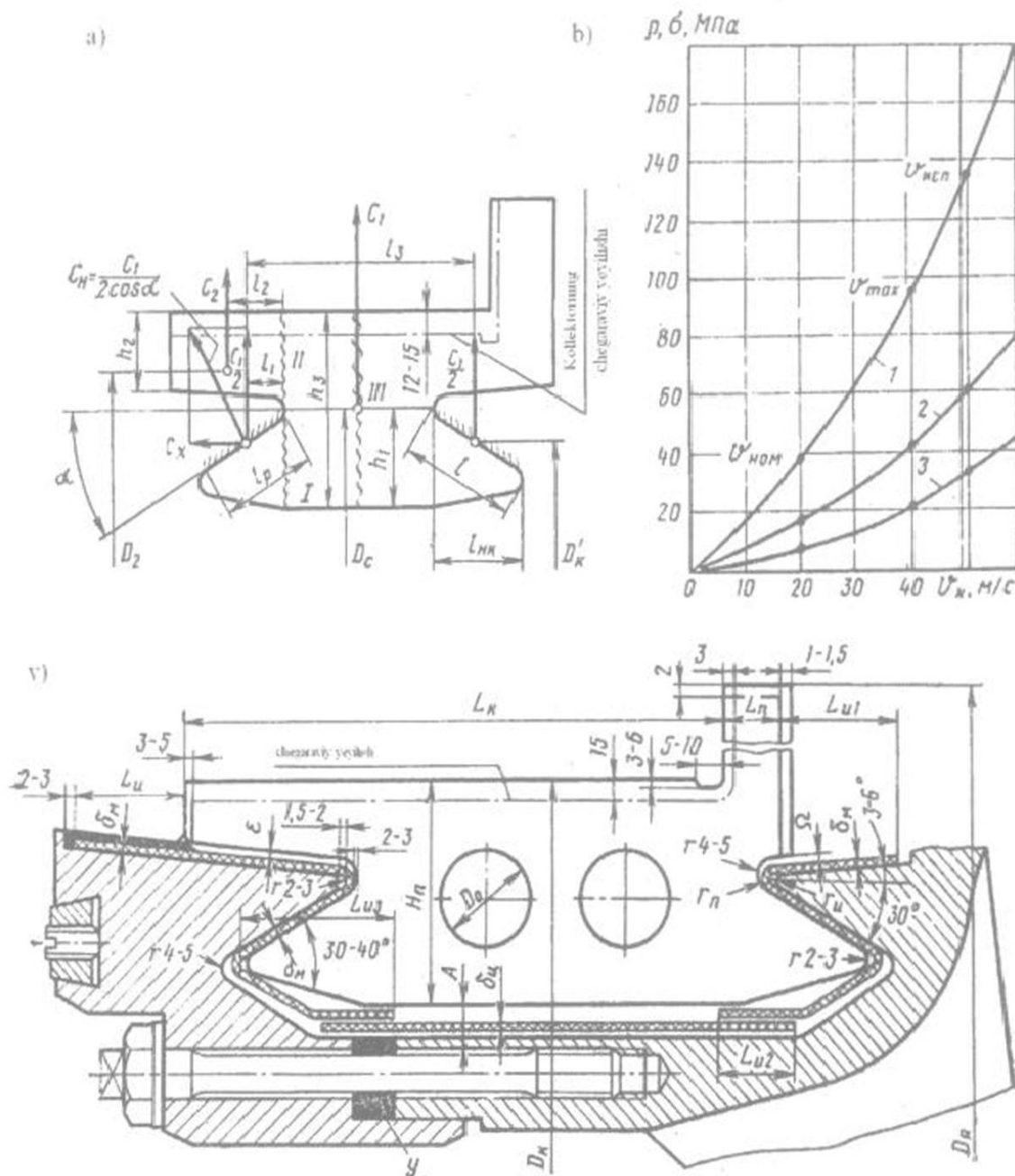
bunda, $p_0 \leq 30 \div 35$ MPa – izolyatsiyalovchi konusga beriladigan normal presslash bosimi, $f \cong 0,12 \div 0,17$ – ishqallanish koeffitsiyenti.

Bundan tashqari, izolyatsiyalovchi konusga S_1 kuchning r_s bosimi ham ta'sir qiladi.

$$P_c = \frac{C_1}{(2b_p \ell_{nk})} \quad (6.48)$$

bunda: b_p tayanch yuzadagi kollektor plastinkalarining hisoblangan qalinligi; n_{isp} – aylanish chastotasida $p_c \leq 20 - 25 \text{ MPa}$ ga teng bo'lishi lozim.

R_{zp} kuchga nisbatan kollektorning boshqa qistirish detallari ham hisoblanadi.



6.23-rasm. Kollektorning hisoblash sxemasi a), uning qismlaridagi kuchlanish b) va kollektorlarning konstruktiv o'lchamlari.

1. "Qaldirg'och dumi" plastinkalardagi kuchlanish;
2. Izolyatsion konusdagi bosim;
3. Qisish shaybalarining egilish kuchlanishi.

Kollektor plastinkalarining o'rtasi 3 – yuzasida S_1 kuch M_3 – eguvchi momentni yuzaga keltiradi: $M_3 = 1/8 C_1 \ell_3$

Bu momentdan eguvchi kuchlanishi $\sigma_{eg} \leq 50$ MPadan yuqori bo'lmasligi lozim. Agar bu yuzadagi kuchlanish nisbatan katta bo'lmasa, plastinkalarda bir-ikkita diametrlari $d_0 = 0,65h_1 + (3 \div 4)$ mm bo'lgan yengilashtiruvchi teshik qilinadi (6.23, v-rasm).

Kollektor-mashinaning normal yediriladigan qismi hisoblanadi va shuning uchun plastinkalarning balandligi, h_3 yeyilishni hisobga olgan holda radius bo'yicha 12-15 mm qilib tayyorlanadi. Markazdan qochma kuchlar ta'sir qilganda ham chegaraviy yeyilishda ham plastinkalarning konsolli qismida ruxsat etilmagan deformatsiyalar, asosan old tomondan yuzaga kelmasligi lozim. Konsolli qismi balandligi h_2 ko'pincha yeyilishni hisobga olgan holda o'rnatiladi: $h_2 = 12 \div 15$ mm. 2-yuza bo'yicha kuchlanishni hisoblash kollektorning chegaraviy yeyilishi uchun bajarilishi, biroq n_{isp} – tezligida emas, balki maksimal aylanish chastotada $n_{max} < n_{isp}$ bo'lganda. Bu holda

$$C_2 = 0,545 m_2 D_2 n_{max}^2; \quad M_2 = C_2 \ell_2 \quad (6.49)$$

Yangi kollektor uchun 2-yuzadagi kuchlanish $\sigma_{eg} \leq 45$ MPa bo'lishi kerak, a chegaraviy ruxsat etilgan qismgacha yeyilgan kollektor uchun $\sigma_{eg} \leq 60$ MPa bo'lishi kerak. Temperatura ko'effitsiyenti va egilish modullarining bir xilda bo'lmasligi sababli qo'shimcha tortuvchi P_X^I kuchlar yuzaga keladi.

$$\frac{1}{P_X^I} = \frac{1}{P_{mis}} + \frac{1}{P_{po'lat}} + \frac{1}{P_{iz}} \quad (6.50)$$

bunda, R_{mis} , $R_{po'lat}$, R_{iz} – mos holda kollektorning mis po'lat va izolyatsiya qismlarida qizish natijasida yuzaga keladigan kuchlar.

$$\left\{ \begin{array}{l} P_{mis} \cong \Delta \ell S_m E_m / \ell_s \\ P_{po'lat} \cong \pi \Delta \ell d_0 m_0 E_{po'lat} / (4 L_0) \\ P_{iz} \cong \Delta \ell S_{iz} E_{iz} / \Delta_{iz} \end{array} \right\} \quad (6.51)$$

bunda: $\Delta \ell$ – qizsh natijasida kollektorning mis plastinkalarning uzayishi, d_0, m_0, L_0 – kollektor boltining diametri, soni, hisobiy uzunligi.

S_{iz}, Δ_{iz} – izolyatsiyalovchi konsusning ko'ndalang kesim yuzasi va hisobiy qalinligi: $E_M = 1,1 \cdot 10^4$ MPa; $E_{po'lat} \approx 2,2 \cdot 10^4$ MPa; $E_{iz} = 0,13 \cdot 10^3$ MPa – mos holda mis, po'lat va izolyatsiyaning egilish moduli.

$\Delta_{iz} \approx 2\delta_v / \cos \alpha$ ga teng; kollektor mis plastinkalarining uzunligi, m:

$$\Delta \ell \approx \ell_s \alpha_M \tau_M - L_0 \alpha_{po'lat} \tau_{po'lat},$$

bunda, $\alpha_M = 1,65 \cdot 10^{-3}$, $\alpha_{po'lat} = 1,17 \cdot 10^{-3}$ – mis va po'latning temperatura koeffitsiyentlari; $\tau_M, \tau_{po'lat}$ – kollektorga biriktiriluvchi mis plastinkalari va po'lat detallari temperaturasining o'zgarishi.

Qizish yordamida yuzaga keluvchi kuchlanish markazdan qochma kuchlar ta'sirida yuzaga keluvchi kuchlanishga qo'shiladi. 6.23,b-rasmda kollektorning bir necha qismlarida ularning yuza qismidagi aylana bo'ylab tezligiga bog'liq holda kuchlanish va bosimining o'zgarishi tasvirlangan. Kollektor plastinkalaridagi natijaviy egilish kuchlanishi har qanday normallashtirilgan sharoitda $\sigma_{eg} \leq 120 \div 140$ MPa, siquvchi boltlardagi cho'zilish kuchlanishi $\sigma_{cho'z} \leq 250 \div 270$ MPa konusning izolyatsion bosimi $p_{iz} \leq 60 \div 65$ MPa dan oshib ketmasligi lozim.

Tortuv motorlari kollektorlarning asosiy konstruktiv o'lchamlari 6.23,v-rasmda va 6.3-jadvalda keltirilgan. Bunda kichkina o'lchamlar kichik diametrli kollektorlarga taalluqli bo'ladi va aksincha teskarisi. Plastinkalarning balandligi taxminan $H_n = (0,10 \div 0,16) D_{ya}$ bo'ladi va u mustahkamlik bo'yicha hisoblashlarda aniqlashtiriladi. Kollektor qutisi va qisish shaybalari o'lchamlari plastinkalar jamlamasi va izolyatsiya o'lchamlari, vtulka yoki yakor o'zagi qutilari konstruksiyalariga qarab aniqlanadi. Bu detallarning konus qismi mustahkamligi markazdan qochma kuchlar va presslash kuchlariga hamda kollektor plastinkalarining "qaldirg'och dumi" uchun ta'sir kuchlari bilan aniqlanadi.

6.3-jadval

U _C B	E, mm	SL, mm	A, mm	R _p , mm	R _{YA} ,mm	
600	0,5-1,0	1,0	6,0-7,5	2,0-3,0	3,2-4,0	
750	0,8-1,0	1,2	6,5-8,0	2,4-3,5	3,5-4,5	
1500	1,0-1,2	1,5	7,5-8,5	3,0-4,0	4,0-5,0	
3000	1,0-1,2	2,0	8,5-10	3,5-5,0	4,5-5,5	
U _C B	S _M , mm	S _{TS} , mm	L _U , mm	L _U , mm	L _{UCH} , mm	L _{UZ} , mm
600	1,4 ÷ 2,8	1,0	25-30	25-30	12-15	18-25
750	1,7-2,5	1,25	32-40	32-40	16-20	22-30
1500	2,4-3,2	1,5	45-60	45-60	22-28	26-38
3000	3,0-3,8	2,0	60-75	60-80	29-36	28-40

Tortuv motorinini mustahkam qilib tayyorlash, ularning kollektori tayyorlanadigan materiallariga nisbatan o'ta yuqori talablar qo'yishga majbur qiladi. Qo'llanadigan sovuq tortilgan elektrotexnik mis plastinkalar qattiqligi $75 \div 85$ NV, mustahkamlik chegarasi 280 MPa, cho'zilshga berilish chegarasi 250 MPa va 320 MPa kuchga kadmiy aralashmali misdan va asosan kumushdan tayyorlanganlari qo'llaniladi. Bunda qattqlik darajasi 95-100 NB gacha, mustahkamlik chegarasi esa 350 MPa dan ortiq bo'ladi. Kollektorning yeyilishining bir teksda bo'lmasligi yo'qotish uchun, har bir kollektor uchun bir xil qattqlikdagi plastinkalarni tanlash amalda tekshirilmoqda. Ba'zida kollektorning ustki qismi mustahkamlikka bajariladi. Plastinkalar orasidagi izolyatsiya kam yelimlanuvchi 7% kollektor mikaniti KF1 bilan 60 MPa dan yuqori bosimda tayyorlanadi. Plastinkalar orasida taglik o'rnatish bo'yicha xatolikning og'ishi 0,05 mm dan oshmasligi kerak, chunki yig'ilgan kollektorda og'ishlar yig'indisi jamlanadi, bu asosiy o'lehamlarga ta'sir qilishi mumkin.

Kollektorning mikanitli konuslari (manjetlar) va silindrlari formalangan mikanitlar FF24 yoki FM2A, slyudinit yoki elektr mustahkamligi 30 kV/mm bo'lgan slyudoplastdan tayyorlanadi.

Kichkina kollektorlar uchun ular (yig'ilgan) butun holda, a kattalari uchun alohida seksiyalardan bir-birini to'ldiruvchi qilib tayyorlanadi. Mikanitlar farqi 15% katta bo'lmagan 60-75 MPa bosimga chidaydigan bo'lishi lozim. Old mikanitli konus bir necha qatlam yelim bilan qoplanadi yoki oynali lenta bilan o'raladi. Tashqi tarafidan o'tga chidamli bir tekisdagi silliq yuza hosil bo'lguncha lak bilan bo'yaladi. Bu ularning changlanishidan va o'tkazuvchi ko'priklar hosil bo'lishidan saqlaydi. Kollektor jamlamasi, po'lat qutisi va qisish shaybalari yordamida bolt bilan qattiq mahkamlanadi. Ularni prujina elementi kabi yuqori uglerodli yoki legir-lenta po'latdan maxsus ishlov berish va hisoblangan diametrni aniq bajarish bilan tayyorlanadi. Bir tekisda tortilishi latunli shaybani o'rnatish bilan va dinomametrik dastali gayka kalitlari yordamida ta'minlanadi.

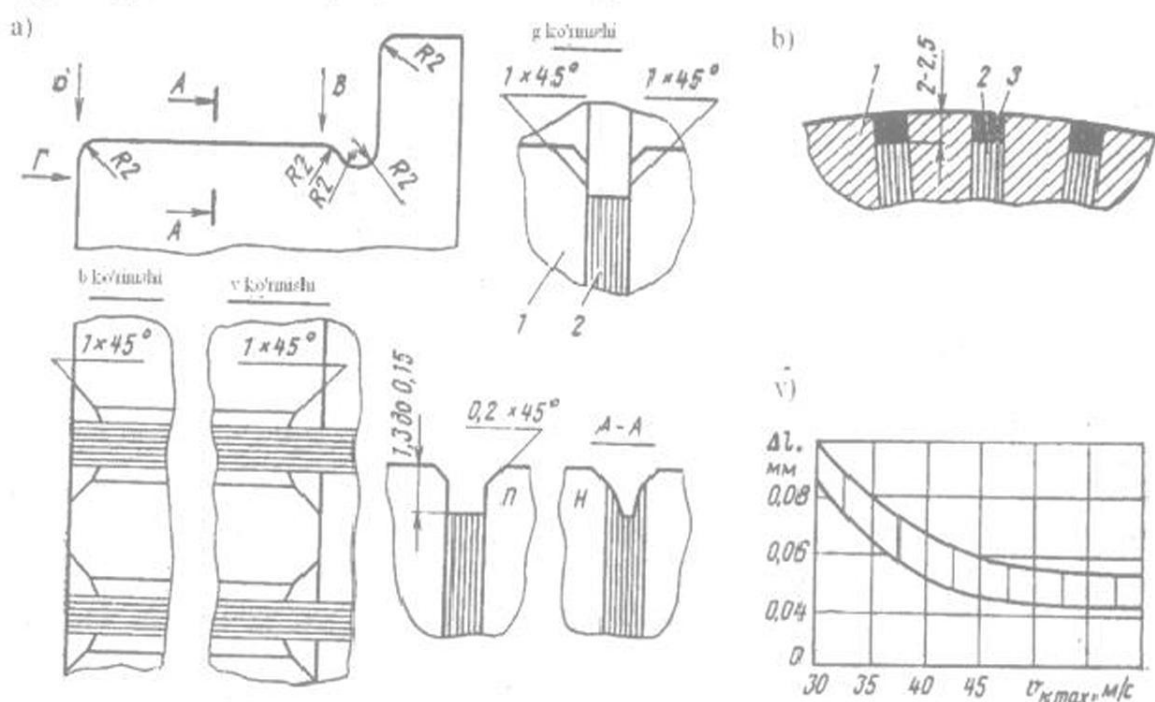
Mavjud ariqcha yo'lakchalarning, kollektor plastinkalari va tagliklari orasi to'liq bo'lmaganligidan yo'lakchalar markazdan qochuvchi ventilyator xususiyatiga ega, ya'ni kollektor ichida. Bu bo'shliqni ventilyatsion havodan muhofazalash uchun quti shayba bilan qattiq mustahkamlanadi. Yakorning aylanishida mustahkamlikka erishish uchun qutining ichida shayba o'rnatish zarur bo'ladi. Ba'zida quti va shayba orasida qo'shimcha mustahkamlovchi taglik o'rnatiladi (6.23, v-rasm).

Tortuv motorlarning kollektori arzonlashtirish uchun, ular konstruksiyasini plastmassali korpusdan tayyorlash bo'yicha urinishlar

qilingan. Undan ta'mirlash imkoniyati bo'lmaganligi uchun voz kechildi. Bu kamchilikni bartaraf etish uchun kelajak konstruksiyalarda qo'llash maqul hisoblanadi.

Kollektor mikaniti ch'otkalar yordamida misga nisbatan kam yeyiladi. Shuning uchun kollektorda yo'lakchalar bo'lishi lozim, ya'ni plastinkalar orasidagi taglikning yuqori qismi olib tashlanishi kerak bo'ladi (6.24,a-rasm). Bunda kollektorning yuzasi notekis bo'lib qoladi, natijada ch'otkaning ishlashi yomonlashadi va plastinkalar orasida o'tkazuvchi ko'priknii hosil bo'lishiga sharoit yaratadi. Bundan holi bo'lish uchun yo'lakli chuqurchalarni (6.24,b-rasm) yeyilishga chidamli, misning yeyilishi bilan bir xil, kerakli elektr izolyatsiyalovchi xususiyatga ega bo'lgan va kollektor plastinkalari bilan mustahkam aloqaga ega bo'lgan massa bilan to'ldirish kerak. Hozirgi kunda bunday sifatlarga ega bo'lgan materiallar yaratilgani yo'q.

Kollektorlarning ishonchli ishlashi, uning yuqori aniqlikda tayyorlanishini talab etadi. ГОСТ 2582-81 bo'yicha magistral elektrovozlar tortuv elektr motorlarining kollektori o'rilishi issiq holda 0,04mm dan yuqori va sovuq holda 0,02 mm dan yuqori bo'lmasligi kerak. Eksploatatsiyada har qanday kollektor yuzasidagi buzilish 6.24,v-rasmida keltirilgan qiymatlardan yuqori bo'lmasligi lozim.



6.24-rasm. Eksploatatsiyadagi tortuv elektr motorlari kollektori holatini aniqlash:

Har doimgidek bajarishda to'g'rilash va yo'lakcha ochish (p-to'g'ri, n-noto'g'ri); b-yo'lakcha ariqchalarini to'ldirish bilan; v-harakat tezligiga bog'liq bo'lgan ishchi yuzaning ruxsat etilgan buzilishi.

6.7-§. O'qlar va yakor podshipniklari

Tortuv elektr motorlari yakor (rotor) o'qlari va ularning podshipniklari qiyin sharoitlarda ishlaydi, asosan tirgak-o'qli osishda. Ularga ta'sir etuvchi impulsli va yarim garmonik dinamik ta'sirlar o'qlarni yuqori charchoqqa mustahkam va urilishlarga chidamli po'latdan tayyorlash zarurligini bildiradi. Tortuv elektr motorlari o'qlarini tayyorlashda ko'pincha xromnikelli yoki xrommolibdenli po'latdan bolg'alab tayyorlanadi. Ko'p qo'llaniladigan 20XH3A po'lat quyidagi xususiyatlarga ega: mustahkamlik chegarasi 700 MPa gacha, shaklini o'zgartish chegarasi 500 MPa, Menaje bo'yicha urilishdan etilishi 80 Nm/sm^2 dan kam emas, nisbiy cho'zilishi 18%, qattiqligi NV-205-245. O'qlarga bexosdan tushadigan yuklamalarni aniq hisobga olish imkoni yo'q: o'qlar faqat asosiy, doim ta'sir etuvchi kuchlar bo'yicha hisoblanadi. Buning uchun konstruktiv zaxira ruxsat etiladigan kuchlanishga qo'shiladi. Masalan yuqorida keltirilgan po'latdan tayyorlangan motor o'qini hisoblashda, ramali osishda natijaviy kuchlanish 130-170 MPa, a tirgak-o'qli osishda 90-110 MPa natijaviy kuchlanish ruxsat etiladi.

O'qda diametrning kam o'zgarishlar soni bo'lishi lozim, ba'zi ehtimoldan holi buzilmagan, o'tish joylari katta radiusga ega bo'lgan suyri chiqishlar shaklida bajariladi.

Burilib chiqqan joylar kuchlanishi σ_{bur} , uni hisobga olmasa ham bo'ladigan joylardagiga nisbatan σ kuchlanish ortadi: $\sigma_{bur} = K_k \sigma$ (bu yerda K_k – kuchlanishlar konsentratsiyasi koeffitsiyenti, qiymatlari 6.25-rasmda keltirilgan). Agarda silliq chiqish joylarida ishlov berilgan joylari bilinib qolsa, ular bir necha marta ortishi mumkin.

O'qning silindrik qismidagi silliq chiqish joylarida kuchlanish

$$\sigma_k \cong 0,5(\sigma + \sigma_{bur}) \cong 0,5\sigma(1 + K_k).$$

Kuchlanishning kontsentratsiyalanishi (bir joyga yig'ilishi) qayerda kesilgan joylar, yemirilgan, uchlik joylarda bo'lsa, o'sha joyda xavf juda katta bo'ladi. Motorlarning o'qlarida shponka uchun ariqcha, rezbalar, kesgich izlari bo'lmasligi lozim bo'ladi, faqat yuklama tushmaydigan joylardan tashqari.

Asosiy o'lchamlari – o'q diametrlari, mm, aylanuvchi momentga bog'liq bo'ladi. Taxminan

$$d \cong K \cdot \sqrt[3]{P_{nom} / n_{nom}} \quad (6.52)$$

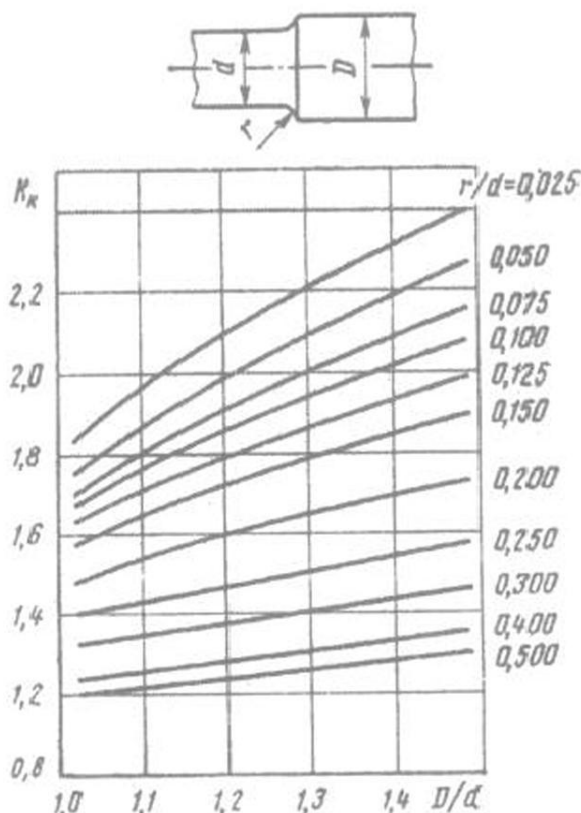
bilan aniqlanadi.

Doimiy K ning qiymatlari, o'qning har xil kesimlari uchun 6.4-jadvalda keltirilgan

6.4- jadvalda

O'qning kesish joyi	Uzatishda K ning qiymati	
	Bir taraflama	Ikki taraflama
Silindrsimon qismidan konusning shesterna tagidan o'tishi	170-180	156-166
O'zakning vtulka tagidagi o'rtacha diametri	176-200	166-192
Ushlab turgich podshipnikining tagida	187-206	160-185
Siquvchi podshipnik tagida	120-145	160-185

Bir va ikki taraflama uzatishda o'qqa ta'sir etuvchi hisoblangan yuklama sxemasi 6.26,a va b-rasmda ko'rsatilgan, bunda barcha o'lchamlar metrda keltirilgan.



6.25-rasm. O'qdagi kuchlanishning konsentratsiyanish koeffitsiyenti.

Hisobiy kuchlar va aylanuvchi momentlar hisoblangan ilakish koeffitsiyentidan kelib chiqqan holda $\psi_x = 0,33$, hosil qilinadigan tortish kuchiga mos holda aniqlanadi, N :

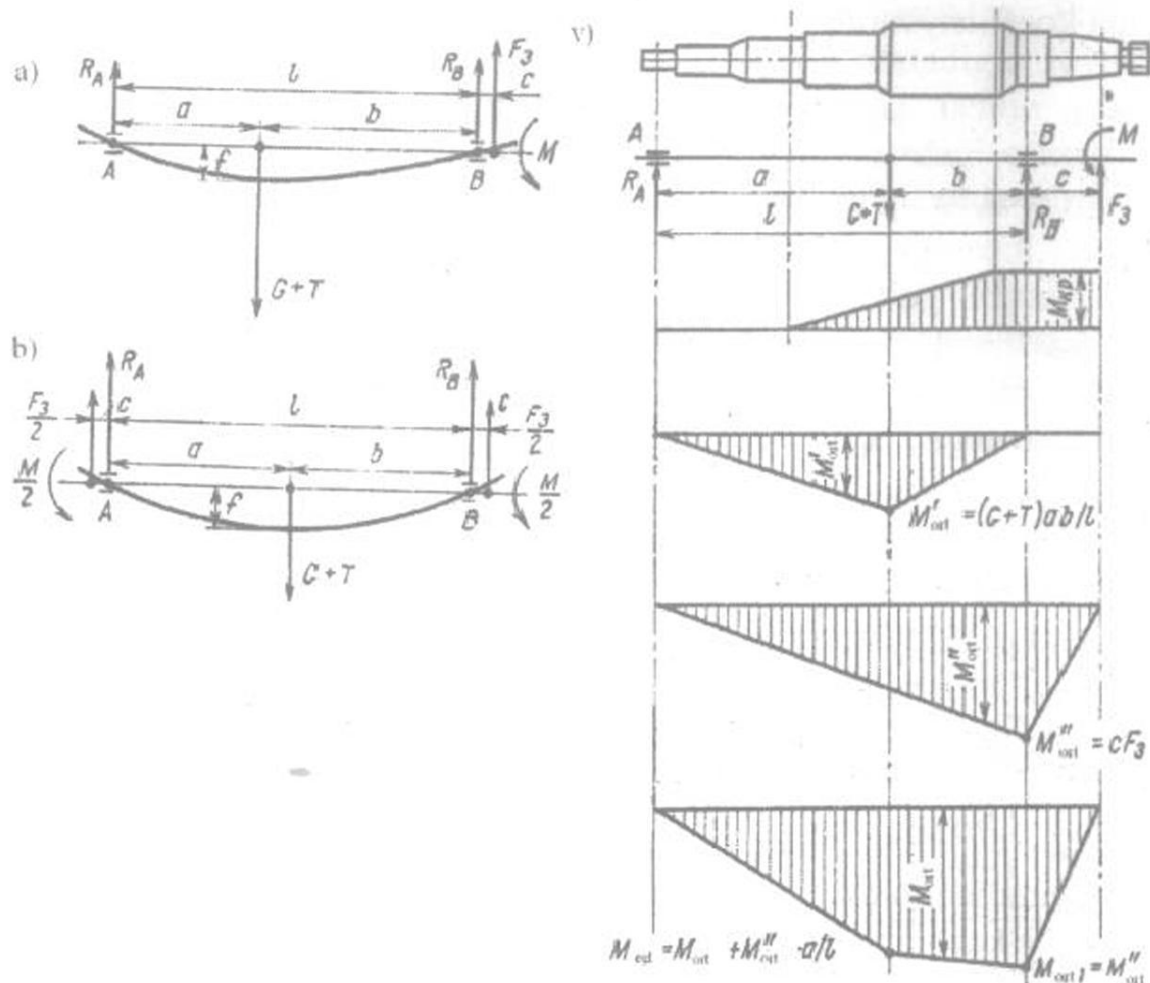
$$F_{ayl} = g m_k \psi_x 10^3 \quad (6.53)$$

bu yerda, m_k – lokomotivning bir g'ildirak juftligiga to'g'ri keladigan massasi, T.

Bunda tortuvchi uzatgichdan o'qqa beriladigan reaksiya kuchi, N.

$$F_3 \cong 1,05 \cdot D_{\text{ss}} F_{\text{ayl}} K_p / (d_3 \mu) \quad (6.54)$$

bunda, K_p - uzatish turining ko'rsatkichi; bir taraflama o'zlashda $K_p = 1$,
ikki taraflama uzatishda $K_p = 1/2$.



6.26- rasm. O'qning yuklanish sxemasi, a) - bir taraflama uzatishda; b)- ikki taraflama uzatishda va v) bir taraflama uzatishda o'qdagi momentlarning epyurasi.

Yakorning bir taraflama magnit tortilishining kuchi, N:

$$T = t(e_0 + f) \quad (6.55)$$

bunda: $e_0 \cong (1.9 \div 2.4) \cdot 10^{-4}$ m – yakor podshipniklari orasidagi bo'shliq tufayli eksentritit; f – o'qning egilishi, m; t – 1m uzunlikdagi yakor o'zagining shartli 1 smga egilishidagi solishtirma tortilish kuchi, mN/m;

$$t \cong 0,225 D_{ya} \ell_{ya} / (\delta K_v)$$

IN birlik kuchdan o'qning egilishi, m: φ_1 —yakorning o'rtasidan qo'yilgan kuchdan; φ_2 —konsolli yuklamadan kuchdan- F_3 — kuchlar:

$$\varphi_1 \cong (36\ell^2 - 4e^3)/(60EJ^1); \quad \varphi_2 \cong c\ell^2/(16EJ')$$

bu yerda, J^1 — o'qqa o'rnatilgan detallarga ta'sirni hisobga oluvchi keltirilgan inertsia momenti; Yuklamani aniq emasligini hisobga olgan holda koeffitsiyentini 48 emas, balki 60 qabul qilinadi. Inertsia momenti m^4 :

$$J^1 \cong \pi(1,2 \div 1,5)d^4 / 64$$

O'qning to'liq egilishi

$$f = [(G+T)\varphi_1 + \kappa_p \varphi_2 F_e] / (1 - \varphi_1 t)$$

t va f ning olingan qiymatlari (6.55) — tenglama bo'yicha T kuchni aniqlashga imkon beradi.

Hisoblangan aylanuvchi moment, Nm:

$$M_{ayl} = F_{ayl} D_S / (2\mu \cdot \eta_E) \quad (6.56)$$

Momentlar epyurasidan buralish M_{bur} moment va egilishi M_{eg} momentlari 2.26, v-rasmda ko'rsatilgandek, bir taraflama uzatishda buralish σ_r va egilish kuchlanishlarini o'qning ko'rilayotgan i-kesimida aniqlash imkonini beradi.

$$\sigma_{EGi} = M_{EGi} / W_i; \quad \sigma_{\pi} = M_{ayl} / W_i \quad (6.57)$$

Bunda $W_i \cong 0,1d^3$ — o'qning i — kesimidagi qarashlik momenti, m^3 .
Natijaviy kuchlanish, Pa:

$$\sigma_i = \sqrt{\sigma_{egi}^2 + \sigma_{Ti}^2} = (1/W_i) \cdot \sqrt{M_{egi}^2 + M_{ayli}^2} \quad (6.58)$$

Olingan kuchlanishda ularning konsentratsiyasi hisobga olinmagan. Konsentratsiyani hisobga olgan holda kuchlanishni hisoblash yuqorida ko'rib chiqilgan.

Aylanish tezligining ishchi oralig'ida yakor tebranishini oldini olish uchun kritik aylanish chastotasi aniqlanadi,

$$\eta_{kr} \cong \frac{300}{\sqrt{f_{cT}}} \quad (6.59)$$

bunda, f_{cr} – statik egilish o'qi, sm:

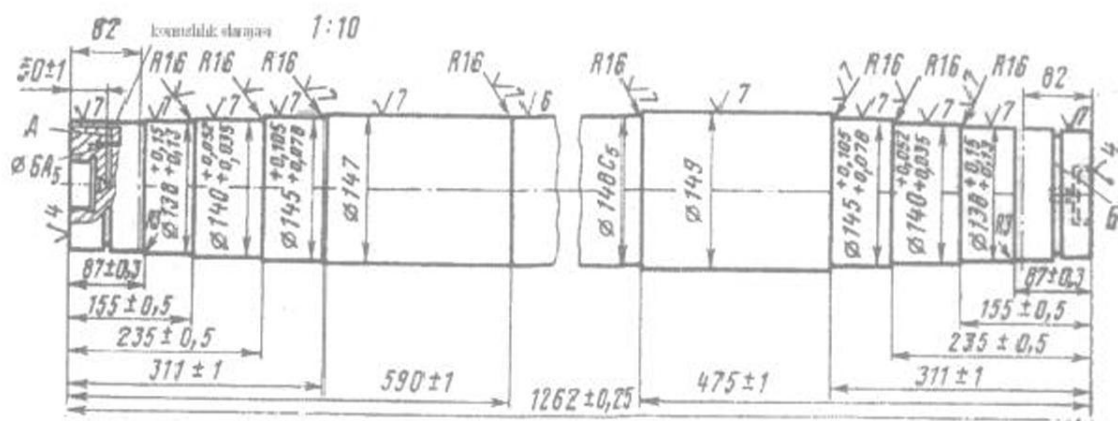
$$f_{cr} \cong 1,1G(3\ell^2 - 4\delta^3)/(60E \cdot J')$$

Quyidagi shart bajarilishi lozim

$$\eta_{kr} \geq (1.3 \div 1.5) \cdot \eta_{max}$$

6.27-rasmda elektrovoz tortuv elektr motorlarni ikki taraflama uzatadigan o'qi konstruksiyasi barcha detallarni o'qqa shponkasiz mahkamlashsiz, preslab (vtulkalar va o'zak qutisi) yoki qizigan holda (labirintni, podshipnik halqalari) shponkasiz o'rnatildi. Preslab joylashtirishda buzilishlarni oldini olish uchun bitta o'rnatadigan joyning uzunligi 300-350 mm dan oshmasligi zarur. Shuning uchun yakor, vtulkasining o'rnatiladigan joyi bir necha har xil diametrdagi o'rnatilish joylariga ajratiladi. Shesternya va g'ildirak juftlarni issiq holda o'rnatish uchun o'qning oxiri 1:10 o'lchamda konusli qilib tayyorlanadi. Ularni chiqarib olish uchun yog'li chiqarish kuzda tutiladi, buning uchun konus yuzasida halqasimon ariqcha B qilinadi, buning uchun A tirqishdan o'q markaziga bosim ostida yog' yuboriladi. Ikki taraflama uzatishda o'qning oxirlarida shponka ariqlari ikkala uzatishda ham aniq moslashishi uchun tayyorlanadi.

Katta quvvatli tortuv elektr motorlarida o'qsiz konstruksiyadagi g'oyalar ilgari surilmoqda.



6.27-rasm. Elektrovozlar tortuv elektr motorining ikki taraflama uzatmali o'qi.

Tortuv elektr motorlarda ko'pincha faqat bir qatorli silindrsimon rolikli yakor podshipniklari qo'llaniladi. Bir taraflama uzatishlarda kollektorning o'q holatini aniq belgilash uchun, kollektor tarafidan ikki taraflama siquvchi podshipniklar o'rnatiladi.

Ikki taraflama uzatmalar ko'pgina hollarda qiyshiq tishli g'ildiraklardan tayyorlanadi. U holda tishlarning egilishi, qarama-qarshi yo'naltirilgan. Ushlab turuvchi podshipniklar yakor o'qiga o'zi o'rnatiladigan o'qdagi kuchlarni hosil qiladi.

Reduktorsiz yakorning o'q bo'yicha surilishini bartaraf etish uchun, ikkala podshipnik ham bir tarflama siqiluvchi, umumiy o'q bo'yicha 6-8,5 mm gacha kengayuvchi qilib tayyorlanadi.

Ko'pincha podshipnik har ikki tomonlama burchak tashqi halqali qilib tayorlanganlari, keng qo'llanmoqda. Bu o'qdan podshipniklar halqasini chiqarishni qisqartiradi.

Podshipniklar ularning texnik hujjatlariga keltirilgan normallashtirilgan ishga yaroqligi bilan tanlanadi.

Bu ko'rsatkichlar podshipniklar o'lchamlarning ortishi bilan o'zgarib boradi

$$C \equiv K_g \cdot R(hn_x)^{0.3} \quad (6.60)$$

bu yerda: K_g — dinamik yuklamani hisobga oluvchi ko'effitsiyent; tortuv elektr motorini ramaga osishda $K_g \equiv 1.7 \div 2.4$; R — n_x aylanish chastotaga to'g'ri keluvchi hisobiy radial yuklama; $h = (10 \div 50) \cdot 10^3$ podshipnikning ish sharoitiga va vazifasiga bog'liq bo'lgan ishlash davomiyligi.

Bir taraflama uzatishda radial kuchlar (6.26- rasmga qarang).

$$R_A = (G+T) \cdot e/\ell + F_{3x} \cdot c/\ell \text{ va } R_v = (G+T) \cdot a/\ell + F_{3x} \cdot (\ell + c)/\ell;$$

Ikki taraflama uzatmada

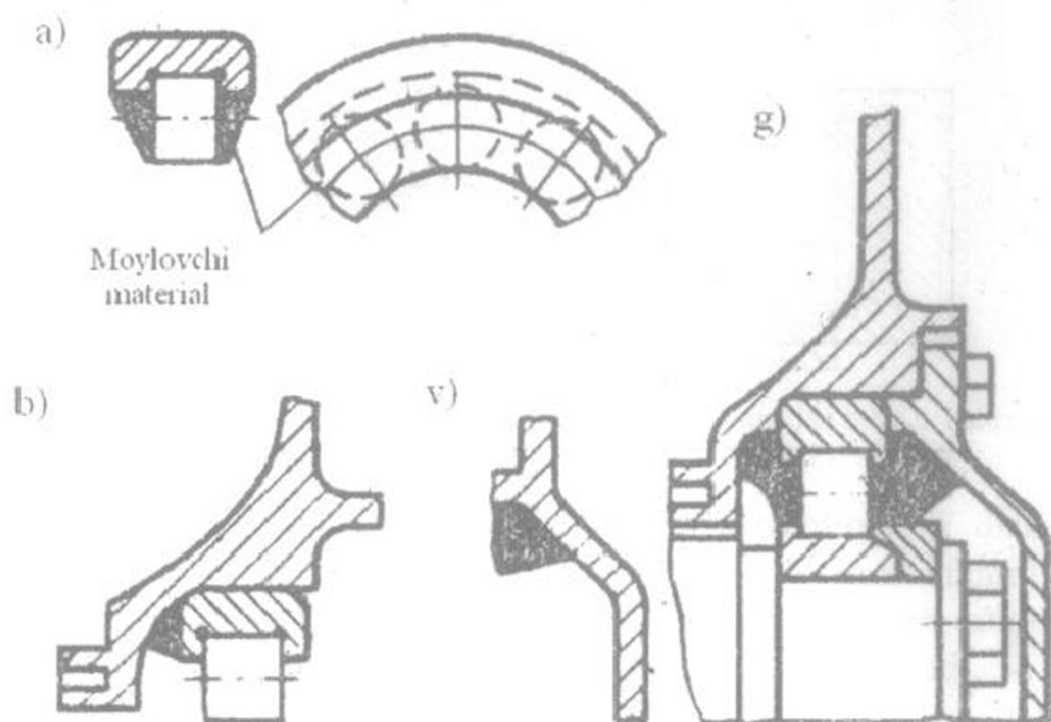
$$R_A = R_B = (G+T) \cdot a/\ell + F_{3x} / 2$$

Bunda uzoq davomli rejim uchun F_{3x} , 6.54-tenglama yordamida aniqlanadi.

Kardanli va shunga o'xshash uzatishlarda F_3 kuch bo'lmaydi va $R_A = (G+T) \cdot a/\ell$; $R_B = (G+T) \cdot b/\ell$

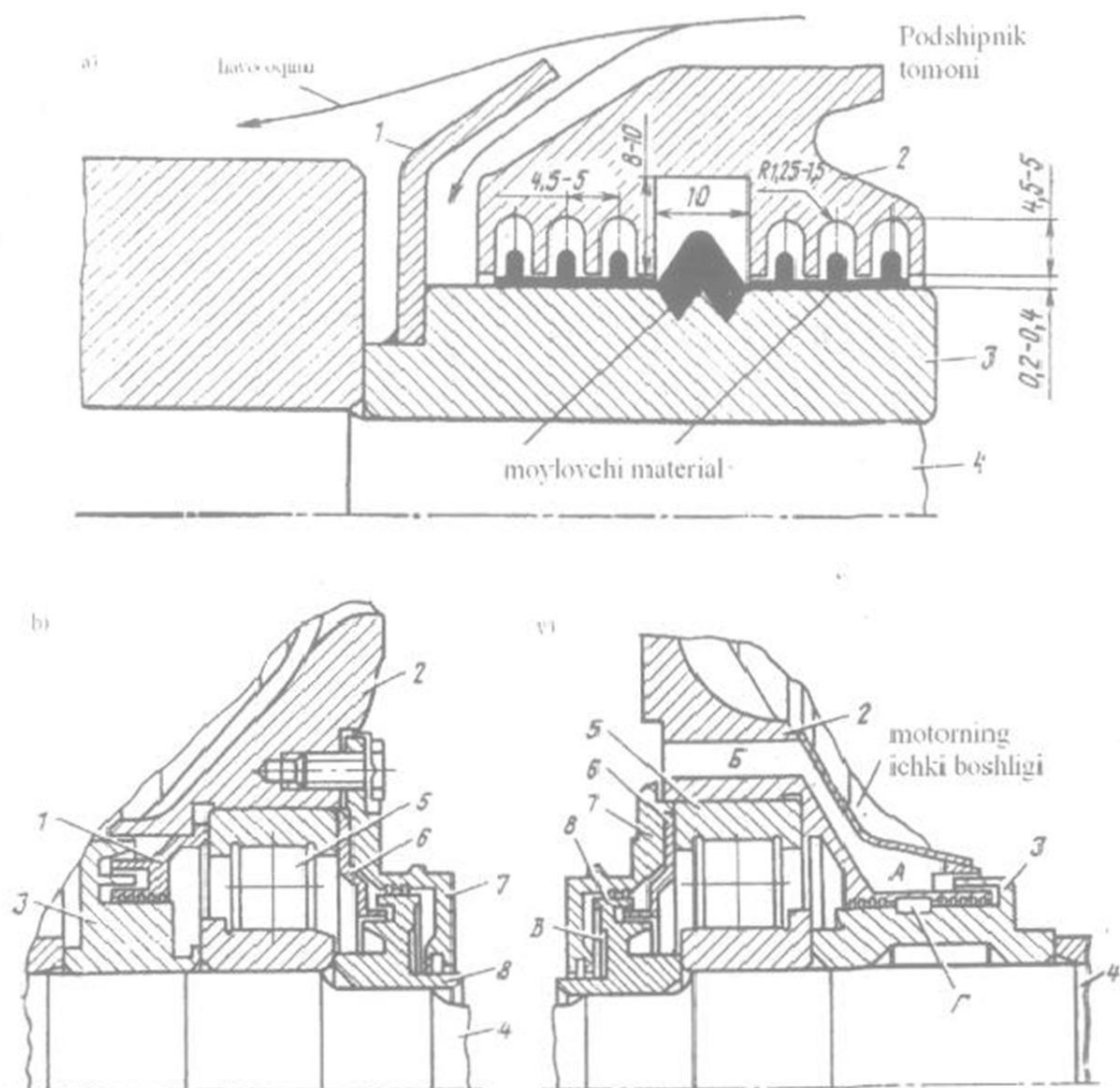
Siqib turuvchi podshipniklarda ruxsat etilgan o'qdagi yuklama $R \equiv (0,0015 \div 0,0025) \cdot C_o$ bo'ladi. U gorizontall dinamik tezlanishlarga bog'liq bo'ladi $a_r \equiv (2.5 \div 3.0)g$ va $R_o = G \cdot a_r / g$ kabi aniqlanadi. Tashqi halqalar jamlamasi podshipniklar qalqoni uyasi yopiq holda o'rnatiladi va qopqoq bilan yopiladi, u o'z navbatida tashqi halqaga yoki o'rnatiladigan uyaga markazlashtiriladi. Ichki halqalar o'qqa issiq holda 100-120°C gacha

qizdirilgan holda joylashtiradi. 6.28-rasmda podshipniklar kamerasini konsistent yog'lar bilan to'ldirishning taxminiy sxemasi keltirilgan.



6.28- rasm. Yakorning rolikli podshipniklarini moydan to'ldirish sxemasi:
a- oldindan moylash; b- bu ham qalqon uyasida; v- qopqonda yog'lash materialni joylashtirish; g- yog'lash materialining yig'ilgan podshipniklarda taqsimlanishi.

Podshipniklarning ishga yaroqliligi yog'lashning holatiga va podshipniklar kamerasining mahkamlanishiga bog'liq bo'ladi. Tortuv elektr motorlarida faqat lobirintli gidravlik mustahkamlagichlarning ishlash prinsipi (6.29,a-rasm) qo'zg'almas qismi (podshipnik qalqoni 2 yoki uning qopqog'i) va aylanuvchi halqaning 3, o'qdagi gidravlik to'siqdan chiqadigan markazdan qochma kuchlar orqali yog'lash motorlariga bog'liq bo'ladi. Ularning yuzaga kelishi ariqchalar va katta bo'lmagan qo'zg'almas va aylanuvchi yuzalar bo'shliqlarning yuzaga kelishi bilan asoslanadi. Tavsiya etilgan labirint gorizontal deb nomlanadi. Boshqa turdagi labirintlar mavjud bo'lib, masalan vertikal (radial) turi (6.29,b-rasm). Gidravlik labirintlar eyilmaydi, biroq podshipniklar kamerasidagi tashqi va ichki har xil havo bosimiga juda sezgir hisoblanadi. Ularning himoyalash xususiyati bosimning uncha katta bo'lmagan farqiga ham buziladi. Mashina ishlaganda uning alohida qismlari ventilyator xususiyatini hosil qiladi (masalan: podshipniklarning o'zi), joylardagi bosim va uyurma havo oqimi o'zgarishi ta'sirida (6.30-rasm).

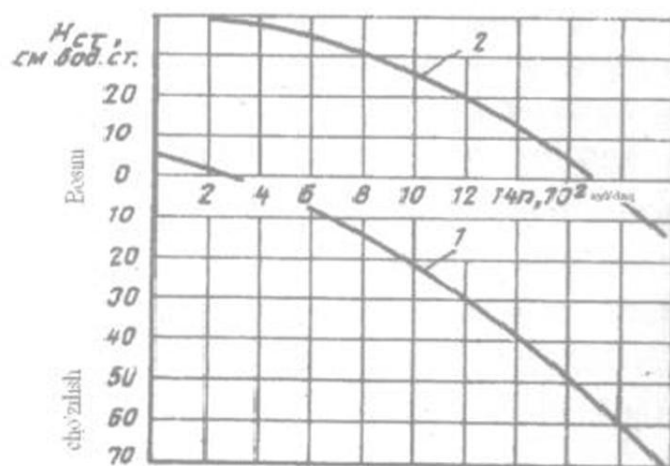


6.29- rasm. Yakor podshipniklarining gorizontall gidravlik mahkamlagich (a), radial labirintli kamera (b) va havo quvurli kamera (v).

1-6-oraliq halqalar; 2- podshipnik qalqoni; 3- labirintli halqa, 4- o'q, 5- podshipnik; 7- qopqoq; 8- siquvchi halqa;

Havo oqimini bir qismini ushlab qoluvchi halqa 1 yordamida (6.29-rasmga (a) qarang) uning bosimi doimiy bo'lmaganligi uchun to'lig'icha uyurilish ta'sirini to'liq bartaraf etib bo'lmaydi.

Havo quvurlaridan foydalanish ancha samarali hisoblanadi. (Tashqi havo oqimining mashina ichki qismlari va labirintlari orasidagi bog'lanishlar). A quvur kamerasi (6.29,b-rasmga, G gorizontall labirint orqali tashqi havo kanali B bilan bog'langan. Podshipniklar kamerasida bosim tenglashtiriladi va G va V labirintlarning ishlash samaradorligi oshadi.



6.30- rasm. Podshipnik kamerasidagi bosimning yakor qutisidan havo o'tishining aylanish tezligiga bog'lanishi (1) va yopiq qutida (2).

O'z-o'zidan shamollatadigan motorlarda yakor ventilyatori diski va podshipniklar qalqoni o'rtasida podshipniklar mustahkamligini kamayishini hosil qiladi. Mustahkamlik susayishini oldini olish uchun bu bo'shliq qalqonda maxsus tirqish orqali atmosfera bilan bog'lanadi.

6.8-§. Tortuv motorlari ostovasi

O'zgarmas va pulsatsiyalanuvchi tok tortuv motorlarida ostova massiv po'lat magnit o'tkazgich (stator) funksiyasini bajaradi va korpus – mashinaning asosiy tayanch va himoya qilish qismi hisoblanadi. To'rt qutbli motorlarning ostovasi, ko'pincha 6.31,a-rasmda ko'rsatilgani kabi ko'ndalang kesimli magnitli yarmo ko'rinishda bo'ladi, bu gabarit hajmining 91-94% dan foydalanish imkonini beradi. Bunday ostovalarga ishlov berish murakkab, ularning massasi silindrsimon ko'rinishidagi ostovalardan ortiq bo'ladi (6.31,b-rasm). Silindrsimon ostovalarni tayyorlash texnologiyasi har qanday qutblar soni bilan sodda, tayyorlash aniqqligi ancha yuqori. Silindrsimon ko'rinishidagi ostovalarning gabarit yuzasidan foydalanish 80-83% dan oshmaydi. Ba'zida pulsatsiyalanuvchi tok motorlari ostovasi yarmosi

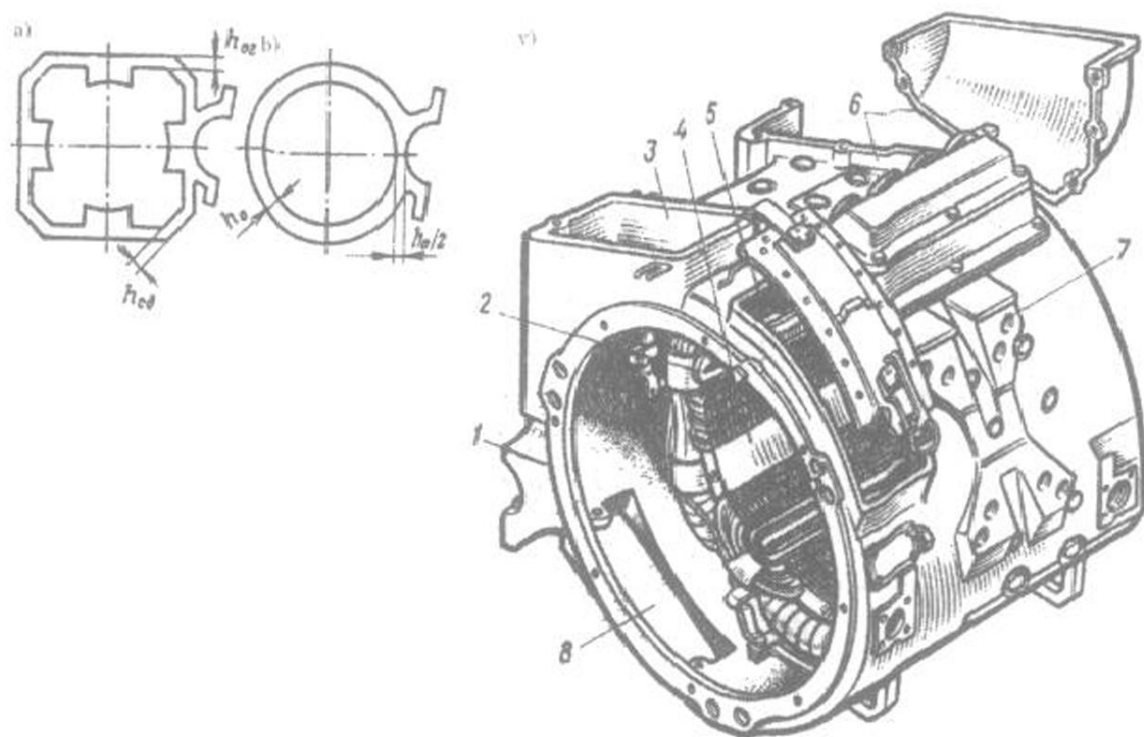
$$S_0 = \sigma \Phi_{nom} / (2 B_0) = h_0 / \ell_0 \quad (6.61)$$

bunda: $\sigma \approx 1.1 \div 1.2$ – magnit sochilish koeffitsiyenti; Φ_{nom} – nominal rejimdagi hisobiy magnit oqimi, Vb; B_0 – ostovadagi hisobiy induksiya, Tl (B_0 ning qiymati 2.4-§ da keltirilgan); h_0, ℓ_0 – magnit yarmoning mos holda qalinligi va uzunligi, m

Magnit oqim, Vb:

$$\Phi_{nom} = 60 E_a / (N \cdot p \cdot n_{nom}) \approx 14,25 \cdot a \Delta U_{ko'r} / (n_{nom} p^2) \quad (6.62)$$

Φ_{nom} – magnit oqimi qiymati, kesim yuzasi S_a va ostova massasi qutblar sonining ortishi bilan, nominal aylanish chastotasi va bir-biriga yaqin kollektor plastinkalar orasidagi o'rtacha kuchlanishning kamayishi bilan ortib boradi. Agar ostova yarmosi shixtalangan bo'lsa, u holda $\ell_o \equiv \ell_{ya}$, a massiv yarmoda $\ell_o \equiv \ell_{ya} + (0.8 + 1.0)\tau \equiv \ell_{ya} + (0.8 + 1.0)\pi \cdot D_{ya} / (2p)$. Chegaralangan ostovalarda, asosiy qutib tagida ostova qalinligi $h_{or} = 1,1h_o$ va qo'shimcha qutib tagida $h_{oqo'sh} \equiv 0.9h_o$ bo'ladi. Turg'un bo'lmagan rejimda qo'shimcha qutblar ishini yaxshilash va asosan, pulsatsiyalanuvchi motorlarda, ularning magnit oqimlarini shixtalangan magnit o'tkazgichlar orqali tutashtirish maqsadga muvofiq bo'ladi. Shu maqsadda, alohida shixtalangan o'rnatgichlarni qo'llash eng sodda hisoblanadi, masalan 6.6-rasmda ko'rsatilgan motordagi kabi. Tortuv elektr motorlarning ostovalarini past uglerodli 25L turidagi po'latdan quyma shaklida tayyorlash foydaliydir. Faqat, ishchi tormoz sifatida reostatli tormozdan foydalanuvchi EHT motorlarida katta koertsitiv kuchga ega bo'lgan tarkibda uglerod ko'p bo'lgan po'latdan foydalaniladi.



6.31- rasm. Tortuv motorlarining ostovasi.

a - burchaklari chiqarilgan; b- silindrsimon; v- ramali osmali HE-501 motori; 1,7 – motorni osish kronshteynlari uchun biriktirish joyi; 2,4- qo'shimcha va asosiy qutblar; 3,6 – shamollatish quvurlari; 5,8 – yuqoridagi va pastki nazorat qopqoqlari.

Ostova konfiguratsiyasining magnit yarmosidan tashqari (6.31, v-rasm) osish, shamollatish va boshqa qurilmalar magnit konfiguratsiyalaridan tubdan farq qilishi mumkin. Texnologiyalardan kelib chiqqan holda, ostova quymasi devorlari qalinligi 15-18mm dan kam bo'lmasligi zarur. Bo'limlar orasidagi har xil qalinlikda, katta radiuslar egilishi ko'rinishida asta-sekin o'zgarib borish kerak.

Motor o'qli podshipniklar – motorlarning tirgak o'qli osmasida va bir qancha ramada osish turlarining asosiy xususiyatidir (tishli g'ildirakning yarim o'qli bo'lganida). Ularda yaxshi taraflari tufayli ajraladigan vkladishli ishqalanishdan sirpanuvchi podshipniklar qo'llaniladi, ular asosan doim ta'sir qiluvchi yuklamalarda R_H hisoblanadi. Unga motor og'irligini va uning aylanuvchi momentini M aktiv tashkil etuvchilari kiradi. 6,2, a-rasmga asosan, yuklama, N :

$$R_n = G(B - l) / B + M / (2l).$$

Buksa vkladishi tagidagi bo'yinchaning o'qi kesim yuzasidagi bosim, Pa :

$$p_k \cong \frac{R_k}{(2d_0 l)}. \quad (6.63)$$

bunda, d_0 – o'q diametri; m ; L – vkladish o'zunligi, m .

Nominal rejimda $p_k \leq 1.0 \div 1.2 mPa$. Vkladishlarning yemirish shartlari ishqalanishning solishtirma ishi bilan baholanadi, Pam/s :

$$A_v = v_o \cdot p_k \quad (6.64)$$

bunda, v_o – vkladish tagidagi o'qning chiziqli tezligi, m/s : $v_o = \omega d_0 / 3,6 \cdot D_0$.
Nominal rejimda $A \leq 1,0 \div 1,5 mPam/c$ ga teng bo'ladi.

Motor o'qli podshipniklarning yechiladigan qopqog'i – tortuv motori va uzatgichlarning eng ko'p yuklangan qismlaridan biridir. Ayni, ular orqali motorga katta dinamik ta'sirlar uzatiladi. Quti va qopqog'ining o'zida ham dinamik kuchlar yuqori bo'ladi:

$$P_{d.sh} \cong a_d m_v.$$

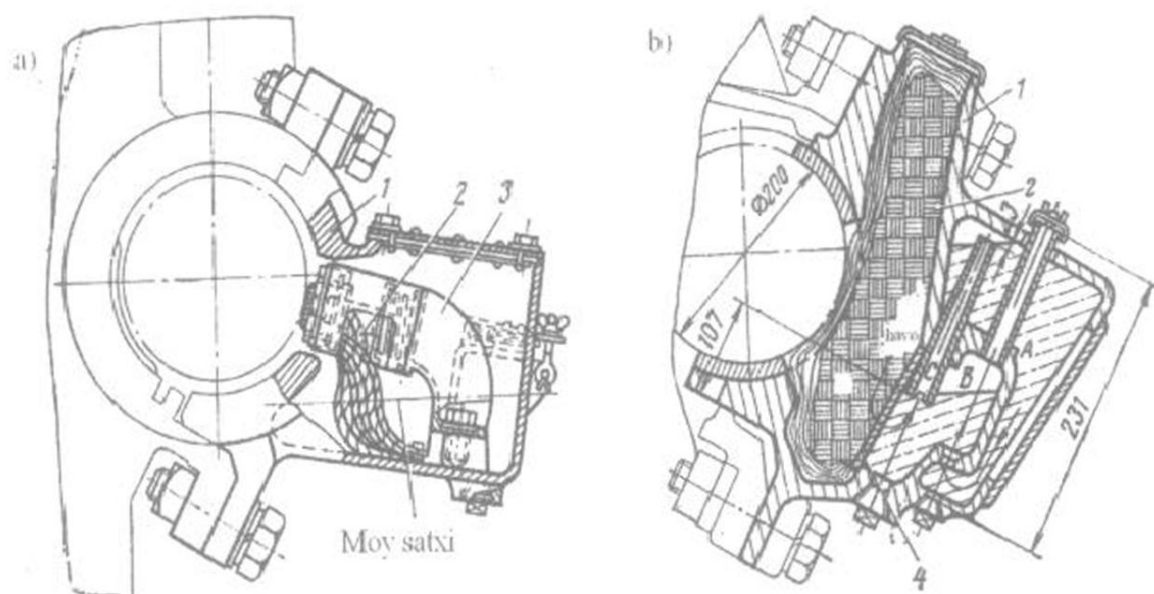
bunda, a_d – dinamik tezlanish, $(15 \div 25)$ gacha erishishi mumkin; m_m – yog'lash material va apparati bilan birga qopqoq massasi.

Dinamik kuchlar qopqoqning boltlarini bo'shashiga olib keladi va qopqoqning ostovaning tayanch tekisligida o'rnatish mustahkamligi

buziladi. Bunday hollarda, vkladishning katta yemirilish holati kabi, sentralning o'lchamlari va g'ildirak juftligi o'qining paralleligi buzilishi mumkin. Motor o'qli podshipniklar yarim yuvuvchi yog'lar va ularning doimiy sathlisi eng ko'p tarqalgan. Birinchi holda, yog' o'q yuzasiga prujina orqali siqiladigan yostiqlar o'zagi yordamida – jun materialdan beriladi (6.32,a-rasm). Doimiy sathli suyuq yog'li motor-o'qli podshipniklarda (6.32,b-rasm) u o'qga uzatgich yordamida P kameradan beriladi, u doimiy sathli V kameraga bog'langan bo'ladi. U yerda yog'ning sarflanishiga qarab A kameraning pastki tirqishidan rostlanadigan S quvurdagi pastki tirqishi yopilgunga qadar to'ldirib boriladi. Bunda A kamera germetizatsiya qilinadi, yog'lash materiali ustida quyushtash yuzaga keladi va undan yog'lash materialining chiqishi to'xtatiladi. Yog'lash materialining sarflanishi bilan A kameraning germetizatsiyasi buziladi va S patrubka ochiladi. U orqali havoning kirishi boshlanadi.

Yog'lash materialini solish uchun quyish qurilmasidan foydalaniladi (0,2 MPa bosim ostida). Uning uchliklari A va V kameradan ajratiladi, a yog'lovchi material A kameraga pastki tomondan konussimon tirqishdan, S quvurdagi sath yuqoriga kelguncha to'ldiriladi va V kameraning to'ldirilishi tez amalga oshadi. Qopqoqni ishonchli germetizatsiyalash talab etiladi, chunki uning buzilishi yog'lash materialining yo'qolishiga olib keladi.

Kelajakda tirkak-o'qli osishda tebranish podshibniklaridan foydalanish, konstruktiv va ekspluatatsion qiyinchiliklar bo'lsa ham ular bartaraf etilgani yo'q.



6.32-rasm. Polster yog'li (a) va (b) doimiy sathli yog'li motor-o'qli podshipniklar:
1- qopqoq, 2-polster (uriluvchi), 3- polster dastagi, 4- tusiqlar.

Yuritmaning turiga qarab aravacha ramasiga motorni osish uchun ostovadagi qurilmalar farqlanadi. Shu bilan birga motorlarni gabaritdan chiqib ketmasligi va osma buzilganda yo'lga tushib qolmasligi uchun saqlash kronshteyni ko'zda tutiladi. Qutblarga nisbatan yakorni aniq markazlashtirish uchun podshipniklar qalqoni kerakli miqdorda ostova og'ziga presslab mahkamlanadi.

Motorga namlik tushishini oldini olish uchun, asosan o'z-o'zini shamolatiladigan motorlarda kollektor qopqoqlari, o'tkazgichlar chiqish joylari va boshqa joylari obdon mahkamlanadi. Qutblar boltlari boshchasi qayerda ko'zda tutilgan bo'lsa, ular kabelsimon massa bilan biriktiriladi.

6.9-§. Qutblar va ularning chulg'amlari

O'zgarmas va pulsatsiyalanuvchi tok tortuv motorlari qutib o'zaklari ajratilgan aniq ko'rinadigan qutiblardan iborat. Asosan asosiy qutb o'zagining uzunligi $\ell_p = \ell_{ya}$ (6.33, a-rasm) va ba'zi ℓ_{ya} ning kichik va D_{ya} katta diametrlarga $\ell_p \leq \ell_{ya}$ qabul qilinadi.

Qutb o'zagining eni

$$b_m \cong \sigma_{nom} \Phi_{nom} / (B_{mnom} \ell_p K_{iz}) \quad (6.65)$$

σ_{nom} sochilishning nisbiy koeffitsiyenti: $\sigma_{nom} \cong 1.1 \div 1.2$; $B_{mnom} = 1.4 \div 1.7$ Tl – qutb o'zagidagi induksiya; $K_{iz} \div 0.96 \div 0.98$ – po'lat o'zakning to'ldirish koeffitsiyenti.

σ_{nom} – ning qiymati qutb o'zakning ko'rinishiga bog'liq va qutb to'sig'i koeffitsiyentining $\alpha = 0.64 \div 0.72$ ortishi bilan ortadi. Qutb o'zagining qorayishi geometrik qutb yoyi bilan tugatiladi. Amaldagi yoyning davomiyligi b_p , uning davomiyligi b_r ga bog'liq.

$$b_r = \alpha \tau = \alpha \pi D_{ya} (2p); \quad b_p \cong \alpha \pi (D_{ya} + 2\delta_s) / (2p) \quad (6.66)$$

Kompensatsion chulg'amlari bo'lmagan motorlar qutb o'zagi formasi qutb shoxlari formasi bilan aniqlanadi.

Kompensatsion chulg'am bo'lganda shoxlar formasi shu chulg'amning pazlari o'lchamlariga bog'liq bo'ladi (6.33, b -rasm). Nominal rejimda joylardagi induksiyaning to'yinishini bartaraf etish uchun o'tish joyida shoxga $B_p \cong a B_{bo'sh} / h_p < 1.8 \div 2.1$, Tl (bu yerda $B_{bo'sh}$ – qutb tagidagi havo bo'shliqdagi hisobiy induksiya). Qutb tishlaridagi yuqori induksiyalar havo bo'shlig'ida induksiya taqsimlanishning buzilishiga olib keladi va u shuning uchun $B_{mz} \leq 1.6 \div 1.8$ Tl ortiq bo'lmasligi lozim. Hordali

kompensatsion chulg'amlarda tishlar qalinligi kamchiligi va pazlar eni mos holda quyidagicha aniqlanadi.

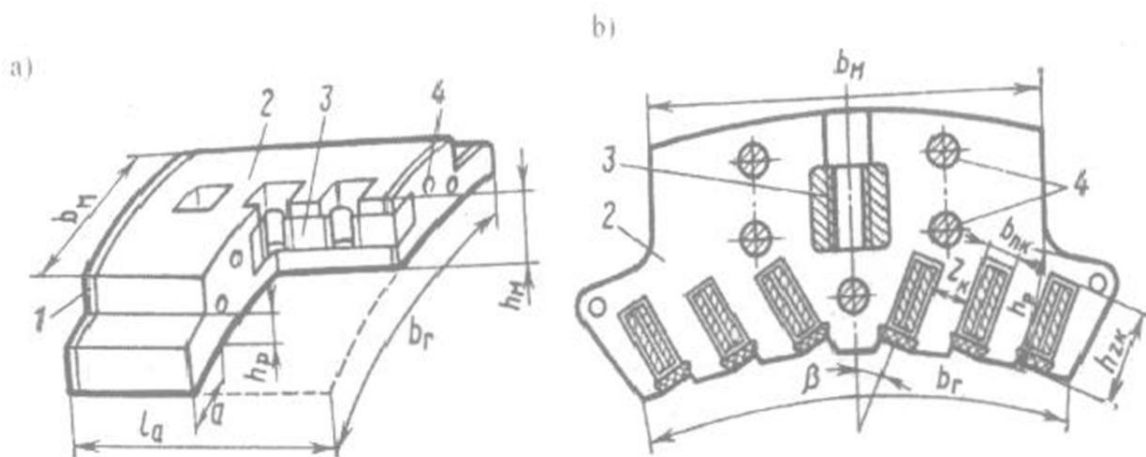
$$\begin{aligned} z_k &\cong \alpha \tau B_{bo'sh} / (B_{uz} Z'_k \cos \beta) \\ b_{pk} &= (\alpha \tau - z_k Z'_k \cos \beta) / Z'_k \cos \beta, \end{aligned} \quad (6.67)$$

bunda: Z_k – qutbdagi kompensatsion chulg'amlar pazlari soni; $\beta = \pi / (4p)$ – qutb o'qi va qutb pazlari o'qlari orasidagi burchak.

Bu holda shoxlar balandligi

$$h_p = h_z \cdot \cos \beta + (\alpha \tau - b_{uz}) B_{buv} / (2B_p).$$

O'zgarmas tok motorlari asosiy qutblari o'zagi izolyatsiyalanmagan, kuydirilgan kam uglerodli qalinligi $0,5 \div 1,5$ mm bo'lgan chetki plastinkalar bilan birga uzoq to'ntoq boshchali biriktirgich bilan biriktiriladi va bir ikki qator mahkamlovchi boltlar uchun massiv o'zak o'rnatiladi. Shu kabi, biroq izolyatsiyalangan mislar yordamida pulsatsiyalanuvchi tok motorlari qutb o'zaklari foydalaniladi. Qo'shimcha qutblar o'zagi o'lchamlari va asosiy ma'lumotlarni aniqlash 2.4-§da ko'rib chiqilgan. To'yinishni pasaytirish uchun ularning o'zagi mumkin qadar $\ell_g \cong \ell_{ya} + 40 \div 50$ mm gacha o'zaytiriladi.

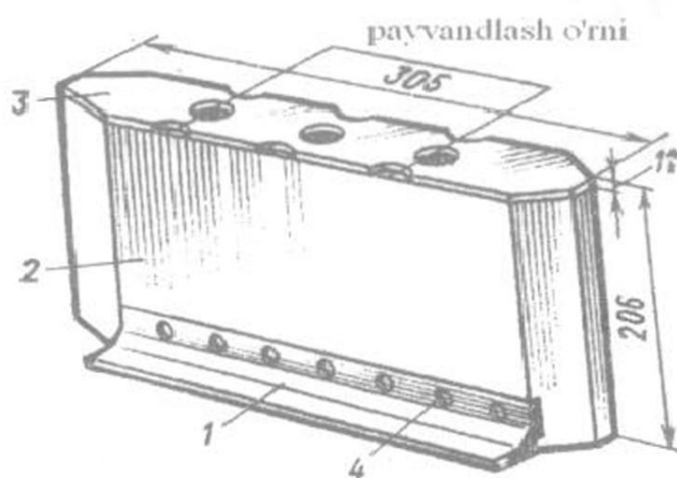


6.33- rasm. Asosiy qutb o'zagi (a), hordali kompensatsiyalash chulg'am o'zagi (b):
1- chetki plastina; 2- o'rta listlar; 3- o'zak; 4- biriktirgich.

Tok qabul qilishning yengil sharoitlarida $\ell_g = \ell_{ya}$ qabul qilinadi. O'zakning qalinligini hisobga olgan holda b_o , ostavada mahkamlash bolti M20÷M30 bo'lishi lozim bo'ladi. O'zgarmas tok motorlari qo'shimcha qutblari o'zaklari ko'pincha massiv po'lat quymalaridan yoki maxsus unga biriktirilgan latunli yoki bronzali g'altak uchun ustunli kronshteyn tayyorlanadi. Bunday o'zaklarga (6.34-rasm) ikkinchi diamagnit taglik

payvandlanadi. Turg'un bo'lmagan rejimda kompensatsiyani yengillashtirish uchun qo'shimcha qutblar o'zagi shixtalab tayyorlanadi (6.35-rasm). Bunday o'zaklar pulsatsiyalanuvchi tok mashinalari uchun zarurdir.

Ko'ndlang shixtalangan o'zaklarga (6.35-rasm) listlar 1 va chetki plastinkalar 3 biriktirgichlar bilan mahkamlangan bo'lib, u maxsus shpilkalar yordamida ostovaga mahkamlashni ta'minlaydi. 6.35,b-rasmga ko'rsatilgan konstruksiyada shunday biriktirish uchun ostavaga 5 kesilgan o'zak qo'yilgan. O'zakga bo'ylama shixtalangan (6.35,v-rasm) listlar 1 biriktirgich 2 bilan mahkamlagan yon tomondagi plastinalar 3 orqali g'altakning ustuni uchun yuqori qismlarda joylashtirilgan.



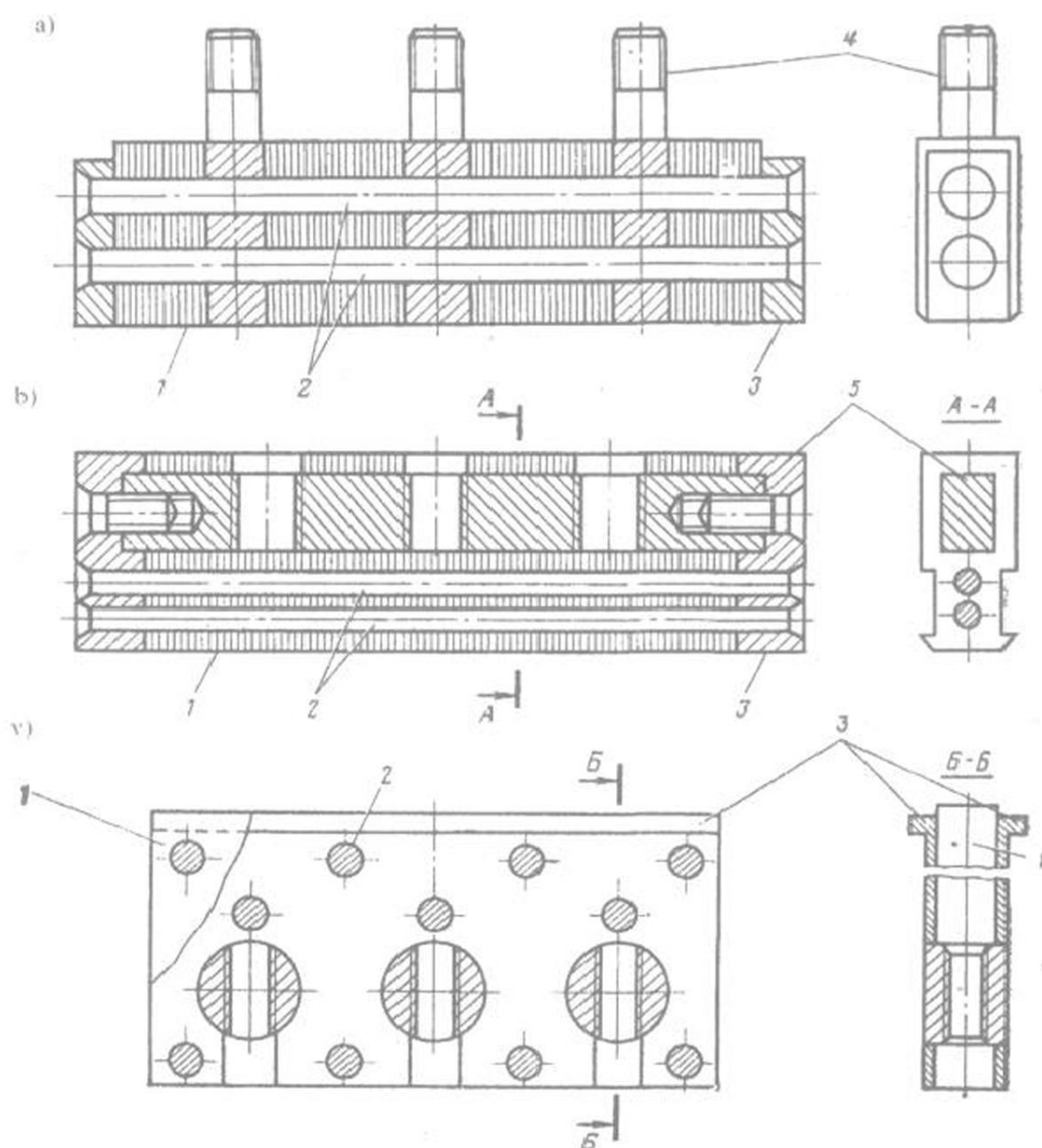
6.34-rasm. Qo'shimcha qutib massiv o'zagi:
1-latunli burchakli ustun; 2-o'zak; 3-magnitsiz taglik; 4-biriktirgich.

Barcha variantlar uchun o'zakni shixtalash kamlik qiladi, chunki uning ko'p qismi shixtalanmagan bo'lib qoladi.

Asosiy qutblarni mahkamlash ostova yuzasida siljishiga yo'l qo'ymasligi lozim bo'ladi. Qutb o'zagiga ta'sir etuvchi asosiy kuchlar bu mashinaning aylantiruvchi momentidan yuzaga keladigan reaktiv kuchlardir P_r , N , (6.36 -rasm).

$$P_r = M_{kr} / [2p(0.5D_{ya} + \delta)] \approx M_{kr} / (pD_{ya}) \quad (6.68)$$

bunda, M_{kr} – (6.56) tenglama bo'yicha hisoblangan aylanuvchi moment.



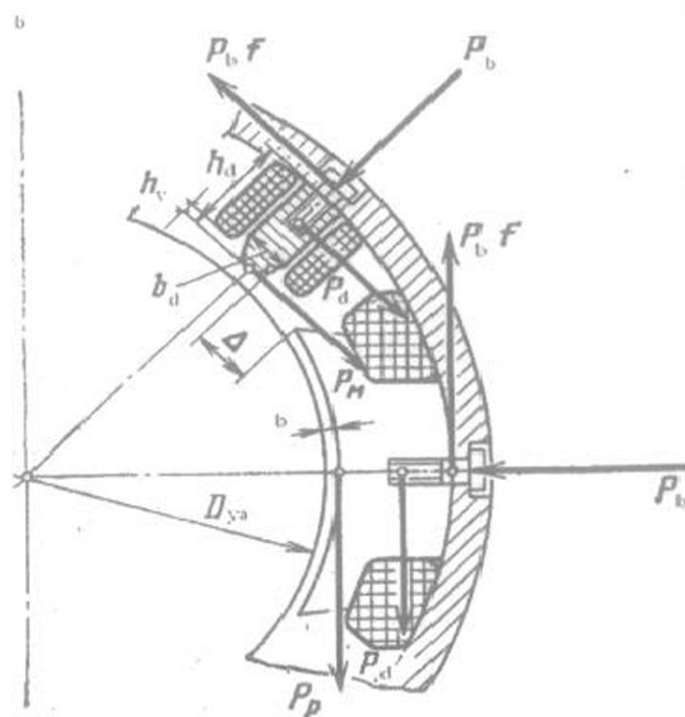
6.35-rasm. Shixtalangan qo'shimcha qutblar.

M_{kr} moment dinamik kuchlar kam bo'lganda past tezlikdan amalga oshirildi, eng yuqori dinamik kuchlar, moment kichik bo'lganda yuqori tezlikda hosil bo'ladi. Shuning uchun hisoblashda uning birgalikda ta'siri e'tiborga olinmaydi. Dinamik kuchlar qiymati va yo'nalishi bo'yicha bexosdan bo'ladi. Rasmga eng kam yaxshi bo'lmagan holati ko'rsatilgan $P_d \equiv a_{db}(m_i + m_k)$, bunda $a_{db} = (15 \div 25)g$ — eng yuqori dinamik tezlanish.

Boltning mahkamlash kuchi P_b ni hisoblashda o'zak va ostova orasidagi ishqalanish kuchini yuzaga keltiradigan R_r yoki R_d kuchlarning birortasidan yuqori bo'lishi lozim. Bu R_r va R_d yuklamalariga mos keluvchi R_{br} va R_{bd} kuchlardir.

$$R_{br} = K_z \cdot P_p / f; \quad R_{bd} = K_z \cdot P_d / f \quad (6.69)$$

bunda: $f \approx 0.14 \div 0.17$ – o'zak va ostova orasidagi ishqalanish koeffitsiyenti;
 $K_z = 2 \div 2.5$ zaxira koeffitsiyenti.



6.36 -rasm. Qutblarni o'rnatishning hisoblash sxemasi.

Qo'shimcha qutblarning mahkamlanishi asosiy qutbga bir taraflama magnit tortishi qarama-qarshi qutblanishi R_m kuchga nisbatan hisoblanadi. Ular orasida hosil bo'ladigan aylanuvchi moment M_{kr} , Nm bo'lgan B induksiyaga bog'liq bo'ladi, Tl.

$$B \approx 2\mu_v \cdot F_d / \Delta,$$

bunda, $F_d - M_{kr}$ momentga mos keluvchi tokdagi qo'shimcha qutb magnit yurituvchi kuchi (M.YU.K.).

$$\text{Kuch} \quad P_v \approx 0.4B^2 h_v \cdot \ell_d.$$

bunda, $h_v - g'$ altak chegarasidan chiqqan qutb qismining balandligi.

Bu kuchning momenti $K_1 \approx 3 \div 4$ bo'lgan zaxira koeffitsiyentida o'zak chiqish joylariga nisbatan quyidagicha bo'ladi.

$$K_1 P_m h_d \leq 0.5 P_b b_D \quad \text{va} \quad P_{cm} = 2K_1 P_m h_D / b_D$$

Qo'shimcha qutblar hisoblangan dinamik kuchlar R_d uning markaziga ostova yuzasidan $h_d/2$ balandlikda qo'yilgan.

Bu holda

$$P_{bd} \geq K'_3 P_d h_d / b_d \quad (6.70)$$

Tortuv motorlari asosiy va qo'shimcha qutb g'altaklari mumkin qadar kichik o'lchamga ega bo'lishi lozim. Ketma-ket qo'zg'atishda asosiy qutb g'altaklari soni

$$\omega_a = F_a a_v / (\beta_p I_{nom}) \quad (6.71)$$

bunda, a_v – g'altakning parallel zanjirlari soni (ko'pincha $a_v = 1$); β_p – pulsatsiyalovchi tok motorining qo'zg'atish koeffitsiyenti.

Qo'shimcha qutb magnit yurituvchi kuchidan kelib chiqib, nominal rejimda $F_{d,nom}$ quyidagiga ega bo'lamiz.

$$\omega_d = \frac{F_{d,nom}}{I_{nom}}$$

Taxminan ω_d qutb tagidagi diamagnit taglikda va ω_d' kompensatsion chulg'ami bo'lmagan motorlar uchun.

$$\omega_d \cong (1.3 \div 1.5) N / (8ap); \quad (6.72)$$

$$\omega_d' \cong 1.2 N_D' / (8ap)$$

Kompensatsion chulg'amli mashinalar uchun

$$\omega_d \cong (1.2 \div 1.4)(1 - \alpha) N / (8ap)$$

O'tkazgichlar ko'ndalang kesimining yuzi, mm^2 , mos holda asosiy qutbga q_v , qo'shimcha qutblarda q_d va kompensatsion chulg'amlarda q_{ko} bilan belgilanadi

$$q_a \cong \beta_p I_{nom} / j_v; \quad q_D \cong \frac{I_{nom}}{j_d}; \quad q_{k.o.} \cong I_{nom} / (a_k j_{ko}); \quad (6.73)$$

bunda, a_k – kompensatsion chulg'am parallel zanjirlari soni (ko'pincha $a_k = 1$). Mustaqil yoki parallel qo'zg'atgichli chulg'amlar o'tkazgichi kesim yuzasi, mm^2 :

$$q_p = 2p \cdot F_{pb} \ell_{o'rg} / (44 a_v U_p)$$

bunda: F_{pb} – bir qutbga to'g'ri keladigan parallel (mustaqil) qo'zg'atishda to'g'ri keladigan eng katta MYUK; $\ell_{o'rg}$ – g'altak o'ramining o'rtacha uzunligi, m; U_p – chulg'am uchlaridagi eng katta kuchlanish.

6.5-jadvalda tortuv motorlarning har xil issiqlikka chidamli izolyatsiyadagi qutb chulg'amlaridagi tokning ruxsat etilgan zichligi keltirilgan.

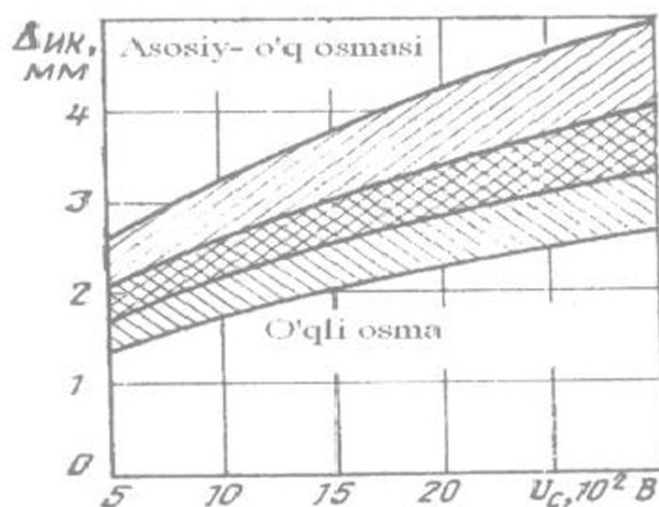
6.5- jadval

G'altaklar	Izolyatsiya sinfida tokning zichligi, A/mm ²		
	V	F	N
Asosiy qutblarda	2.8-4.5	3.0-4.7	4.2-5.0
Mustaqil qo'zg'atishda	2.5-3.5	2.8-4.3	3.0-5.0
Qo'shimcha qutblarda	2.8-4.5	3.0-7.3	5.5-7.5
Kompensatsion chulg'amda	5.0-7.0	7.0-7.5	7.2-8.0

Izoh: 1. O'z-o'zini shamollatadigan motorlar uchun tok zichligi keltirilgan oraliqdan eng kichigi qabul qilinadi.

2. Tokning katta zichligi $U_s = 600 \div 750$ V kuchlanishdagi motorlar uchun, tokning kichik zichligi $U_s = 3000$ V bo'lgan mashinalar uchun qabul qilinadi.

Qayta tayyorlanadigan mashinalar uchun F va N sinfidagi izolyatsiyalar qabul qilinadi. Eksploatatsiyada bo'lgan mashinalarda V sinfdagi izolyatsiya keng qo'llanilmoqda. Qutb g'altaklari o'ramlarini izolyatsiyasi uchun asbestlangan qog'oz izolyatsiya imkon qadar foydalanilmoqda. Cho'tka o'ramlar izolyatsiyasini kuchaytirish uchun slyudinit oynali va eskopon oynali lentalar va poliamid qoplamali izolyatsiyalardan imkon qadar foydalanilmoqda. Qobiq izolyatsiyasi uchun ham shu materiallar qo'llanilmoqda. Ularning qalinligi Δ_{uk} tarmoq kuchlanishiga U_s bog'liq bo'ladi (6.37- rasm). G'altaklarni qoplama izolyatsiyasi oynali lentadan tayyorlanadi.

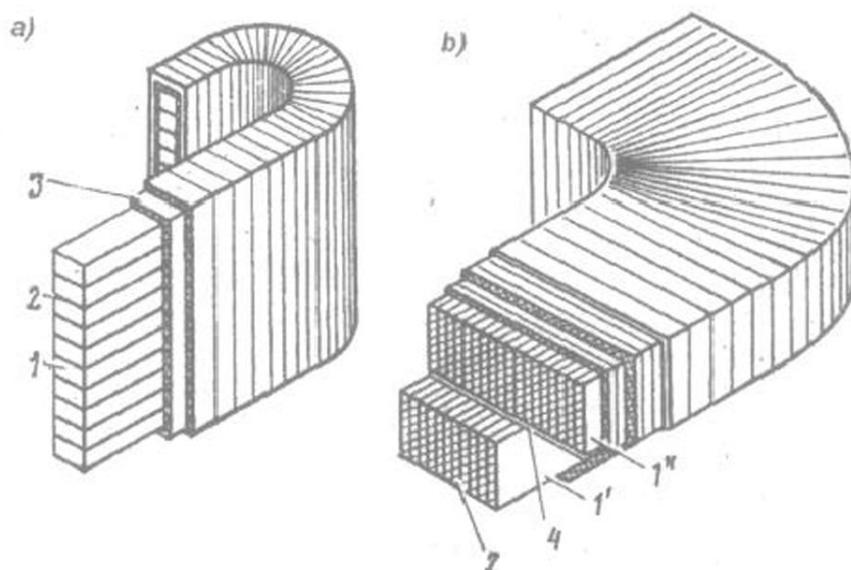


6.37 -rasm. Qobiq izolyatsiyasi kamchiligining, kuchlanish U_s ga bog'lanishi.

Asosan qo'shimcha qutblar g'altaklarini sovutish sharoiti, asosiy qutbga nisbatan ancha yaxshi. Bu ularning chulg'amini katta tok zichligida bajarish imkonini beradi.

Qo'shimcha qutblar g'altagi ko'pincha qisqa qovurg'ada o'raladi (6.38, a-rasm) va ularning kesimi yuzasi to'g'ri burchakli ko'rinishda bo'ladi.

Tavsiya etilayotgan g'altak F sinfidagi izolyatsiyaga ega o'ramlar 1 bir biridan qalinligi 0.4 mm bo'lgan asbestli qog'oz taglik 2 bilan izolyatsiyalangan. Qobiq izolyatsiyasi 3, qalinligi 0,13 mm bo'lgan slyudinit oynali lenta bilan yarim ustma-ust olti qatlamda o'raladi.

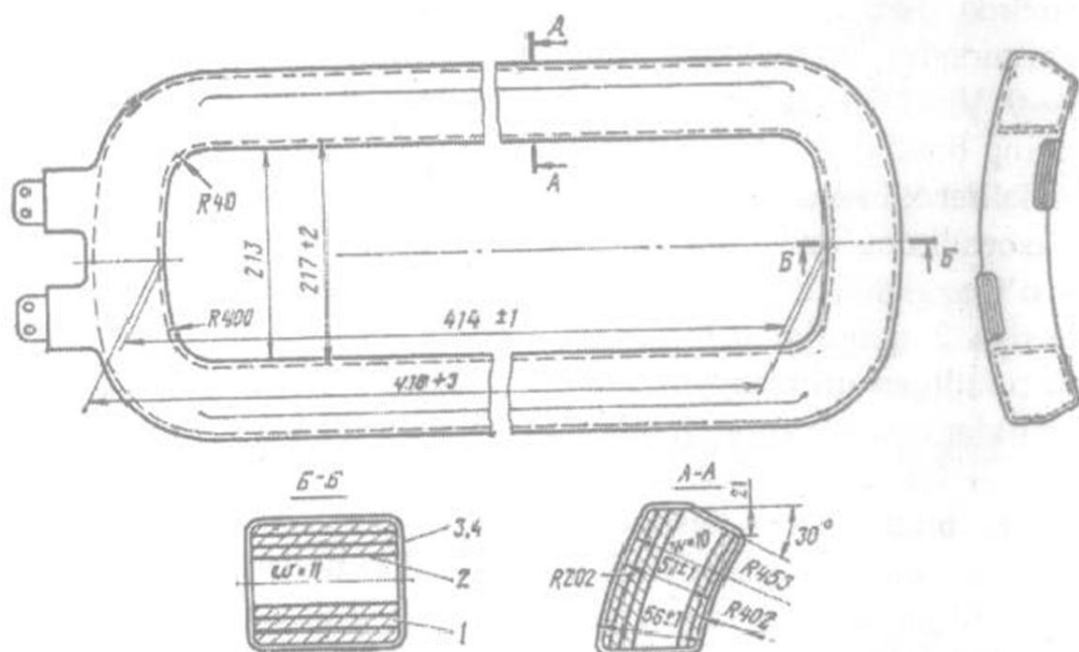


6.38-rasm. Qo'shimcha qutb (a) va asosiy qutbning (b) ikki qatlamli chulg'amlari.

F sinfdagi izolyatsiya bilan kuchlanishi $U_k = 950$ V (6.39-rasm) bo'lgan pulsatsiyalanuvchi tok motori uchun qisqa qovurg'ada asosiy qutb g'altagini o'rash bajarilgan. Bunday bajarishda kompensatsion chulg'am g'altagini ikki yarusli joylashtirish bilan mashinaning ichki yuzasidan to'liq foydalanish mumkin (6.40-rasm).

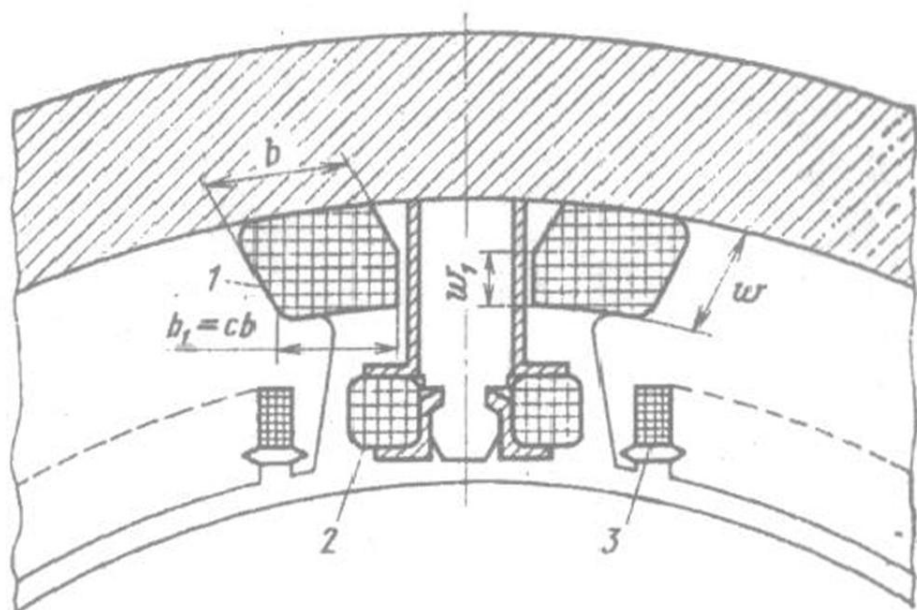
Asosiy qutb g'altaklarini yaxshi o'rnatish uchun frezalash yordamida o'tkazgichning kengligini b_1 asta-sekin, $b_1 = cb$ gacha, pasaytiradi, umumiy o'ramlar soni ω ni ω_1 gacha keltiriladi. G'altakning kesilgan qismida o'tkazgichning ko'ndalang kesimi yuzasi q_v ga teng bo'lmaydi va doimiy emas. Teng o'ramli g'altaklar kesim yuzasi, o'z qarshiligiga ekvivalent bo'ladi, mm^2 .

$$q_{ve} = q_v \left[1 - \frac{\omega_1 \ell_{ya} (1 + c)}{2\omega (\ell_{ya} + \alpha c)} \right] \quad (6.74)$$



6.39-rasm. HE-418 tortuv motorlarning asosiy qutb g'altagi.

1. 4x65 mm li mis; 2. 0,3x2 mm asbestli qog'oz; 3. 0,13 mm li mikanit oynali lenta, besh yarim qoplangan; 4. 0,2 mm qalinlikdagi oynali lenta, yarim ustma-ust o'ralgan bir qatlam.

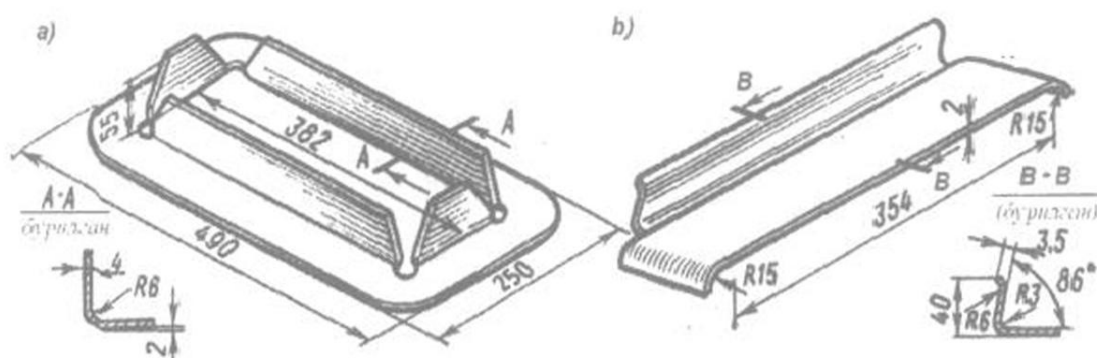


6.40-rasm. G'altakning ikki yarusli joylashishi:

1. Asosiy qutb g'altagi; 2. Qo'shimcha qutb g'altagi; 3. Kompensatsion chulg'am

Bunday g'altaklar joylashishi bilan motorning ko'ndalang o'lchamlarini qisqartiradi, barcha o'ramlardan bir teksda issiqlik berish bilan yaxshi issiqlik uzatishga ega va g'altaklarni ostovaga yaxshi joylashtirish imkoniyatiga ega.

Hozirda qutb g'altaklari o'tkazgichini keng qovurg'aga o'rash keng qo'llanilmoqda, ularni tayyorlash muddatini qisqartiradi. Kuchlanishi $U_c=3000$ V va V sinfdagi izolyatsiyaga mo'ljallangan motorning asosiy qutibining bunday g'altagi 6.38, b-rasmda keltirilgan. Ikki qatlamli g'altak, qatlamda har xil sondagi o'ramlar bilan tayyorlangan. Qatlamlar orasida 1' va 1'' asbestli qog'oz va mikanitli to'siq 4 o'rnatilgan. Qatlamdan qatlamga o'tish o'tkazgichni asta-sekin egish bilan bajariladi. O'ramlar o'rtasidagi izolyatsiya 2 qalinligi 0,3 mm li asbestli qog'oz, mis qirralari 0,5 mm chiqib turadigan qilib tayyorlanadi. Qatlamlar orasidagi oraliq va barcha notekisliklar asbestli surgich bilan tekislanadi. Qobiq izolyatsiyasi qalinligi 0,4 mm li bo'lgan asbest lentadan bir qatlam va qalinligi 0,13 mm li mikolenta bilan yarim kesuvchi olti qatlam ustni yopish izolyatsiyasi qalinligi 0,2 mm bo'lgan oynali lentadan ikki qatlam o'raladi. G'altaklar kampaundli bitum bilan to'yintiriladi. Bunday g'altaklardagi qatlamlar soni ko'pincha juft bo'ladi, bu tashqi o'ramlar bo'yicha xulosa qilish uchun imkon beradi. Issiqlik deformatsiyalarini kompensatsiya qilish izolyatsiyaning qurishi, g'altaklar va qutblar o'zaklari g'altaklarni bir tekisda siqish uchun izolyatsiya buzilishidan saqlash uchun po'lat prujinali karkaslar o'rnatiladi (6.41-rasm).



6.41-rasm. Asosiy (a) va qo'shimcha (b) qutblar g'altagining prujinali karkasi.

Mos holda asosiy va qo'shimcha qutblar chulg'amli qarshiligi, Om:

$$r_v = 2p\omega_v l_{vs} / (44q_v); \quad r_D = 2p\omega_D l_{DS} / (44q_D)$$

bunda, l_{vs}, l_{DS} - asosiy va qo'shimcha qutblar o'ramlarining o'rtacha uzunligi:

$$l_{vs} \approx 2(l_p + \alpha r) \cdot 10^{-3}; \quad l_{DS} \approx 2(l_l + 0.2 \cdot r) \cdot 10^{-3}.$$

Mos holda asosiy va qo'shimcha qutblar g'altaklaridagi misning massasi, kg:

$$m_v \cong 17.8 \cdot l_{vs} p \omega_v q_v 10^{-3}; \quad m_D \cong 17.8 l_{DS} p \omega_D q_D 10^{-3}$$

Tortuv mashinalardagi kompensatsion chulg'amlar katta quvvatli motorlar uchun qo'llanilmoqda.

Kompensatsiyalovchi chulg'am magnit yurituvchi kuchi (M.YU.K.)

$$F_{KO} = K_K \alpha F_{rya} \cong 0.5 K_n \alpha \tau \cdot A_n$$

bunda, K_n - kompensatsiya koeffitsiyenti.

Qutblardagi kompensatsion chulg'amlar o'ramlari soni.

$$N'_{ko} = 2 F_{ko} a_k / I_{nom} = U_{ko} Z'_{ko}$$

bunda: U_{ko} - pazdagi kompensatsion chulg'amlarning o'ramlari soni;

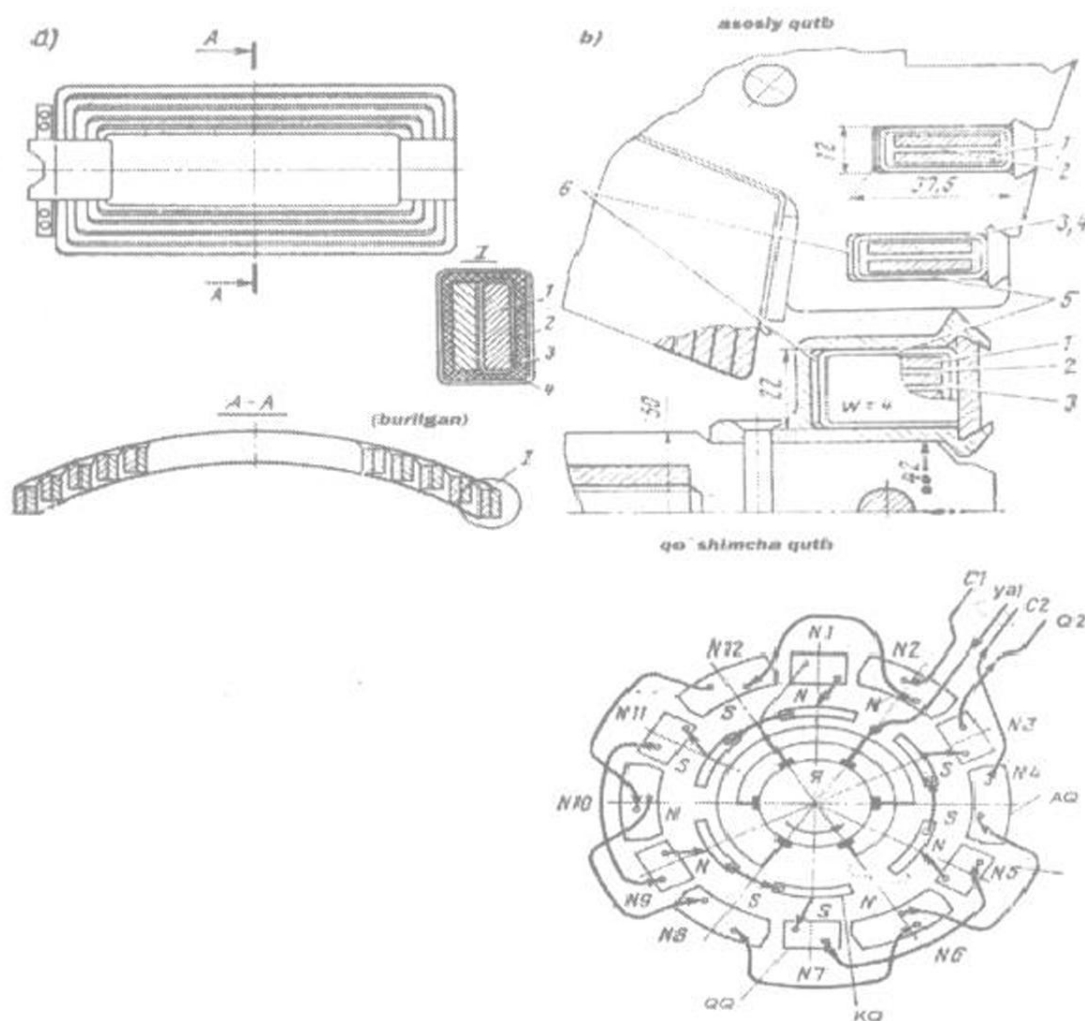
Z'_{ko} - qutblardagi pazlar soni, u juft bo'lishi va qutb chegarasi yoki tishdagi pulsatsiyani kamaytirish uchun yakorning pazlar sonidan farq qilishi lozim.

Qutb pazlarini U_{ko} - qiymatini kamaytirish bilan (HB- 514 - motori) bajarish mumkin bo'ladi. Amaliyotda xordali turidagi g'altak chulg'amlarni qo'llash joriy qilinmoqda (6.42,a-rasm). Pazlarning parallelligi ularda kompensatsion chulg'amlarning yig'ilgan g'altagini o'rnatish imkonini beradi. Olti qutbli mashinalar uchun qutb va pazlar orasidagi burchak $\beta=30^\circ$, to'rt qutbli uchun $\beta=45^\circ$. To'rt qutbli mashinalarda, β burchakning kattaligi sababli, kompensatsion chulg'am maydoni sezilarli ekranlashadi va uning old qismi chiqqan yuza ancha yuqori. Xordali kompensatsion chulg'am g'altagi yakor chulg'ami g'altagi kabi pazlarda mahkamlanadi va izolyatsiyalanadi. Old qismi bandaj yordamida mahkamlanadi. Kompensatsion chulg'am mis qarshiligi, Om va massasi, kg quyidagicha hisoblanadi.

$$r_k = 2 p l_{ks} N'_{ko} / (44 q_k) \quad m_k \cong 17.8 p N'_{ko} q_k l_{ks} 10^{-3}$$

bunda, l_{ks} - kompensatsion chulg'am g'altagi o'tkazgichining yoyilgandagi o'rtacha uzunligi, m :

$$l_{ks} = 2[l_{yn} + (1.3 + 1.4)\tau] 10^{-3}$$

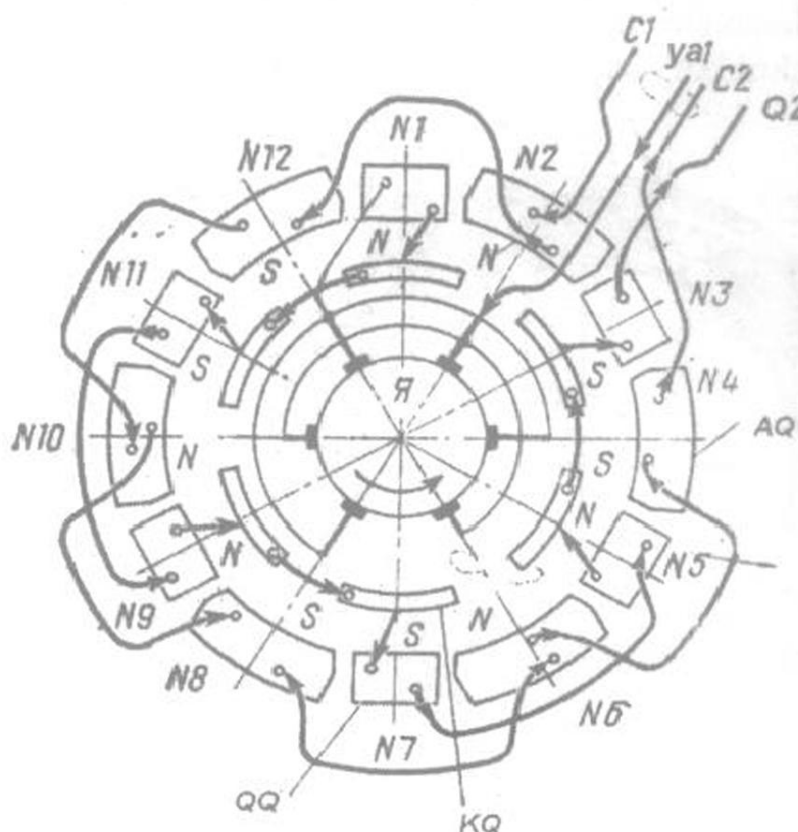


6.42- rasm. HB-507 motorining kompensatsion chulg'ami g'altagi:

a- xordali; b-qo'shimcha qutb g'altagi bilan biriktirilgan; 1-4,7x30mm mis; 2- o'ram izolyatsiyasi (0,04 mm poliamidan plenka yarim kesishuvchi bir qatlam); 3- qobiq izolyatsiyasi (o'sha plenka 3 qatlam yarim kesishuvchi) va 0,03 mmli floroplastli plenka yarim kesishuvchi bir qatlam va yopish izolyatsiyasi; 4- yopish izolyatsiyasi (0,1 mm qalinlikdagi oynali lenta, yarim kesishuvchi bir qatlam; 5- gilza (qalinligi 0,15 mmli imidofleks); 6-taglik (oynali tiqin qalinligi 0,5 mm).

O'zgarmas va pulsatsiyalovchi tok tortuv motorlarining chulg'amlari ikki alohida zanjirga biriktiriladi, qo'shimcha qutb g'altaklari bilan ketma-ket ulangan yakor chulg'amlari va kompensatsion chulg'amlari va unga kema-ket ulangan asosiy qutb g'altaklari. Bu zanjirlarning har birining oxiri egiluvchan biriktiriluvchi o'tkazgich ko'rinishida mashinadan chiqariladi. Asosiy qutb g'altaklarning chiqishi va ichki biriktirishlari ularning seksiyalarga ajralishi bilan ortib boradi. ГОСТ 2582-81 ga asosan chulg'amlarning boshlanishi harflar bilan a 1 soni bilan belgilanadi, oxiri 2 soni bilan belgilanadi. Ya'ni yakor chulg'amlari uchlari Я1 va Я2 bilan, qo'shimcha qutblar D1, D2 kompensatsion chulg'amlari K1 K2, ketma-ket qo'zg'atish chulg'ami C1, C2, mustaqil va parallel qo'zg'atishda III1, III2

bilan belgilanadi. Biriktirish o'tkazgichlarini qisqartirish uchun qo'shimcha qutb g'altaklari va kompensatsion chulg'amlar uchlarini birgalikda ulash maqsadga muvofiq bo'ladi (6.43-rasm).



6.43- rasm. HB-418 motori chulg'amlarini ulash sxemasi.

Ilmiy tadqiqot institutlarida kompensatsion chulg'am va qo'shimcha qutblari g'altaklarini birlashtirish konstruksiyasi ishlab chiqilgan va unda bir xil chulg'am o'tkazgichlaridan foydalanilgan. (6.42, b -rasm).

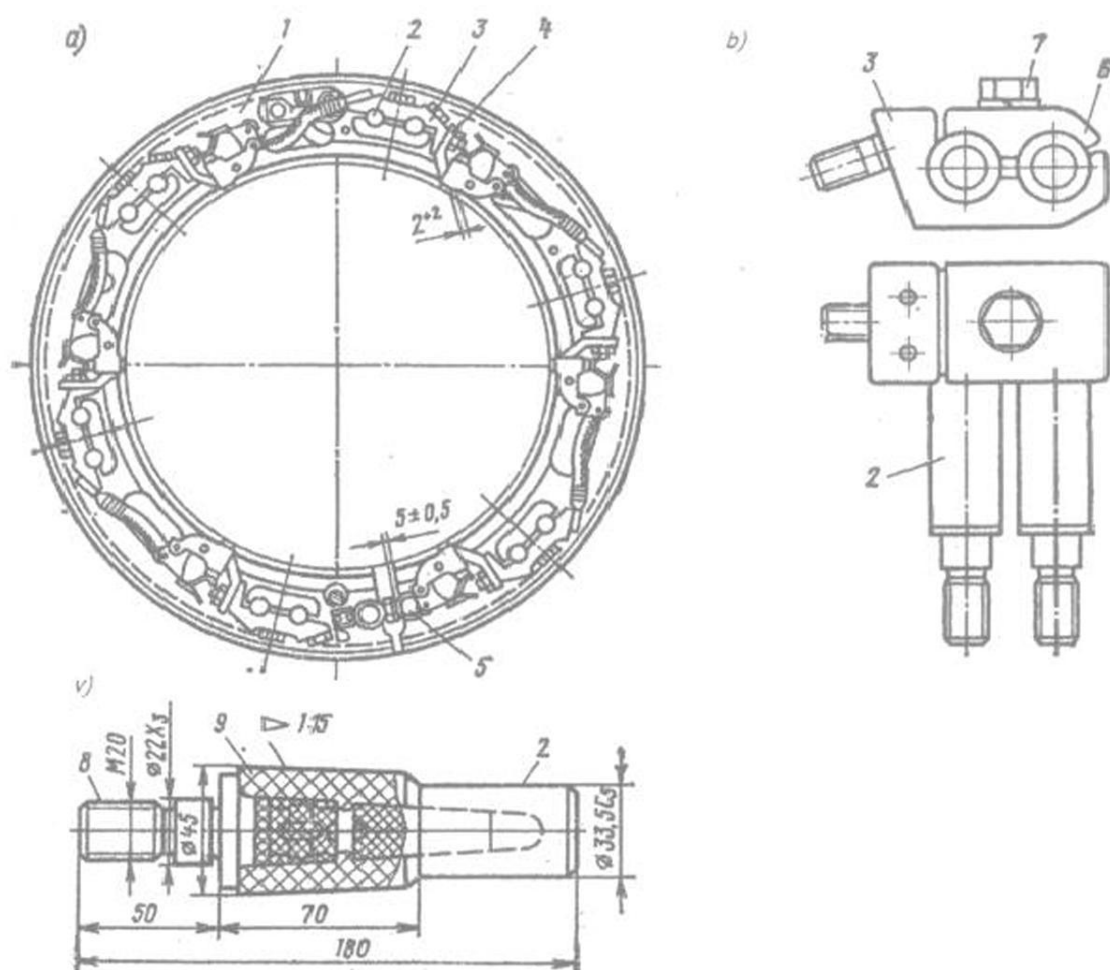
Qo'shimcha qutb chulg'amlari qo'shimcha qutblar o'zagi kassetasiga joylashtiriladi. Asosiy qutb shoxiga o'zining chiqishi bilan tiqiladi va umumiy g'altakda o'zaro joylashishini aniq chegaralaydi va qo'shimcha qutbdagi mexanik yuklamani pasaytiradi.

6.10-§. Tortuv motorlari ch'otka ushlagichi

Tortuv motorlarining chegaraviy bajarilishi, ularning ishlash xususiyatlarining mavjudligidir, bu mashinalarning umum qo'llaniladigan mashinalardan sezilarli farqi ch'otka ushlagichning mavjudligi, ularning sezilarli farq qilishini ko'rsatadi.

Dinamik ta'sirlarning yuzaga kelishi, ch'otkaning ortiqcha bosilishi, texnik xizmat ko'rsatishda qiyinchilik bo'lishi tok qabul qilish tizimi elementlarining konstruksiyalarga ta'sir ko'rsatishi asosiy xususiyatidir.

To'rt qutbli mashinalarda xizmat ko'rsatish oson bo'lishi uchun, bu mashinalar ch'otka ushlab turgichini ostovaning chetki devorlariga ikkita nazorat qopqog'i oldiga o'rnatiladi. Qutblar ko'p bo'lganda, ularni umumiy aylanuvchi traversaga o'rnatadi (6.44-rasm), ixtiyoriy ch'otka ushlab turgichni ixtiyoriy nazorat qopqog'i tagida surish imkoni bo'ladi.

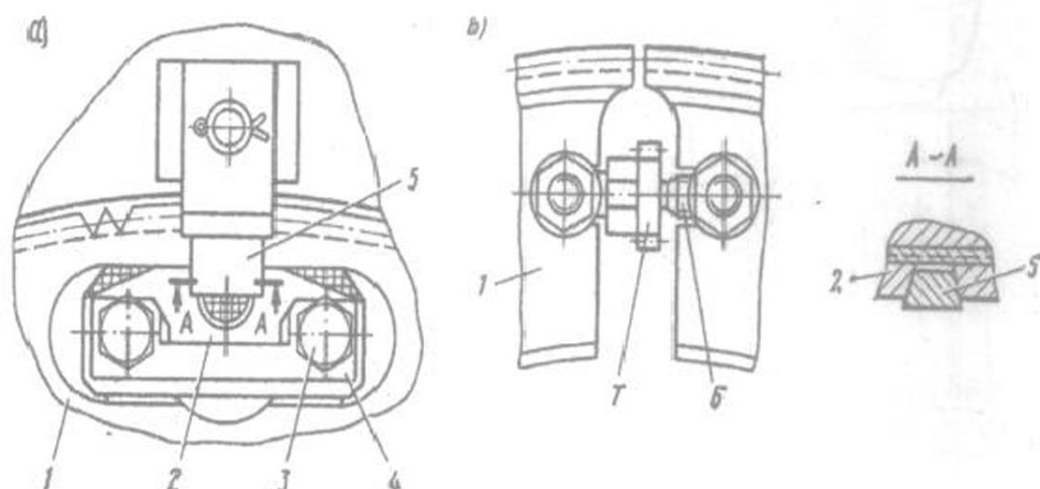


6.44—rasm. Olti qutbli tortuv motori ch'otka ushlab turgich traversasi (a), ch'otka ushlab turgich kronshteyni (b), izolyatsiyalovchi barmoq (v):

1-traversaning kesik halqasi; 2- izolyatsiyalovchi barmoqlar; 3-kronshteyn; 4- ch'otka ushlab turgich; 5-ajratish qurilmasi; 6- taglik; 7-bolt; 8-po'lat o'zak; 9- plastmassa qobiq.

Buriladigan traversalar podshipniklar qalqoni va ostova orasida bo'shliqda joylashtiriladi. Traversa obodasi tishli uchlik kabi aylantiruvchi mexanizm shesternasiga ilakishadi, bu uning burilishini yengillashtiradi. Ch'otkalarining aniq joylashtirish uchun netrallarni ta'minlovchi, belgilovchi tiqin qurilmasi o'rnatiladi (6.45,a-rasm). Tiqinni 5 mahkamlash vaqtida, u plastinalar qirqimiga 4 kirish davomida traversaning 1 to'g'ri holatiga joylashtiradi. Plastinalar 4 holati sinash stendida tekshiriladi va ular bolt 3 bilan mahkamlanadi.

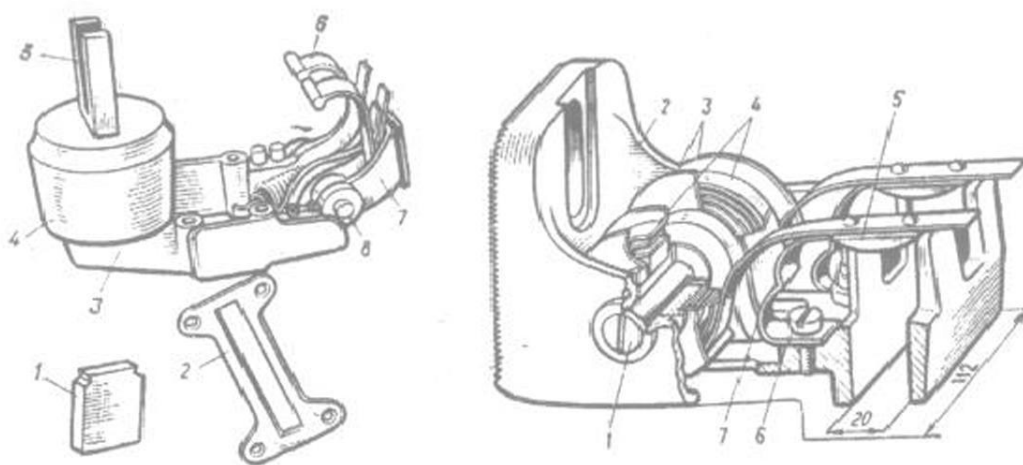
Belgilash qurilmasini mexanik ta'sirlarini kamaytirish uchun (6.45,b-rasm) mufta 7 yordamida traversani butun aylana bo'yicha qisib chiqiladi.



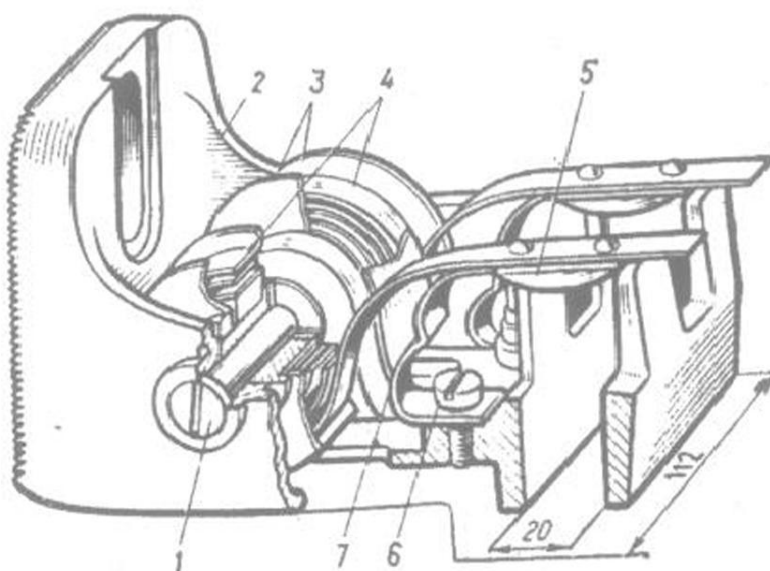
6.45—rasm. Ch'otka ushlab turgich traversaning belgilovchi (a) va ajratuvchi (b) qurilmalari. 1- traversa; 2- rostlanadigan taglik; 3-bolt; 4- mahkamlovchi plastina; 5- tiqin; 6-sharnirli bolt; 7-mufta.

Ch'otka ushlab turgichlarning izolyatsiyasi, uning changlanishi, kollektorda uchqunning yuzaga kelishi va boshqa noxush faktorlarni hisobga olgan holda kollektor kamerasini ionizatsiyalashga hisoblangan bo'lishi lozim. Ko'p hollarda izolyatsiyani ch'otka ushlab turgich kronshteynlar o'rnatgichi orqali joylashtiriladi. 6.44, v-rasmda plastmassali izolyatsion barmoqlar ko'rsatilgan. Ikkita izolyatsiyalangan barmoq, ch'otka ushlab turgichning kronshteynini ushlab turish elementi bo'lib xizmat qiladi. Barmoq, AG-413 plastmassasi bilan oblitsovka qilingan po'lat o'zakdan iborat. Diametri 35,5 mm bo'lgan ikkita barmoq kronshteynni ajratish qismidan qisib turadi, bunday holda qattiq konstruksiya hosil bo'ladi. Halqaro amaliyotga, ko'pincha izolyatsiyani ch'otka ushlab turish qurilmasi ichida joylashtiriladi (6.46-rasm). Bunday konstruksiyaning maqsadga muvofiqligi, uning izolyatorlarga xizmat ko'rsatish imkoni yaxshiligi bilan izohlanadi.

Ch'otka ushlab turgich ko'pincha qobig'i quyma yuqori mustahkamlikdagi latundan tayyorlanadi. Kollektor diametri yeyilish davomida 20-30mm ga kichiklashadi, ch'otka ushlab turgichning yo'naltiruvchi oynasi ustki qismi va kollektor yuzasi orasidagi yuza 2-3mm bo'shliqni ushlab turish uchun uning qurilmasini balandlik bo'yicha rostlash zarur bo'ladi. Buning uchun kronshteyn qobig'i birikish yuzasi silliq, mahkamlash bolti tagi tirqishi — oval ko'rinishida qilib tayyorlanadi.



6.46-rasm. Qobiqqa izolyatsiyalanuvchi ch'otkani ushlab turgich. 1- ch'otka, 2- ch'otkaning almashtiriluvchi uyasi, 3-qobiq, 4-izolyator, 5-ushlagich, 6-qisuvchi barmoq, 7-barmoq ushlagichi, 8-o'qcha.

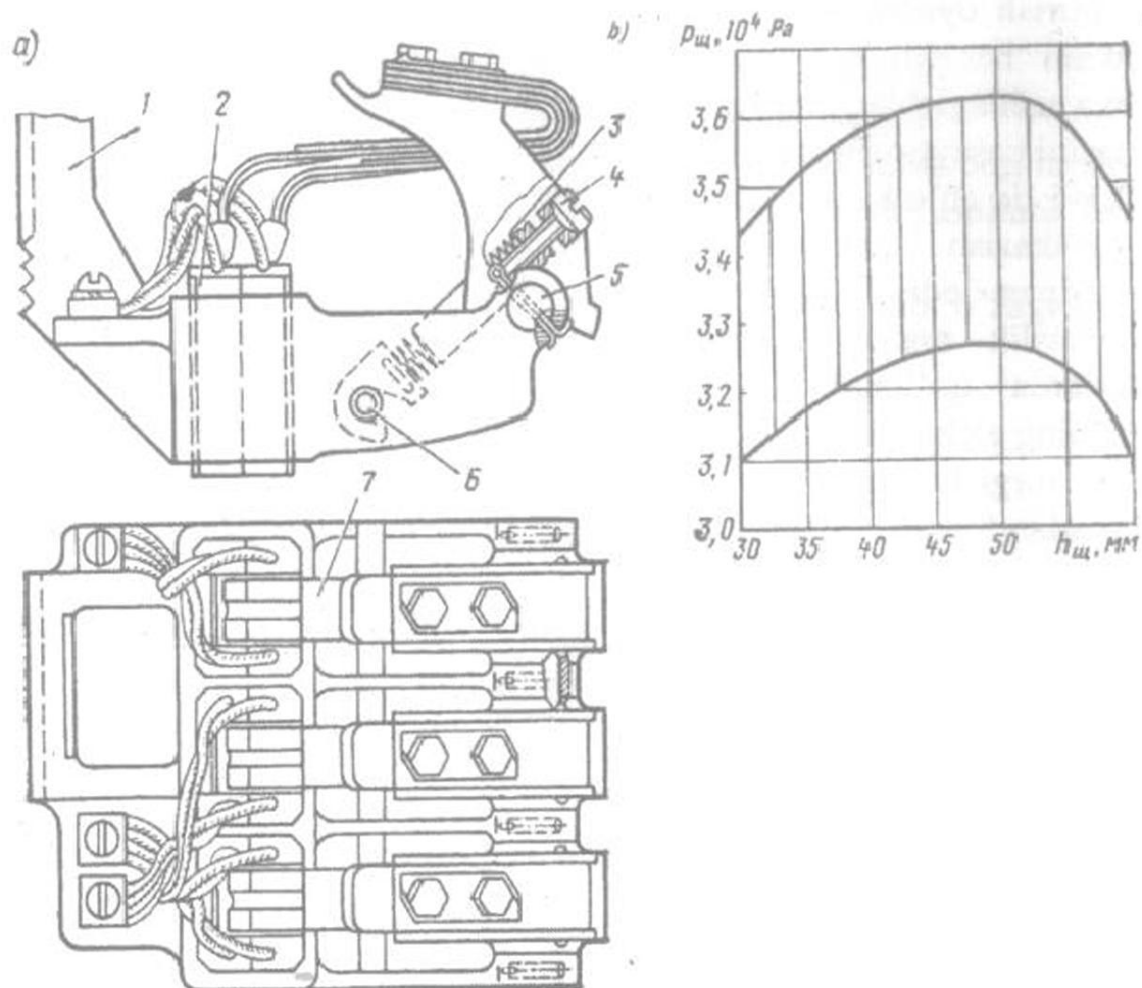


6.47-rasm. Harakatlantiruvchi prujinali ch'otka ushlab turgich.

6.47-rasmda ch'otka ushlab turgich mexanizmi bilan o'tish tagligi va ch'otkaning yo'naltiriluvchi oynasi o'rtasi ko'rsatilgan. Ch'otkaga keng oraliqda doimiy bosib turishni katta harakatlanish uzunligiga ega bo'lgan harakatlantiruvchi prujina 4 ta'minlaydi. Ch'otkaga bosishni va unga tok kelishini egiluvchan shuntlar 7 ularni qobiq 2 bilan bog'lovchi suhri 5 orqali ta'minlaydi. Pujinalarning qisishini ularning o'qchasi 1ni rostlash orqali bajariladi va ularni belgilash shplint yoki shtift bilan, yon tomondan esa surilishini chegaralovchi shaybalar 3 orqali ta'minlanadi.

Bunday turdagi ch'otka ushlab turgichlar yomon xarakteristikaga ega bo'lmaydi, biroq ularda ch'otkalarining konsolli chiqishlari qobiqqa

mahkamlanish yuzaga nisbatan ancha katta. Bu ularda aniq o'rnatishni buzadi va qobiqning tebranish xavfini yuzaga keltiradi. Ch'otkalarining kichik konsolli chiqishlari yo'naltiruvchi oyna o'tish tagligiga yaqinlashsa, qisish mexanizmi qobiqning konsolli qismiga joylashganda bo'ladi. (6.48,a-rasm).



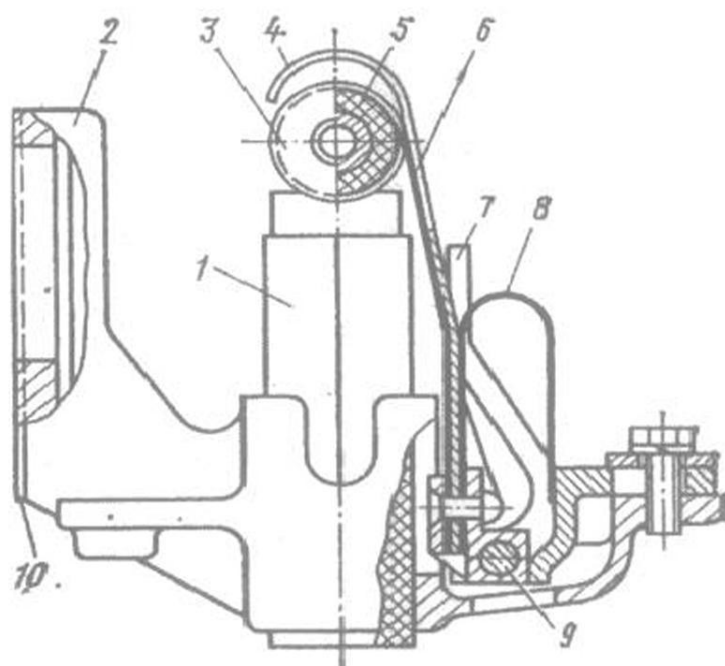
6.48-rasm. HB-418 motori ch'otka ushlab turgichi (a) va ch'otka bosimining r_{sh} uning balandligiga h_{sh} bog'lanishi (b): 1-o'rnatish qirrali qobiq, 2-ch'otka, 3-prujina, 4-rostlanuvchi vint, 5-6-o'qlar, 7-prujinali barmoqlar.

Bunday ch'otka ushlab turgichlar ko'pgina elektrovozlar tortuv motorlarida qo'llangan. Qurilayotgan ch'otka ushlagichlarda ch'otkalarining bosishini rostlash prujina 3 vinti 4 orqali amalga oshiriladi. Bunda barcha vaqt ham o'zini oqlamaydi, shuning uchun bunga prujinalarni kerakli aniqlikda tayyorlaganda rostlash qurilmalarisiz erishish mumkin. Ch'otkalarga bosish xarakteristikalarini 6.48,b-rasmda keltirilgan diagramma orqali tushuntiriladi.

Ch'otkalarining yana ham yuqori bosimni doimiy ta'minlash uchun yig'ma prujinali ch'otka ushlab turgichlardan foydalanish kerak bo'ladi.

(6.49-rasm). Ch'otka 1 ga, qobiq oynasi 2, o'rnatadigan qovurg'aga yig'ma prujina 6 qisadi. Prujining to'g'ri holatini yo'naltiruvchi shaybalar 3 va chegaralovchi 4 lar ta'minlaydi. Tebranishlarni rezinali vtulka 5 so'ndiradi. Barcha qisish mexanizmlar ushlagich 7 ga o'rnatish prujinasi 8 bilan birga o'rnatilgan va valik 9 ga aylanishi mumkin. Bu ch'otkani almashtirish oynani bo'shatish uchun kerak bo'ladi. Yig'ma prujinalarni ch'otkani har xil balandligida bosish amalda doimiy, ularni qo'llash ch'otka ushlagichlar konstruksiyasini soddalashtirish va ular o'lchami va massasini pasaytirishga olib keladi.

2.1-§ da ch'otka kontaktining katta stabiligi uchun ch'otka, qisish va tok o'tkazish qismlari massasini kamaytirish qopqog'i zarurligi ko'rsatilgan edi. Shuning uchun ch'otkani biriktiruvchi shuntlarni qo'llamaslik maqsadga muvofiqligi ko'rsatilgan, bu ko'pgina chet davlatlarda qo'llaniladi. Biroq buning uchun yo'naltiruvchi oyna devorining elektr erroziyasi tufayli yeyilishi kuchayadi. Ch'otka va ch'otka ushlab turgich o'rtasidagi yon bo'shliqlarning tez ortishi va shuntli ch'otkadan foydalanganda ham ishlatish jarayonida kuzatiladi.



6.49-rasm. Yig'ma prujinali ch'otka ushlab turgich.

Ch'otka va ch'otka ushlagichlarning yeyilishi kerak bo'lmagan nosozliklarni keltirib chiqaradi (2-bo'limga qarang). Shuning uchun ch'otka ushlab turgichlarning yo'naltiruvchi oynasi uchun almashtiriladigan uyani qo'llash maqsadga muvofiq bo'ladi (6.46-rasmga qarang).

Nazorat savollari

1. Tortuv elektr motorlarning konstruktiv rivojlanishiga ta'sir qiluvchi qanday faktorlarni bilasiz?
2. Nominal rejimdagi tezliklar, konstruksion tezlik bilan qanday bo'g'langan?
3. G'ildirak motorli bloki jamlamasini nimalar tashkil qiladi?
4. Tishli uzatmalarning uzatishlar nisbati qanday aniqlanadi?
5. Uzatma va motorning asosiy o'lchamlarini bir-biriga nima bog'laydi?
6. Tortuv motorlarini o'qqa osilish va ramaga osish usullari farqini tushuntiring?
7. Magnit va qo'shimcha isroflarni kamaytirish uchun yakor o'zagi qanday tayyorlanadi?
8. Yakor va rotor chulg'amlari qanday tuzilgan?
9. Asinxron tortuv motorlarning rotori qanday tuzilgan?
10. Ch'otkaning vazifasi nimadan iborat?
11. Ch'otka ushlagichlarning vazifasi nimadan iborat?
12. Ch'otka ushlab turgich qanday tuzilgan?
13. Izolyatsiyalovchi barmoq vazifasi nimadan iborat?
14. Tortuv elektr motorlarda qanday podshipniklar qo'llaniladi?
15. Qayta tayyorlanadigan mashinalarda qanday sinfdagi izolyatsiyalar qabul qilinadi?

7-bob. Ventilli tortuv motorli elektrovozlar

7.1-§. Umumiy ma'lumotlar

Chastotani statik o'zgartgichli tortuv elektr yuritma tizimli va tortuv motori sifatida sinxron mashinalardan foydalanish bir qancha mamlakatlarda muvaffaqiyatli qo'llanib kelinmoqda. Germaniya davlatida sinxron tortuv motorli elektrovozlardagi elektr qurilmalarning massalari asinxron tortuv motorli elektrovozlar elektr qurilmalariga nisbatan 20% ga va hajm bo'yicha esa 30% kam. Bunday xulosaga Fransiya davlatida ham kelishgan. Sobiq sovet ittifoqida bunday tizim ventilli motorlar nomini olgan; u sanoat ishlab chiqarishda va tortuvda yuritma sifatida tadqiq qilinmoqda va ishlab chiqarilmoqda. Ventilli elektr motorlar elektr mashinadan, ventilli o'zgartgichdan va ularni bog'lovchi boshqarish tizimidan tashkil topgan. Elektr mashina ko'p fazali hisoblanadi, uning yakor chulg'ami qo'zg'atish chulg'ami bo'lgan rotorning sinxron aylanishi bilan boshqariladigan energiya bilan ta'minlanadi. Mashina umumiy holda, yoki maxsus konstruksiyada tayyorlanadi (doimiy magnit bilan, kontaktsiz va boshqa turlarda). Ventilli motorlar eng ko'p universal va kelajagi bor elektr yuritmalardan hisoblanadi, quvvati va aylanish chastotasi keng oraliqda rostlanadigan asinxron motorlardan emas, balki o'zgarmas tokli tiristorli yuritmalarga nisbatan ham afzalliklarga ega.

Ventilli motorlar avtomatik rostlanadigan ma'nba sifatida uchta bog'liq bo'lmagan yo'nalishdan iborat: yakor chulg'ami ta'minlanayotgan tokning chastotasi va amplitudasi bo'yicha (yoki kuchlanishi) va qo'zg'atish toki bo'yicha. Bu ikkita bog'liq bo'lmagan ta'sirlarni invarianti og'ishi bo'yicha rostlashning avtomatik tizimini qurishga imkon beradi: ta'minlanayotgan tortuv tarmog'i tomonidan va g'ildirak rels birikishi tomonidan. Energiya o'zgartgichiga maxsus talablar qo'yilmaydi va u ixtiyoriy sxema bo'yicha bajarilishi mumkin. Ventilli motorlar konstruktiv jihatdan sinxron mashinalarga o'xshash bo'lib, o'ta qo'zg'atish bilan (burchak $\varphi < 0^\circ$) va to'yinmagan ($\varphi > 0^\circ$) qilib tayyorlanishi mumkin. Bu ventilli motorlarni ta'minlash uchun o'zgartgich tanlashni soddalashtiradi. (7.1-jadval). Tabiiy va sun'iy kommutatsiyalanuvchi tok va kuchlanish inverterlaridan ham foydalanish mumkin bo'ladi. Yuklama hisoblangan burchak φ ga bog'liq holda motor statori va rotor magnit kuchi nisbatini o'zgartirish mumkin bo'ladi va shu yo'l bilan berilgan aylanish chastotasida va chegaralangan o'lchamlarda eng ko'p aylanuvchi moment hosil qilish uchun elektr mashina konstruksiyasini optimallashtirish mumkin.

Ventilli motor o'zgartgichning mashina qismidagi tokning tabiiy kommutatsiyasida $\cos\varphi = 0,85 \div 0,9$ bilan ishlaydi; sun'iy kommutatsiyani qo'llashda ventilli motor $\cos\varphi = 1$ bilan ishlashini ta'minlaydi. Motorning aylanuvchi momenti alohida va boshqa o'lchamlarda ham 25-30% ga ortadi. Bu ventilli motorlarning favqulodda muhim prinsipial ustunligi hisoblanadi. O'zining qimmatli xususiyatlari bilan ventilli motorlar sanoat elektr yuritmalarida keng tarqalgan. Ventilli motorlarning texnik va iqtisodiy samaradorligi "CHKD – Praga" tayyorlovchi zavod tadqiqotlari bilan asoslangan.

7.1-jadval

Motor turi	Invertor turi	φ -burchak gradusda	Tok kommutatsiyasi	Stator M.YU.K.	Rotor M.YU.K.
Ventilli	Tokda Kuchlanishda	<0	Tabiiy	Pasaytirilgan	Orttirilgan
		≈ 0	qisman yoki to'liq sun'iy	O'rtacha	O'rtacha
		>0	Sun'iy	Orttirilgan	Pasaytirilgan
Asinxron	Tokda Kuchlanishda	>0	Sun'iy	Orttirilgan	Pasaytirilgan

Motor – tiristorli o'zgartgich jamlamasining qiymati 900 kVt li ventilli motorli yuritmada, chastotali rostlanadigan asinxron motorli yuritmaga nisbatan 1,62 marta kam bo'lar ekan.

Shu bilan birga ventilli motorlarga qarshi ma'lum noto'g'ri tushunchalar mavjud, birinchi navbatda asinxron motorlar rostlanmaydigan yuritmalarda keng tarqalganligi bilan tushuntiriladi. Bundan tashqari rotor chulg'amidagi izolyatsiyaning va tok qabul qilgich ch'otkaning va silliq halqaning mavjudligini hisobga olish zarur.

Biroq, esda tutish lozimki, rotor chulg'amida past kuchlanish beriladi (taxminan 100 V) va shuning uchun izolyatsiyalash murakkab emas. Ch'otka va silliq halqalar elektr yuritmalarda keng qo'llaniladi, masalan kam xizmat ko'rsatilgan temperatura tez tushadigan va ko'p tebranish sharoitlarida ishlaydigan ko'tarish mexanizmlarda qo'llaniladi. Shularga asosan, bunday konstruksiyadagi motorlarni elektr harakat tarkibida qo'llash uchun to'siqlarga asos yo'q. Ventilli motorlarning asinxron

motorlarga nisbatan kamchiligi - faqat yuqori aylanish tezligi rotor chulg'aming mahkamlanishi mexanik mustahkamligining chegaralanganligi, biroq yuk tashuvchi elektrovozlar uchun yuqori chastotali rejim hos emas, chunki tortuv motori rotorining aylanish chastotasi g'ildirak aylanish chastotasi bilan aniqlanadi.

7.2-§. Ventilli motorlarning ishlash prinsipi va undagi elektromagnit jarayonlar

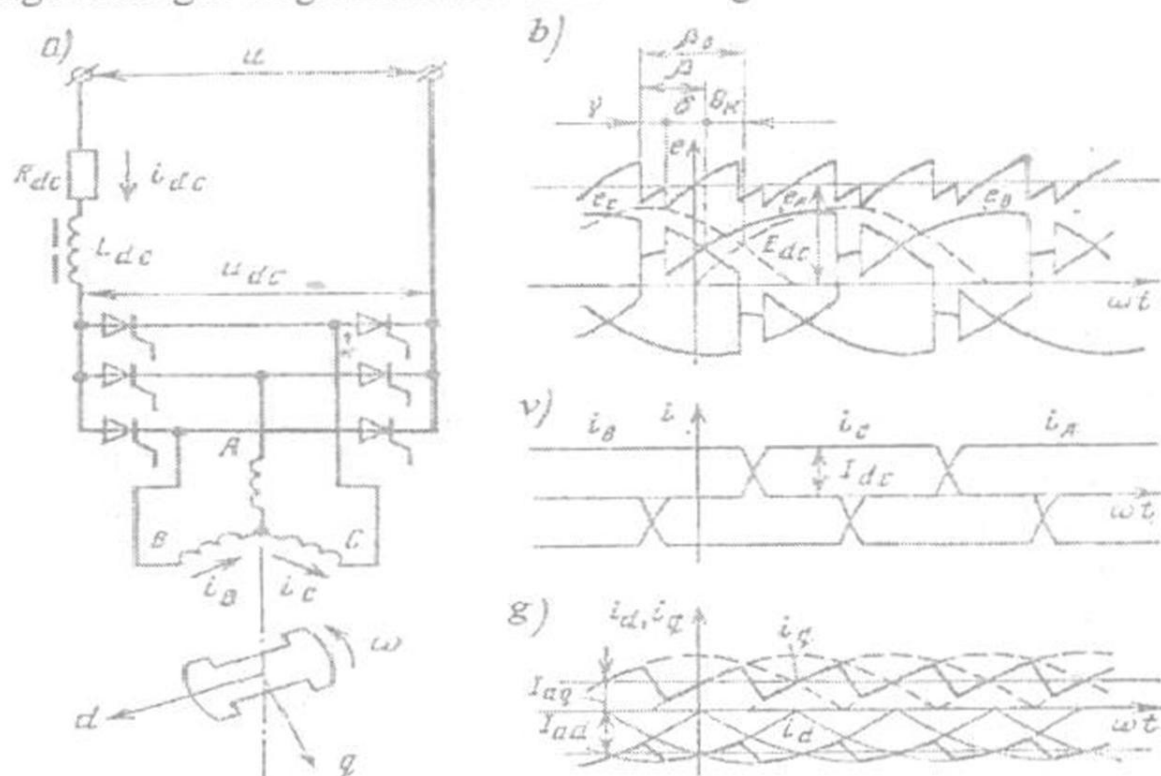
Boshqa turdagi elektr mashinalari kabi ventilli motorlar ham qaytuvchanlik xususiyatiga ega va u generator va motor rejimlarida ishlashi mumkin. Doimiy tok bilan magnitlangan rotor aylanishida uning magnit maydoni yakor chulg'amlarida uch fazali E.YU.K. hosil qiladi. Boshqarish tizimi invertorning keyingi tiristorida impulsning ochilishida mashinaning faza E.YU.K. bilan bog'langan aniqlangan vaqt momentini uzatilishini ta'minlaydi. VM o'zgartgichida to'g'rilash va invertorlash jarayoni amalga oshiriladi, u holda motor rejimida tarmoqlangan va mashinali kommutatsiyaga mos keladi. Ikkala jarayon ham asosan bir biriga bog'liq bo'lmagan holda yuzaga keladi.

Tarmoq kommutatsiyasi o'zgaruvchan tok EHT ning o'zgartgichidagi kommutatsiyaga o'xshash bo'ladi va tortish tarmog'i kuchlanishining bitta yarim davrida bir marta sodir bo'ladi. Mashinali kommutatsiya elektr mashinalar tokni uning bir fazasidan boshqa fazasiga qayta ulash jarayonida yakorning M.YU.K. maydonida aylanishni yuzaga keltirish uchun zarur bo'lgan yuzaga kelishini ko'rsatadi.

VM generator rejimida ishlaganda o'ziga sinxron generatorini va olti va o'n ikki impulsli to'g'rilagichlarni namoyon etadi, ya'ni bunday to'g'rilagichlar uchun ma'lum bo'lgan qonunlar to'g'ri bo'ladi. Bu rejimda boshqarish rejimi mashinaning ikkita ulangan chiqishlaridagi chiziqli E.YU.K.lar tenglashgan vaqtda keyingi tiristor ochilishini ta'minlashi lozim. Bunga quyidagi holda agar o'zgartirgichdagi tiristorlarni diodlar bilan almashtirishga erishish mumkin. Biroq tiristorlarsiz asosiy motor rejimida ishlashini amalga oshirish mumkin emas. Motor rejimida ishlaganda yakor chulg'amdagi tok, undagi ta'sir etuvchi E.YU.Kga qarama-qarshi yo'nalgan bo'lib, bu invertorning ishlashiga to'g'ri keladi. Ma'lumki, tok invertoriga bog'liq holda tok kommutatsiyasini fazadan fazaga invertorlashda yakorning qo'shni ikkita qo'shni fazasida E.YU.K teng bo'lgan vaqtda mumkin bo'ladi, qachonki chiziqli E.YU.K tok kommutatsiyasining kerakli yo'nalishiga mos bo'lsa, yo'nalishga ega bo'ladi.(7.1-rasm).

Keyingi tiristorni ochilishi to'g'risidagi signal ma'lum surilish burchagi β ma'lum vaqtda beriladi, ϕ fazalar kommutatsiyasida E.YU.K teng bo'lgan nuqtadan hisoblab boshlaydi. Chiziqli E.YU.K. ta'siri ostida kommutatsiya burchagi γ bo'ylab, yakor chulg'aminin keyingi fazasiga tok o'tishi amalga oshiriladi. Zaxira burchagi S kommutatsiyaning tugashi va kommutatsiyalovchi E.YU.Kni nol orqali o'tishi orasidagi vaqtga mos keladi. Motor orqali iste'mol qilinadigan i tok o'zgarmas tokning to'liq silliqalanishi bo'g'inida qiymati va yo'nalishi bo'yicha o'zgarmaydi. 7.1-rasmda keltirilgan o'zgarmas tokli aniq bo'g'inli VM kuch sxemalari alohida to'g'rilagichdan iborat bo'lib, masalan VL-80^r va VL-85 elektrovozlarning to'g'rilash inverterli o'zgartgich sxemasi bo'yicha va alohida tok inverteri olti (7.2,a-rasm) yoki o'n ikki impulsli (7.2,b-rasm) sxemasi bo'yicha ko'rsatilgan. Ikkinchi holat bo'yicha VM yakor chulg'ami ikkita uch fazali yulduz, bir-biriga nisbatan 30^0 ga so'rilgan holda tayyorlangan.

Parallel ishlaydigan VM lar a va b nuqtalarga 7.2-rasmda ko'rsatilgan (strelka) yo'nalish bo'yicha ulanishi, shunday ulanadiki, har bir motor zanjirida individual silliqlovchi reaktor bo'lishi lozim. Uning induktivligi motorlar o'rtasida ularning aylanishning fazalari mos kelmasligidan yuzaga keladigan tenglashtiruvchi toklarni chegaralashi lozim.



7.1-rasm. Ventilli motorni ta'minlashning prinsipial sxemasi (a), o'zgartirilgan va faza E.YU.Klarining vaqt bo'yicha diagrammasi (b), faza toklari (v) va induktorning bo'ylama va ko'ndalang o'qlari bo'yicha demperli chulg'am toklari (g).

O'zgarmas tokli aniq bo'g'inli VMlar sxemalari motorning ishonchli ishga tushirishini ta'minlay olmaydi, chunki zarur bo'lgan tabiiy aylanuvchi kommutatsiya E.YU.K mavjud emas. Alohida hollarda motor o'qida yuklama momentining yo'qligi sababli, rotorning aylanish tezlanishi (qo'zg'almas holatidan) kerakli holda tez ortadi, u holda birinchi kommutatsiyada E.YU.K tok kommutatsiyasi yuzaga kelish holatidagi qiymatga erishadi. Tortuv motorlari uchun rotorning har qanday boshlang'ich holatida tok kommutatsiyasini va rotor aylanish tezlanishining juda kichik qiymatida yuqori ishga tushirish momentini ta'minlaydi.

Uch fazali yakor chulg'amli ventilli motorlar uchun yordamchi kommutatsiyaning eng sodda sxemasi ikkita tiristordan VS7 va VS8 (7.2,a-rasm) hamda stator chulg'amining o'rta nuqtasida ulanadi, S_k kommutatsiyalovchi kondensatordan iborat.

Kommutatsiya VM rotori holatini ko'rsatuvchi datchik signali bo'yicha boshlanadi, a uning xarakatlanishi komutatsiyalovchi kondensator S_k (7.3-rasm) ning kuchlanish datchigi orqali nazorat qilinadi. To'g'rilangan tokni to'liq silliqlaganda $I_{dc} = \text{Const}$ bo'ladi. Shuning uchun VS8 tiristorning ochilganidan keyin (7.2,a-rasm) oldindan motorning ishlovchi fazasiga va vaqt intervalida zaryadlangan kommutatsiyalangan kondensatorda tebranuvchi zaryad yuzaga keladi.

$$\Delta t_1 = \frac{1}{\omega_o} \arcsin \frac{I_{dc}}{U_o} \sqrt{\frac{L''}{C_k}}$$

bunda, $\omega_o = 1/\sqrt{L''C_k}$ kommutatsiya burchagi o'zining burchak chastotasi;

U_o – kommutatsiyalovchi kondensatordagi boshlang'ich kuchlanish;

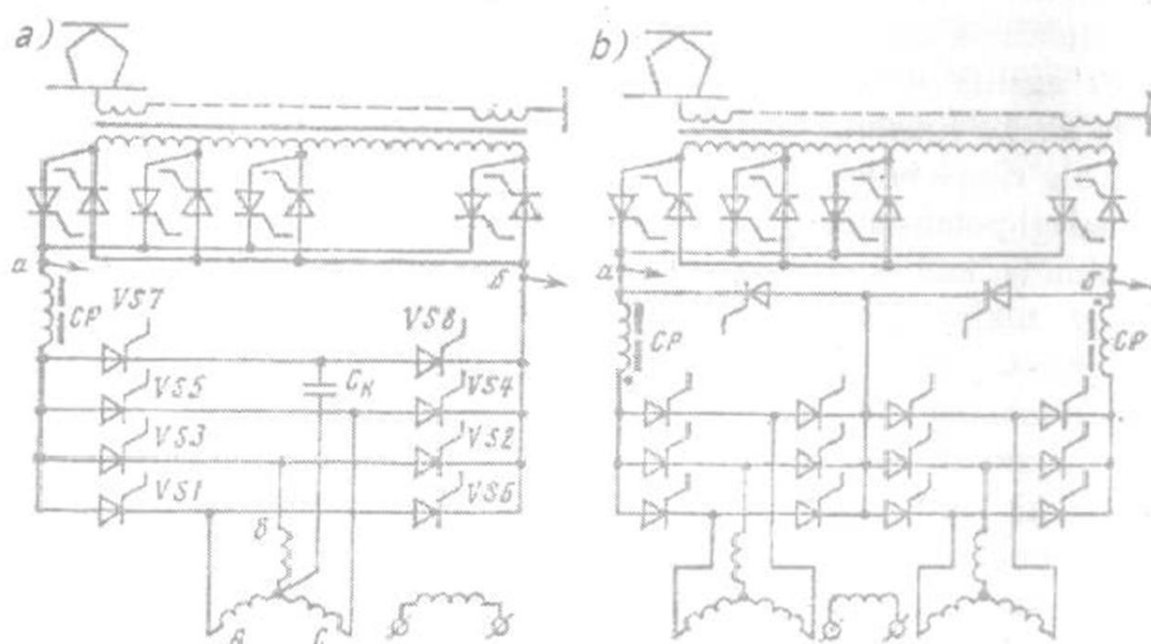
L'' - faza chulg'amining o'ta o'tuvchi induktivligi.

Bunda V fazadagi tok nolga qadar pasayadi. Undan keyin kommutatsiyalovchi kondensatorning chiziqli o'ta zaryadlanishi boshlanadi; undagi kuchlanish interval vaqti orqali nolga teng bo'ladi.

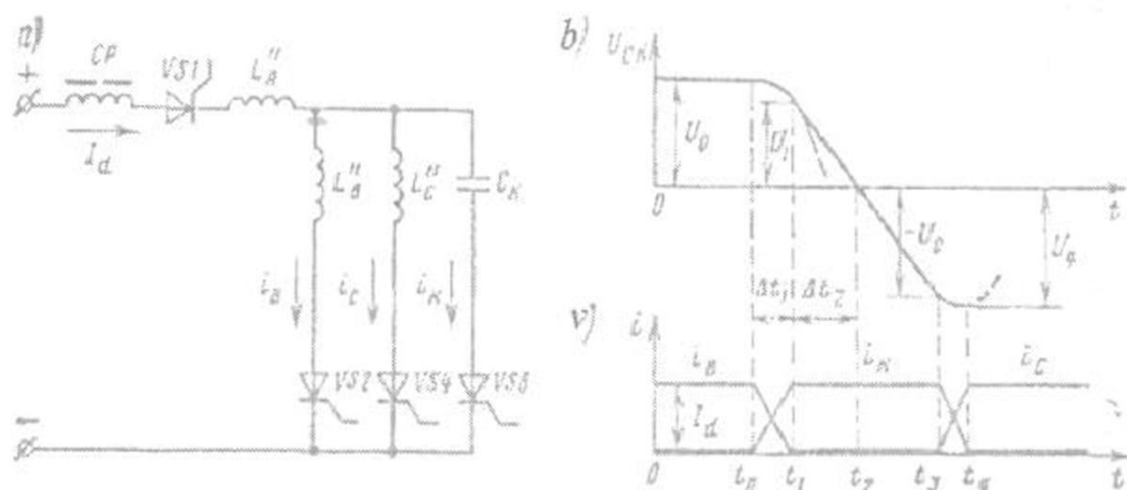
$$\Delta t_2 = \frac{1}{\omega_o} \sqrt{\frac{U^2 C_k}{I_{dc}^2 L''} - 1}$$

Bu vaqt davomida VS2 tiristoriga teskari kuchlinishi beriladi; Δt_2 vaqt tiristorlarning yopilish xususiyatining qayta tiklanish vaqti t_v dan oshishi zarur bo'ladi. Kondensatordagi kuchlanish yana, U_o qiymatiga erishgunga qadar boshqarish tizimi keyingi kuch tiristori VS4 ga boshqarish signali

beradi va kondensatorning $U_4 = -U_0 + \sqrt{1 + I_{dk}^2 L'' / (U_0^2 C_k)}$ gacha tebranishi amalga oshadi, bu jarayonda C fazadagi I_{dc} tok noldan ruxsat etilgan qiymatgacha ortadi.



7.2-rasm. O'zgarmas tokning aniq bo'g'inli VMning kuch sxemasi va olti pulsli sxemada S_k kondensator yordamida joyidan qo'zg'atishda yordamchi kommutatsiya (a) va o'n ikki pulsli magnit bog'langan silliqlovchi reaktor SR (b).



7.3-rasm. VM ni ishga tushirishida yordamchi kondensatorni kommutatsiya jarayonidagi keltirilgan sxemasi (a), kuchlanishning (b) va tokning (v) vaqt bo'yicha diagrammasi.

Yordamchi kommutatsiya chastotaning 0 dan $0,1n_{nom}$ oralig'ida zarur bo'ladi, bu yerda n_{nom} motorning nominal aylanish chastotasi. Yuqori chastotada yordamchi kommutatsiya qurilmalari o'chirilishi mumkin,

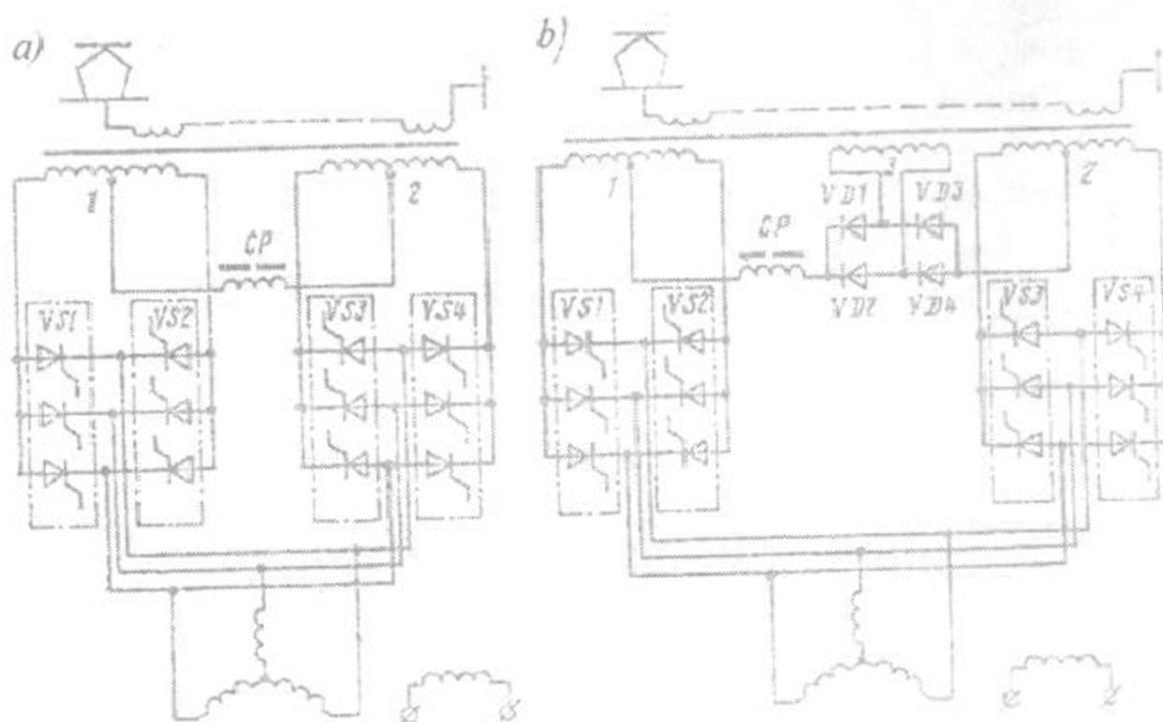
chunki motor fazalarida tokning qayta ulanishi aylanuvchi E.YU.K. ta'siri ostida amalga oshadi. Qo'shimcha qurilmalar tiristorlar, VS7, VS8 va kondensator S_k lardagi ruxsat etilgan quvvat – uncha katta bo'lmaydi. Kuchlanish qutblari o'zgarishli ta'minot manbaida yordamchi kommutatsiya qurilmasi bundan ham mustahkam bo'lishi mumkin (7.2,b-rasm) agarda silliqlovchi reaktor SR ikkita magnit bog'langan yarim chulg'am ko'rinishida tayyorlangan bo'lsa.

To'g'rilagichning fazali rostlash jarayonida b nuqtadagi potensial a nuqtadagi potensialdan yuqori bo'lsa, kommutatsiyalovchi tiristorni ochish mumkin bo'ladi. S_r ning bir yulduzi yarim chulg'aming tutashishi boshqa yulduz tokiga aylanishiga olib keladi, bundan keyin invertorda bu yulduzchani ta'minlovchi ikkita tiristor qo'shiladi, to'g'rilangan tokning oqib o'tishning yangi yo'liga to'g'ri keladi.

O'zgarmas tokli, aniq bo'g'inli kuch sxemasi va olti (7.2,a-rasm) yoki o'n ikki impulsli (7.2,b-rasm) tok invertori Fransiya E.H.T.da foydalanilgan; 7.2,a-rasm dagi inverter o'ta tezlikli TGV elektr poyezdi uchun Parij-Atlantika yo'nalishida 7.2,b-rasmdagi inverter VV-10004 tajriba elektrovozida foydalanilgan. VM faza chulg'amlaridagi kommutatsiya toklarini boshqa sxemalari ham bo'lishi mumkin, masalan, iste'mol qiladigan kuchlanishning qutblanishini o'zgartirish bilan VMni ishga tushirish vaqtida kommutatsiyani ta'minlash uchun o'zgarmas tokning aniq bo'lmagan bo'g'inli sxemasi deb nom olgan maxsus kuch sxemalaridan foydalaniladi. Bu holda o'zgartgich ikkita uch fazali teskari qutblangan ko'priksimon invertordan, ya'ni motor fazalari ta'minotini ta'minlovchi transformotordagi kuchlanish ishoralarini o'zgartirish bilan ta'minlanadi. Tiristorlarning ishlash ketma-ketligi ta'minlovchi kuchlanish chastotasi va VM rotorining aylanish chastotasi bilan aniqlanadi: shuning uchun o'zgarmas tokli aniq bo'lmagan bo'g'inli sxemada alohida olingan tiristorning vaqtincha ishlash diagrammasi har xil bo'lishi mumkin. Ular ko'rsatilgan chastotalarning nisbati va tortuv tarmog'i va motorning kuchlanishlariga nisbatan tiristorlarning boshlang'ich fazasining ulanishiga bog'liq.

O'zgarmas tokli aniq bo'lmagan bo'g'inli o'zgartgich sxemasi ishlashini VMdagi fazalar o'rtasidagi kommutatsiya tokini ta'minlayotgan tarmoq kuchlanishi hisobiga sun'iy ta'minlovchi qurilma deb qarash mumkin. Bu 7.4,a va b-rasm sxemalarini taqqoslaganda aniq ko'rinadi. 7.4,b-rasmda o'zgarmas tokning aniq bo'g'inli sxemasi bilan birga keltirilgan (transformotorning ikkilamchi chulg'ami 3 va VD1–VD4 diodlarning ko'priqli to'g'rilagich sxemasi) va o'zgarmas tokning aniq bo'lmagan –bo'g'inli shemasi bilan (1 va 2 ikkilamchi chulg'amlar va

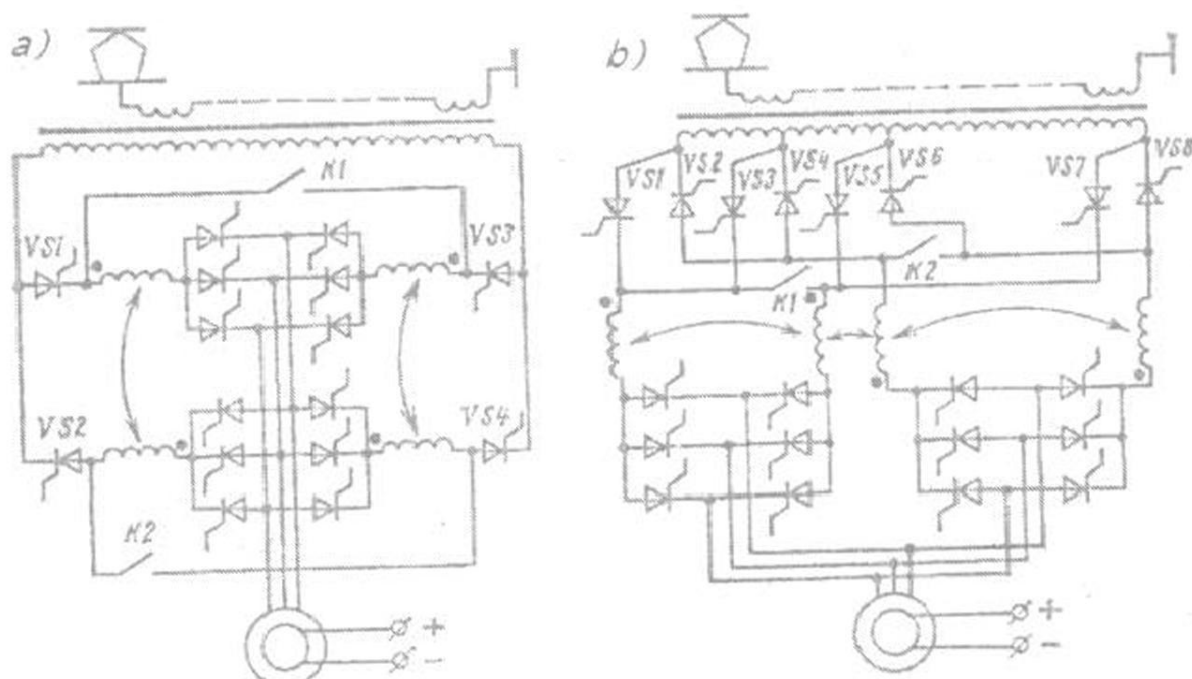
VS1–VS4 tiristorlar) ketma-ket ulangan. Transformotorning bir va ikkilamchi chulg'amlarning bunday kombinatsiyalangan sxemasi nafaqat ishga tushirish vaqtida yakor fazalaridagi tok kommutatsiyasini ta'minlaydi. 7.4,a-rasm sxemasidagi bo'lgani kabi tortish tarmog'idan aktiv energiyani motorga beradi. Bir va ikki chulg'amlar motor yakorida aylanuvchi E.YU.K. kam bo'lganida fazalar o'rtasidagi tok kommutatsiyasini ta'minlaydi va bu chulg'amlardagi o'ramlar sonini ishga tushirish vaqtidagi kommutatsiyani hisobga olgan holda minimal qilib tanlash mumkin.



7.4-rasm. O'zgarma tokning aniq bo'lmagan bo'g'inli o'zgartgich sxemasi (a) va VMning ta'minlash uchun kombinatsiyalangan sxemasi (b).

Shuning uchun 7.4,b-rasm sxemaga o'zgarma tokning aniq bo'g'inli sxemasi kabi qarash mumkin, u holda transformotorning 1 va 2 ikkilamchi chulg'amlari faqat yakorda fazalar o'rtasidagi kommutatsiyani ta'minlash uchun chiqarilgan, ya'ni motorni joyidan qo'zg'atishda mashinali kommutatsiya sifatida. Buning uchun VS1–VS4 tiristorlarning to'g'ri yo'nalishda bo'lgan kuchlanish qo'yilgan va ularga teskari yo'nalishda 1 va 2 chulg'amlar kuchlanishlari qo'yiladi, bu ko'rilayotgan holat uchun kam. Ko'rilgan kuch sxemalaridan, 7.4-rasmda keltirilgan yakordagi, fazalar o'rtasidagi tok kommutatsiyasini amalga oshirish uchun sxemaga o'zgarma tokning aniq bo'g'inli sxemasi qo'shimcha kommutatsiyalovchi transformotorni, totuv transformotorning qo'shimcha chulg'ami ulardan ventilli motorlarga quvvat berishi bilan amalga oshiriladi. Motorning

umumiy quvvatida bu quvvatning biror qismini oshirish uchun o'zgartgichdagi ventillar sonini o'zgartirish mumkin, uning o'zi esa o'zgaras tokning aniq bo'lmagan bo'g'inli o'zgartgichiga aylanadi.



7.5-rasm. Elektrovozni joyidan qo'zg'atishda o'zgaras tokning aniq bo'lmagan bo'g'inida (a) va elektrovozning ish rejimidagi aniq bo'g'inida VMni ta'minlashning prinsipial kuch sxemasi (b).

VL80^v elektrovozlarida o'zgaras tokning aniq bo'lmagan bo'g'inli va to'rt qutbli silliqlovchi reatorli o'zgartgichi qo'llanilgan. U o'zgaras tokning aniq bo'g'inli sxemasiga ikkita kontaktor K1 va K2 lar yordamida qayta ulanishi mumkin (7.5-rasm). Bu kontaktorlar elementar sxemali to'g'rilagichning to'rtta yelkasi mavjud VS1 – VS4 (7.5, a-rasm) va to'rt zonali ko'priik to'g'rilagich sxemalar VL80^r va VL85 elektrovozlarda 8 yelkali VS1–VS8 (7.5,b-rasm) qo'llaniladigan shamada amalda ekvipotensial nuqtalarni birlashtiradi. Ko'rsatilgan o'zgartgichlar bilan tajribalar ko'rsatadiki K1 va K2 kontaktorlarni qo'shilishi va ajratilishi ventilli motordagi elektromagnit jarayonlarni o'zgarishiga olib keladi. Kontaktlarning ajratilishi tok kuchining ajralishi bilan amalga oshmaydi.

7.3-§. Ventilli motorlar elektromexanik xarakteristikalarini hisoblash

Umumiy holda VM ning elektromexanik xarakteristikasini olish uchun, doimiy ta'minlovchi kuchlanishni $U_{do} = \text{Const}$ va qo'zg'atish toki $I_k = \text{Const}$ ni o'zgaras deb qabul qilinadi. Bu tekshirilayotgan kanalni rostlashning ta'sirini aniq nazorat qilishga imkon beradi.

$\beta = \text{Const}$ bo'lganda, kommutatsiya burchagi γ va kiruvchi tok I_{dc} orasidagi bir tomonlama bog'lanish mavjudligini ko'rsatadi. Haqiqatan, vektor diagrammadan (7.6, a -rasm) aniqlaymiz:

$$(7.1)$$

$$\sin \Theta_k = (x_q - x_k) I_1 \cos(\beta_0 - \gamma/2) / E_k; ..$$

$$(7.2)$$

$$\cos \Theta_k = E_k - (x_d - x_k) I_1 \sin(\beta_0 - \gamma/2) /$$

bunda, I_1 - faza toki garmonik tashkil etuvchisining haqiqiy qiymati, kommutatsiya burchagiga bog'liq bo'lmagan holda qilishga ruxsat etiladi $I_1 \approx \sqrt{6} I_{dc} / \pi$; ω_d va ω_q rotorning bo'ylama va ko'ndalang o'qlariga mos holda sinxron induktivligi. Yuqoridagi tenglamalarni qayta yozamiz.

$$I_{dc} = \frac{\sqrt{6} E_k}{X_k} \sin \frac{\gamma}{2} \left[\sin(\beta_0 - \frac{\gamma}{2}) \cos \Theta_k - \cos(\beta_0 - \frac{\gamma}{2}) \sin \Theta_k \right]$$

va bunga (7.1) va (7.2) larning qiymatini qo'yamiz.

Uch fazali tokning qisqa tutatishdagi qiymatini asos sifatida qabul qilib quyidagilarni olamiz.

$$I^* = \frac{I_{dc}}{I_\sigma} = \sin(\beta_0 - \gamma/2) / \left[1 - \frac{x_k}{x_d} \left(1 - \frac{\pi}{6 \sin \gamma/2} \right) - \left(1 - \frac{x_q}{x_d} \right) \cos^2(\beta_0 - \frac{\gamma}{2}) \right] \quad (7.3)$$

Bu tenglama kommutatsiya burchagi va γ va tok I^* ni salt ishlashdagi E.YU.K. bo'yicha surilish burchagining va ventilli motorning ma'lum konstruktiv parametrlarini X_k/X_d va X_q/X_d berilgan qiymatida bog'laydi. Bu parametrlardan biri dempfer chulg'ami magnit oqimi pulsatsiyasini silliqilanish darajasini, ikkinchisi aniq qutbli rotorning koeffitsiyentini ko'rsatadi. Ma'lumki, aniq bo'lmagan qutbli rotorda $X_q/X_d \approx 1$, aniq qutblida esa $X_q < X_d$ bo'ladi; masalan, $X_q = 0,6 X_d$.

Θ_k yakor reaksiyasi burchagini kommutatsiya burchagi γ va tok I^* ni (7.1) va (7.2) tenglamalarga bo'lib yoki bevosita vektor diagrammadan aniqlanadi.

$$\text{tg} \Theta_k = \frac{I \cdot (X_q/X_d - x_k/x_d) \cdot \cos(\beta_0 - \gamma/2)}{1 - I \cdot (1 - x_k/x_d) \cdot \sin(\beta_0 - \gamma/2)} \quad (7.4)$$

Agar birlamchi asos kuchlanish sifatida ideal salt yurishda $\beta_0 = 0$, ya'ni $E_b \frac{3\sqrt{6E_h}}{\pi}$ bo'lganda o'zgartirilgan E.YU.K.ning o'rtacha qiymatini qabul qilsak, yuqoridagilarga asosan

$$E^* = \frac{E_{dc}}{E_0} = I^* \frac{\pi}{6} \frac{x_k}{x_d} \operatorname{ctg} \frac{\gamma}{2} \operatorname{ctg}(\beta_0 - \Theta_k - \frac{\gamma}{2}) \quad (7.5)$$

$X_k = 0$ va $\gamma = 0$ bo'lganda (7.3), (7.5) tenglamalar quyidagi ko'rinishgacha qisqaradi.

$$I^* = \frac{\operatorname{tg} \Theta_k}{\sin \beta_0 \operatorname{tg} \Theta_k + (x_q / x_d) \cos \beta_0}$$

bunda, $0 \leq \Theta_k \leq \beta_0$

$$E^* = I^* \frac{x_q}{x_d} \frac{\cos \beta_0 \cos(\beta_0 - \Theta_k)}{\sin \Theta_k}$$

$$E^* = I^* \frac{x_q}{x_d} \frac{\cos(\Theta_k + \delta) \cos \delta}{\sin \Theta_k}$$

(7.3), (7.5) tenglamalar invertorning kirish $E^* = f(I^*)$ xarakteristikasini doimiy qo'zg'atish tokida $I_b = \text{const}$ va $\beta_0 = \text{const}$ da VM yakori ta'minlanishida hisoblashga imkon beradi. Kirish xarakteristikalarini hisoblash va qurish shu tenglamalar asosida ketma-ket Θ_k ning qiymatini berib amalga oshiriladi va unga mos Θ_k , I^* va E^* qiymatlarini hisoblashni zaxira burchagi $\delta = \beta_0 - \Theta_k = \gamma$ nolga yetgunga qadar davom ettiriladi. Yuklamani bundan keyin davom ettirishning imkoni yo'q, chunki invertorning qaytarish jarayoni boshlanadi.

Zaxira burchagi doimiyligini rostlash qonuni $\delta = \text{const}$ bo'lganda kommutatsiya burchagi γ , yakor reaksiyasi burchagini Θ_k aniqlashi bilan bir xilda bo'ladi.

$\beta_0 = \gamma + \delta + \Theta_k$ bo'lgani uchun uni E_k ga qo'yib, oldingi formuladan, kommutatsiya tenglamasiga qo'yib, quyidagini olamiz,

$$\operatorname{ctg} \Theta_k = \pi / \left[3 \left(\frac{x_q}{x_d} \frac{x_d}{x_k} - 1 \right) \sin \frac{\gamma}{2} \sin(2\delta + \gamma) \right] + \operatorname{tg}(\delta + \frac{\gamma}{2}) \quad (7.6)$$

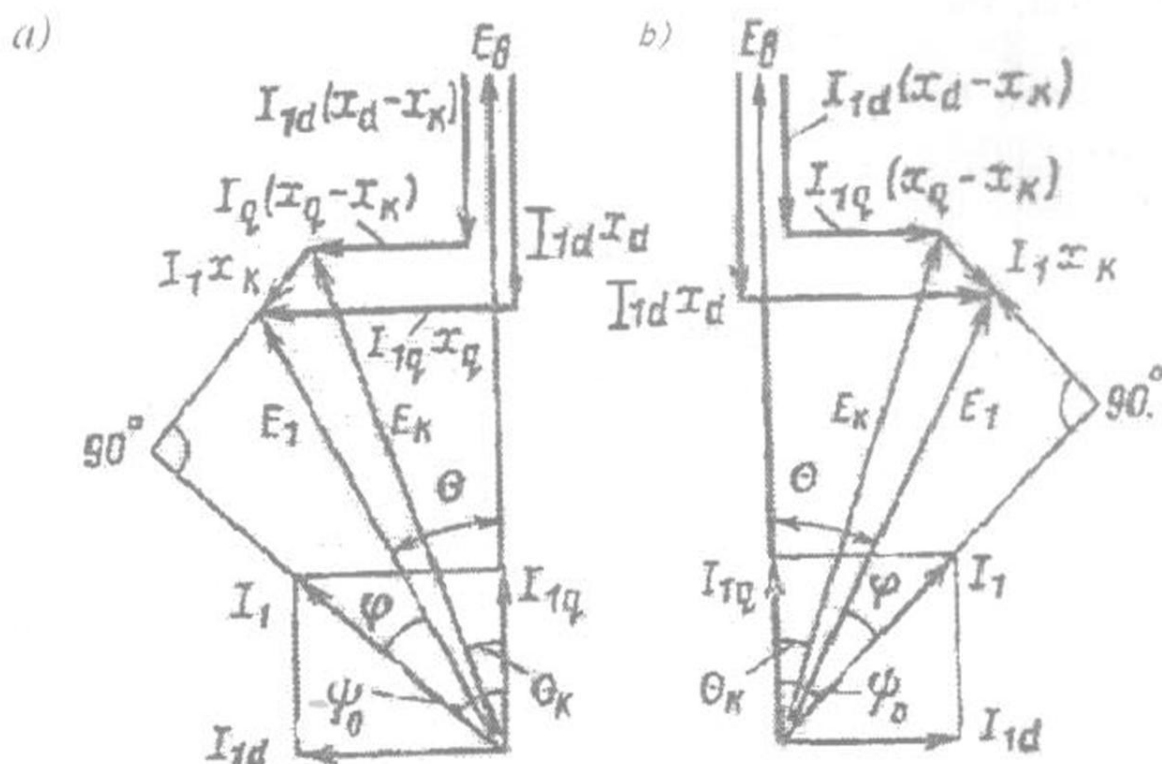
(7.3) va (7.5) tenglamalarni quyidagi ko'rinishda yozamiz.

$$I^* = \sin(\Theta_k + \delta + \gamma/2) / \left[1 - \frac{x_k}{x_d} \left(1 - \frac{\pi}{6 \sin \gamma/2} \right) - \left(1 - \frac{x_q}{x_d} \right) \cos^2(\Theta_k + \delta + \gamma/2) \right] \quad (7.7)$$

$$E^* = I^* \frac{\pi x_k}{6 x_d} \operatorname{ctg} \frac{\gamma}{2} \operatorname{ctg} \left(\delta + \frac{\gamma}{2} \right) \quad (7.8)$$

$x_k = 0$ va $\gamma = 0$ bo'lganda (7.5) – (7.6) tenglamalarni qisqartiradi:

$$I^* = \sin(\Theta_k + \delta) / \left[1 - \left(1 - \frac{x_k}{x_d} \frac{\cos(\Theta_k + \delta) \cos \delta}{\sin \Theta_k} \right) \right]$$



7.6-rasm. Tortuv va elektr tormozlanish rejimidagi o'ta o'tkazuvchan h_k qarshilikli ventilli motorning vektor diagrammalari.

Inventorning kirish xarakteristikalarini hisoblash ham shu ketma-ketlikda amalga oshiriladi. Biroq $\delta = \text{const}$ rostlash qonuniga asosan inventorning chiqarishi amalga oshmaydi va kommutatsiya burchagi 60° C gacha o'tishi mumkin, undan keyin inventorning qisqa tutashishi boshlanadi. $\beta = \text{const}$ da inventorning kirish xarakteristikasini (7.5), (7.7) tenglamalardan $\delta = \beta - \gamma$ ni qo'yib aniqlanadi. Xarakteristikani hisoblash va qurish $\delta = \beta - \gamma = 0$ gacha davom ettirish bu chegaraviy qiymat, bundan keyin inventorning ajralishi amalga oshadi. Invertorning kirish xarakteristikalarini (7.5), (7.7) tenglamalar bo'yicha qurish shuni

ko'rsatadiki, umumiy holda motor magnit o'tkazgichlari to'yinishi bo'lmaydi, elektr zanjirining aktiv elektr qarshiligi va ta'minot manbasining absolyut qattiq xarakteristikasi, ya'ni $E_{dc} = \text{const}$ da $I_k = \text{const}$ va da VM tizimi elektr jihatidan mustahkam emas. Birgina X_k ning katta qiymatlari uchun aniq qutbli rotorli motorda ($x_q = 0.6x_d$) va aniq qutbsiz rotorli motor uchun ($x_q = x_d$) uchun $\beta = \text{const}$ qonun bo'yicha rostlashda tizim elektr mustahkamlikka ega bo'ladi. Olingan bog'lanishlar VMlarning ularning o'zgaras parametrlarda elektromexanik xarakteristikalarni analiz qilishda va hisoblashga o'tishga imkon beradi.

Tok va kuchlanishning qabul qilingan boshlang'ich qiymatlari shundayki, tok I^* , VM rotori aylanish chastotasiga bog'liq emas, a E.YU.K. E^* unga teskari proporsionaldir. Shuning uchun, aylanish chastotaning boshlang'ich qiymatini qo'zg'atish tokiga mos keluvchi va iste'mol qiladigan boshlang'ich kuchlanishga, $E_{dc} = E_g$, $x_k = 0$ va $\beta = 0$ bo'lganda (VMning ideal salt ishlash rejimi), u holda

$$n^* = \frac{n}{n_g} = \frac{1}{E^*}$$

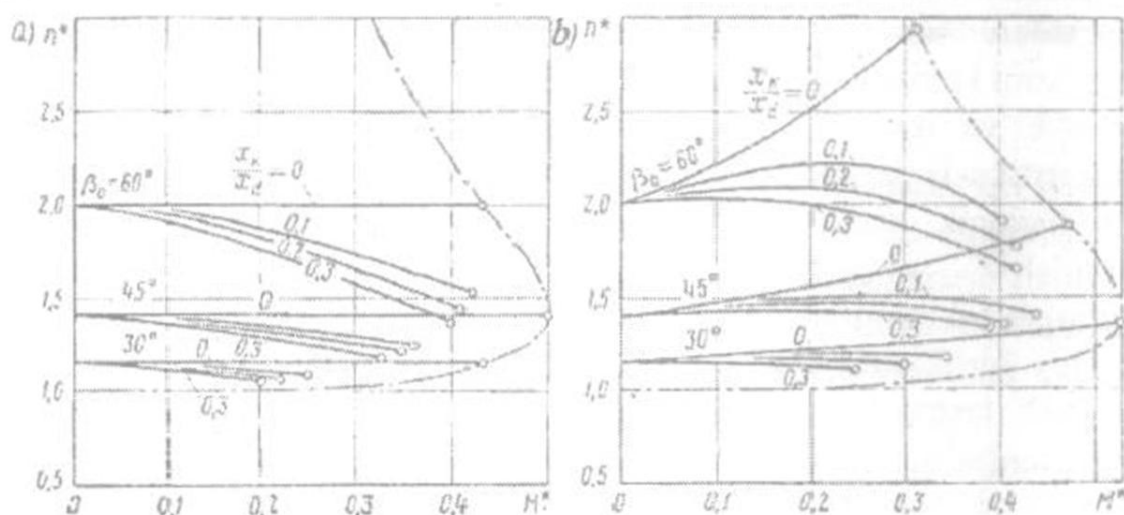
O'zgaras tok motorining $I_k = \text{const}$ bo'lganda ko'pincha tezlik xarakteristikasi pasayuvchi hisoblanadi. Ventilli motorlarda xarakteristikalar faqat aniq bo'lmagan qutbli rotorlardan bo'ladi va katta H_k uchun aniq ko'rinadigan qutbli rotorda $\beta_0 = \text{const}$ rostlash qonunida yuzaga keladi.

Qonunni takomillashtirishga ko'ra rostlash qonunini invertorlashning mustahkamligiga nisbati, boshqa o'zgaras shartlarda tezlik xarakteristikaning ortishida ko'p egiladi.

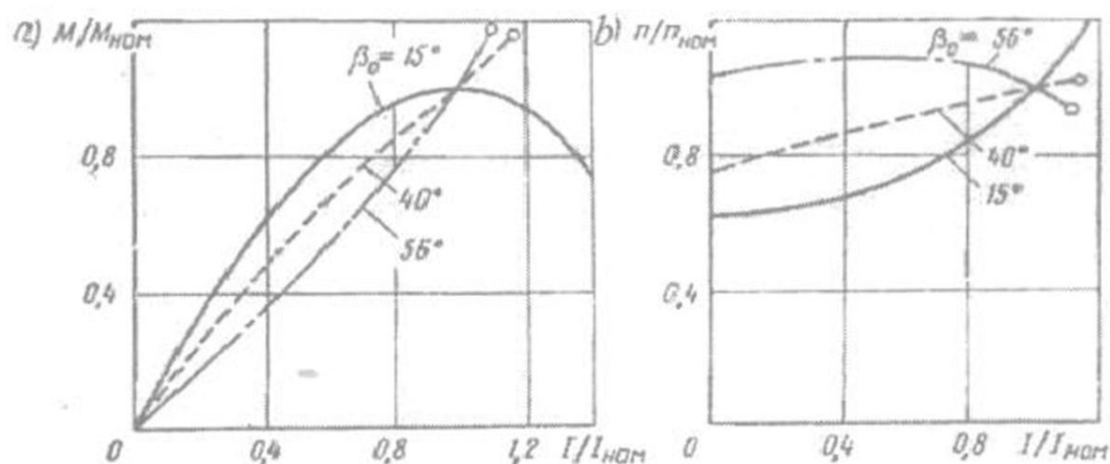
VM ning moment xarakteristikasi $E_{dc} = \text{const}$ va $I_k = \text{const}$ shartlar uchun invertorning kirish xarakteristikasi, agarda boshlang'ich moment sifatida $M_b = E_b I_b$ qiymati olinsa, $M^* = E^* I^*$ formula bilan aniqlanadi. Aniq qutbli motorning maksimal nisbiy momenti, aniq ko'rinmaydigan qutbli nisbatan, reaktiv moment hisobiga katta bo'ladi.

Ideal o'zgaras tok motorida (cheksiz, ingichka ch'otkalar va to'yingan magnit o'tkazgich) aylanuvchi momenti yakor tokiga to'g'ri proporsional bo'ladi. VMni aralash qo'zg'atishli neytral ch'otkali o'zgaras tok motori kabi qarash mumkin. Yakor tokining ortib borishi bilan aktiv o'tkazgichlar soni "kamayadi" (agar β_0 burchakni oshirsak) va yakorning bo'ylama reaksiyasidan mashinaning magnitsizlanishi ortadi.

Bu ikkita faktor moment xarakteristikani to'g'ri chiziqdan og'ishiga olib keladi.



7.7-rasm. $U^* = 1$, $I_k = \text{const}$ va $\beta_0 = \text{const}$ bo'lganda VMning mexanik xarakteristikalari: a – aniq ko'rinmaydigan rotor, $X_q = X_d$, b – aniq ko'rinadigan rotor, $X_q = 0,6X_d$



7.8-rasm. $I_k = \text{const}$; $X_q = 0,6X_d$ va $X_k = 0,8X_d$ bo'lganda VMning moment (a) va tezlik (b) xarakteristikalari: 1 – $\alpha = 15^\circ = \text{const}$; 2 – $\beta = 40^\circ = \text{const}$; 3 – $\beta_0 = 56^\circ = \text{const}$

Rostlash qonuni $\beta_0 = \text{Const}$ uchun va qisman $\beta = \text{Const}$ va katta H_k larda bu oqimlar, aniq ko'rinadigan xarakterga ega bo'lmaydi. Agarda $\beta = \text{Const}$, $X_d = 0$ va yana ham $\beta = \text{Const}$ bo'lsa moment xarakteristikasi invertorda qaytarib tashlanadi, yoki qisqa tutash boshlangunga qadar aniq ko'rinadigan maksimumga erishiladi. VMda maksimal momentni yuzaga keltirilgan ilgarilab ketuvchi β burchak maksimal momentni ma'lum darajada kommutatsion induktivlik H_k va zaxira burchagi α ga bog'liq bo'ladi; real o'lchamlar uchun u $40-50^\circ \text{C}$ dan ortmaydi. Bu maksimumdan

o'ngroqda yakor tokining o'sishi boshqarish tizimi bilan kuchaytiriladigan magnitsizlantirish ta'sirini kompensatsiya qila olmaydi. Bu tokning o'sishi mobaynida uning faza burchagi ortib boradi va qandaydir yakorning aktiv o'rinlar soni kamayadi.

Tezlik va momentlar xarakteristikasi bo'yicha VM ning mexanik xarakteristikasi quriladi (7.7-rasm). Shunday qilib VM ning barcha elektromexanik xarakteristikalari to'g'rilangan ta'minlovchi o'zgarmas kuchlanish E_{dc} ning doimiy holatida va BT har xil rostlash qonunida qo'zg'atish tokining o'zgarmas holatlarida olinadi. Xarakteristikalarni bir xil nisbiy birliklarda qurilganligi sababli ular aniq ko'rinishli va har xil taqqoslash tashxislarini o'tkazishga imkon beradi, masalan, boshqarish tizimini tanlash va qurish jarayonida. 7.8-rasmda VMning tekshirilayotgan BTni rostlash qonunining tajribada tasdiqlangan quvvati 800 kVt bo'lgan ventilli tortuv motorining xarakteristikalari keltirilgan.

Nazorat savollari

1. Ventilli tortuv motorlar qanday tuzilgan?
2. VM ning moment xarakteristikasi qanday ifodalangan?
3. Ventilli motorlarning ishlash prinsipi va undagi elektromagnit jarayonlarni izohlang?
4. Ventilli tortuv motorni qo'llanilish sohalarini ayting?
5. VM o'zgartgichida to'g'rilash va invertorlash jarayoni qanday amalga oshiriladi?

8-bob. Yordamchi elektr mashinalarning vazifalari va ularga qo'yiladigan talablar

8.1-§. Elektr harakat tarkibida yordamchi elektr mashinalarning vazifalari va ularga qo'yiladigan talablar

Elektr harakat tarkiblarida quyidagi yordamchi mashinalar qo'llaniladi:

-motor kompressorlar – poyezdning tormoz tizimiga va elektropnevmatik jihozlarga, siqilgan havoni yuborish uchun qo'llaniladi;

-motor ventilyatorlar – tortuv elektr motorlarini va boshqa elektr jihozlarini (elektr poyezdlarda bundan tashqari yo'lovchilar xonasini shamollatish uchun) majburiy shamollatish uchun ishlatiladi;

-generator – boshqarish zanjirini tok bilan ta'minlashni va past kuchlanishli yoritish jihozlarini ta'minlash hamda akkumulyator batareyalarini zaryadlash uchun statik ishlanadi. Keyingi yillarda bu maqsadlar uchun statik zaryadlash qurilmasidan foydalanilmoqda (VL80 turidagi elektrovozlarning barcha modifikasiyalarda va ER9, ER11, ER22 turidagi elektr poyezdlarda);

-motor generator yoki o'zgartgichlar (lokomotivlarda elektr tormoz bilan) tortuv elektr motorlarini tormozlashda qo'zg'atish chulg'ami uchun foydalaniladi;

-fazalarni ajratgich va mashinali o'zgartgichlar – uch fazali asinxron motorlarni ta'minlash uchun;

-yog' motr nasoslar – transformator sovutish tizimidagi suyuqlik sirkulyatsiyasini ta'minlash uchun ishlatiladi;

-kuchlanishni bo'lgishlar (ajratgichlar) – yordamchi elektr mashinalarni ta'minlashda 1500V kuchlanishda hamda kontakt tarmog'idan 3000V kuchlanishga ulashda qo'llaniladi.

Ba'zida bir yordamchi mashinaning o'zi bir nesda funksiyani amalga oshiradi. Masalan kuchlanishni bo'lgichlar boshqarish generatori yuritmasida qo'llaniladi. Yordamchi mashinalar ish rejimi aylanish chastotasi motor o'qining va momentining kam miqdorda o'zgarishi bilan xarakterlanadi. Kompressor elektr motorlari bundan mustasno, bunda qarshilik momenti lokomotivning asosiy rezervuarlaridagi havo bosimiga bog'liq bo'ladi. Yordamchi mashinalar yaxshi texnik iqtisodiy ko'rsatkichlarga ega bo'lishi lozim. Elektrovozlarda umumiy quvvat mashinalar uchun sarflanadigan elektr energiya ning 10% gacha qabul qilganda doimiy tokda 3-5 % gacha tortuv elektr motori quvvatidan, a o'zgaruvchan tok elektrovozlarda 7- 10% ni tashkil etadi.

Yordamchi mashinalarni ekspluatatsiya qilishda yuqori chidamlilikka ega bo'lishi kerak. Elektr motorlarning ishda chidamliligi birinchi

navbatda ishga tushirish momentining barcha kerakli zaxirasi bilan xarakterlanadi (motor kompressorlar uchun ishga tushirish momentining M_{it} o'qdagi qarshilik momentiga nisbati $\frac{M_{it}}{M_q} = 5 \div 6$ ni tashkil etadi).

Yuklanish darajasi va turg'un hamda o'tkinchi rejimlarda (kollektorli mashinalar uchun) holatlar bilan xarakterlanadi. Tortuv motorlari singari yordamchi mashinalar o'zining ish holatini havo temperaturasi $+40$ dan -50°C bo'lganda va tok qabul qilgichlarda o'zgarmas tok tarmog'ida 2200 dan 4000 V gacha hamda o'zgaruvchan tokda 19000 dan 29000 V gacha ham saqlab qoladi.

Yordamchi mashinalarning ish holatlari ko'pincha tok qabul qilish tizimini qabul qilishga bog'liq. O'zgarmas tok EHTda yordamchi mashinalar o'zini-o'zi ta'minlaydigan transformatorning chulg'amidan energiya qabul qiladi. Bu esa chulg'amlarda kerakli bo'lgan muhim kuchlanishni tanlashga imkon beradi. O'zgarmas tokli EHTda yordamchi mashinalar kontakt tarmog'i kuchlanishiga yoki maxsus o'zgartgich (kuchlanish ajratgichlari) ga ulanadi. Bir qancha yordamchi mashinalarni ketma-ket ulash o'zini oqlamaydi, chunki ulardagi qarshilik momentini bir teksda taqsimlash qiyin bo'ladi. Kuchlanishi 3000 V bo'lgan tarmoqqa yordamchi mashinalarni qo'shish ancha qiyinchilik tug'diradi. Agar kollektor plastinkalari orasidagi kuchlanishning o'rtacha qiymatini $\Delta U_{k.o'r} = 21\text{ V}$ deb qabul qilinsa, to'rt qutbli mashinalarda kollektor plastinkalarning soni 571 ni tashkil etadi. Kollektorning mustahkamlik shartiga asosan, kollektor bo'linmalari t_{km} ni 3,5 mm dan kam bo'lmasligini ta'minlash qiyin bo'ladi. U holda uning mumkin bo'lgan eng kam diametri quyidagicha bo'ladi

$$D_k = \frac{2pt_{km}U_t}{\pi\Delta U_{k.o'r}} \approx 636\text{ mm} \quad (8.1)$$

Bunday kollektorlarni qo'llash, mashinaning massasi va gabaritining ancha oshib ketishiga olib keladi. Elektr poyezdlar tagida bunday mashinalarni umuman joylashtirishning imkoni bo'lmaydi.

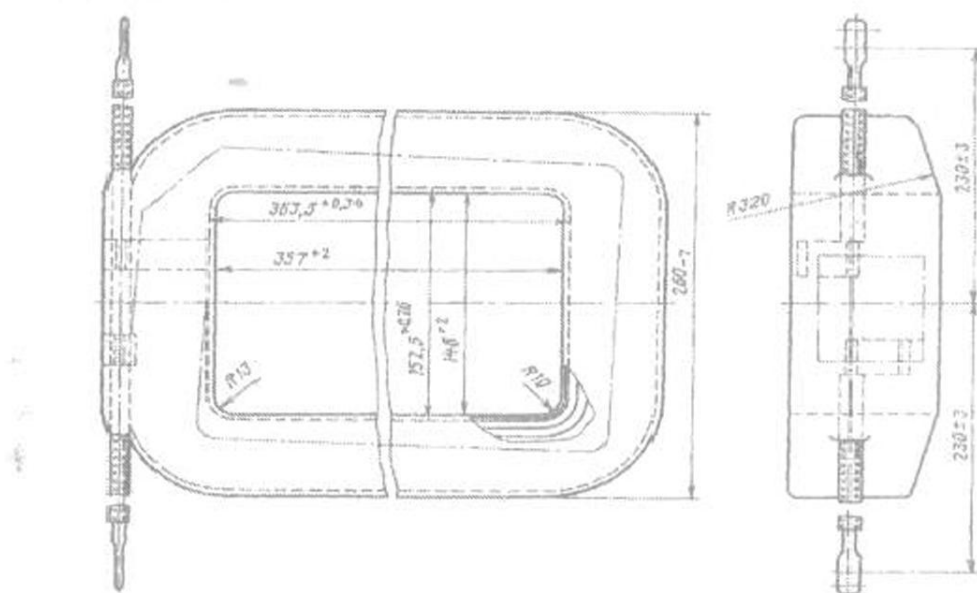
8.2-§. O'zgarmas tok yordamchi elektr mashinalarining konstruktiv xususiyatlari

EHTdagi o'zgarmas tok yordamchi mashinalari konstruksiyasi ularning tok qabul qilish tizimi va lokomotivda joylashish o'rniga bog'liq bo'ladi. Yordamchi mashinalarning elektrovoz kuzovida yoki elektropoyezd kuzovi tagida joylashishi ularning changdan va qordan mustahkam himoyasini

taminlay olmaydi. Shuning uchun EHTda mashinalar yopiq holda tayyorlanganlar yoki o'z-o'zidan shamollatiladigan yoki bog'liq bo'lmagan holda shamollatiladigan usullar qo'llaniladi.

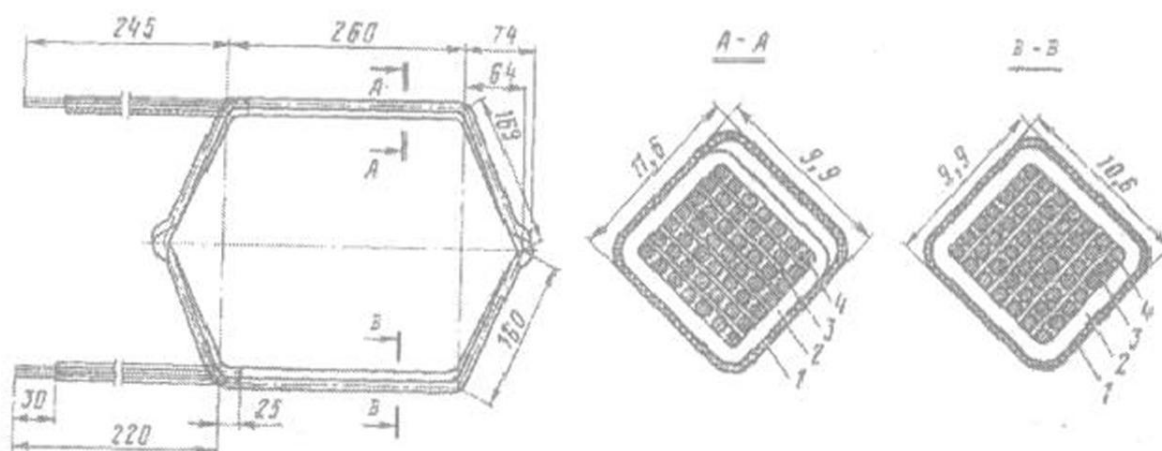
Yordamchi mashinalarga tortuv mashinalaridagi kabi ularning gabarit o'lshamlariga va og'irligiga qattiq talablar qo'yilmaydi. Shuning uchun yordamchi mashinalar loyihalashda ularning mustahkamligiga katta e'tibor qaratiladi. Bunday motorlarning quvvat birligiga to'g'ri keladigan og'irligi ko'pincha $25-30 \frac{\text{kg}}{\text{kVt}}$ oraliqda bo'ladi. Kuchlanishi 3000 V o'zgartgichli mashinali motorlarda $40-75 \frac{\text{kg}}{\text{kVt}}$ gacha to'g'ri keladi. Yuqori kuchlanishli o'zgarmas tokli yordamchi mashinalarda foydali ish koeffitsiyentini oshirish hal qiluvchi ahamiyatga ega emas, ko'p hollarda kuchlanishi 3000V bo'lganda ular dempferli qarshilikka qo'shilgandan $0,7 \div 0,8$ ni tashkil qiladi, qo'shilmaganda esa $0,78-0,84$ ni tashkil qiladi. Kichik quvvatli va yuqori kuchlanishli yordamchi mashinalar tortuv mashinalariga nisbatan aktiv materiallarni kam qabul qilishi bilan ham aniqlanadi. Masalan ularning chulg'amlarida tokning zichligi tortuv motorlariga nisbatan ancha kam bo'ladi (asosan yopiq holda ishlangan yordamchi mashinalarda).

Biroq, GOST-2582-81ga asosan yordamchi mashinalarning issiqqa chidamliligini oshirish uchun ularning chulg'amini tayyorlashda PSD, MGM, PETVSD o'tkazgishlarning B tipdagi izolyatsiyasi qo'llaniladi. Chulg'amlar zavodda ta'mirlashda A-tipdagi izolyatsiyali chulg'amni B-tipdagi izolyatsiyaliga almashtiriladi.



8.1-rasm. HB-431M motor-kompressor elektr motorining yakor g'altagi chulg'ami.

Ko'pincha yordamchi tortuv mashinalari kollektor plastinkalari orasidagi o'rtacha kuchlanish $\Delta U_{ko'r} = 38 \div 40 \text{ V}$ bo'ladi. $\Delta U_{ko'r}$ ning bunday qiymatini faqat yakor reaksiyasi asosiy maydonining silkitishi qiymatining pasayishi bilan yakorning to'g'ri chiziqli yuklamasining kamayishida foydalanish mumkin. Asosan bunday turdagi motorlarda yakorning ko'p chulg'amli to'plami qo'llaniladi, bu ularning aktiv va induktiv qarshiliklarini oshishiga va kommutasiya tokining kamayishiga sabab bo'ladi. Misol uchun elektrovozlar HB-431M turidagi kompressor elektr motorining yakor chulg'ami diametri 0,86 mm bo'lgan yetti parallel va yetti o'ramli PELSHD turdagi o'tkazgichdan iborat. Parallel o'tkazgishlar gorizonttal qatorlarda joylashtiriladi va o'ramlar vertikal bo'yicha o'rnatiladi va bir-biridan qalinligi 0,1 mm bo'lgan qistirma bilan ajratiladi.

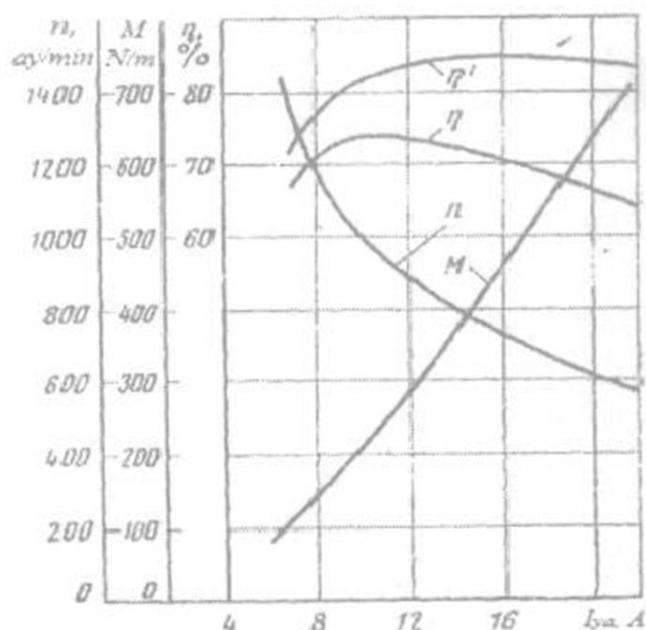


8.2-rasm. Motor –ventilyator elektr motorining bosh qutb g'altagi.

Qobiq izolyatsiyasi 1,2 slyudinit oynali lenta LS1K – 110-TTdan olti qatlamda qalinligi 0,11mmdan iborat, ftoroplast lentasining bir qatlami qalinligi 0,03mm va oynali lenta bilan bir qatlam yarim qobiqli qilib tayyorlanadi. TL-110M turidagi motor-ventilyatorning elektr motori bosh qutibi g'altagi PSD tipli 2,26x3,8 mmli to'g'ri burchakli mis o'tkazgichdan tayyorlanadi. Qobiq izolyatsiyasi F sinfida bo'lib, LS4ORu–TT oyna slyudinitli lentadan iborat. G'altak qutb o'zagi bilan EMT-1 epoksid birikmasidan to'yintirilgan va o'zida ajralmas blokni tashkil etadi.

Yordamchi elektr mashinalarning ishga tushirish xarakteristikasini va ishini stabillash uchun o'zgaruvchan kuchlanishda ularning magnit tizimlari past to'yingan qilib tayyorlanadi. HB-430 (8.3-rasm) tipdagi ventilyator motrining elektromexanik xarakteristikasi katta yumshoqlik bilan ajraladi, u asosiy qutb orasidagi katta havo bo'shlig'i va magnit tizimining past to'yinishida erishish mumkin. Kirish kuchlanishni aniq

rostlanishga mo'ljallangan mashinalarda asosan kam to'yingan bo'ladi (boshqarish generatorlari va uyg'otgichlarda).



8.3-rasm. $U_c=3000$ Vli HB-430 turdagi motor ventilyatorning elektromexanik xarakteristikasi.

Yordamchi mashinalarning loyihasini yengillashtirish uchun bevosita o'qga yakor o'zagi vtulkasiz plastinkalardan tayyolab o'rnatiladi hamda oynali lentadan bandajli qilish keng qo'llanilmoqda. Elektr mashinalarning kollektorini plastmassali qobiqdan tayyorlashda AG-4 plasstmassa qo'llanilmoqda. Elektr mustahkamligi 50Gs chastotada $13 \frac{kv}{mm}$ dan kam emas va zichligi $1,9 \frac{g}{cm^3}$ ni tashkil etadi.

8.3-§. Motor ventilyatorlar

Motor ventilyator – elektr motori va ventilyatordan iborat bo'lgan agregatdir. Ventilyatorlar – tortuv elektr motorlarni va boshqa elektr jihozlarni (elektr poyezdlarda bundan tashqari yo'lovchilar xonasini shamollatish uchun) majburiy shamollatish uchun ishlatiladi. EHTda real va o'qli turidagi ventilyatorlar qo'llaniladi. Ventilyatorlar hosil qilayotgan yuklama doimiy xarakterga ega. Shuning uchun ventilyatorlar elektr motorlari ko'p hollarda doimiy o'zgarmas yuklama bilan ishlaydigan boshqa mashinalarni yuritishda ham foydalaniladi, masalan, boshqarish generatorlari va boshqalar. Ventilyator elektr motorining quvvati jihozni sovitish uchun zarur bo'lgan havo sarfi Q va uning bosimi P bilan aniqlanadi. Mazkur ventilyator tizimi uchun umumiy havo sarfi.

$$Q = \sum \lambda_i Q_i \quad (8.2)$$

bunda, $\lambda_i = 1,15 \div 1,2$ – shamollatilayotgan obyektga havo yetib borishida yo'qotishni hisobga olish koeffitsiyenti, Q_i – bir obyektни shamollatish uchun zarur bo'lgan havo hajmi m^3/min . Ventilyator yordamida hosil qilinayotgan bosim, Pa.

$$P = \sum \Delta P_i \quad (8.3)$$

ΔP_i – havo quvurining i – uchastkada joylardagi havo bosimining yo'qolishi.

Ko'pincha kerakli bosim P_0 shamollatilayotgan obyekt uchun (tortuv elektr motorlari, transformator radiatori va boshqalar) ularning pasport ma'lumotlari yoki ventilyator xarakteristikalari yordamida beriladi. U holda ventilyatorning to'liq bosimi, Pa.

$$P = P_0 + A_0 Q^2 + \zeta \cdot v_{chiq}^2 \quad (8.4)$$

bu yerda: A_0 – havo uzatgichning aerodinamik doimiysi; V_{chiq} – shamollatilayotgan obyektдан havoning chiqish tezligi, m/s, $\zeta = \frac{\gamma_z}{(2g)}$ –

bu yerda, γ_z – havo zichligi, g – og'irlik kuchi tezlanishi.

Q va P ning aniqlangan kattaliklari asosida ventilyator turi aniqlanadi va yurituvchi motor quvvati aniqlanadi. O'zgarmas tok motori uchun quvvat, kVt:

$$P_{HB} = 0,736QP(60 \cdot \eta_v 75) \quad (8.5)$$

bunda, η_v – ventilyatorning f.i.k., sifat jihatidan uning g'ildiragi konstruksiyasiga bog'liq. Baraban turidagi ventilyatorlar uchun $\eta_v = 0,45 \div 0,55$, o'qli (propelerli) ventilyator turi uchun $\eta_v = 0,57 \div 0,73$ ga teng bo'ladi.

8.4-rasmda elektrovozlar ventilyatori motorining bo'ylama va ko'ndalang qirqimlari ko'rsatilgan. Motorning quvvati 53.1 kVt ni tashkil etadi. Asosiy va qo'shimcha qutblar g'altaklari F sinifidagi, yakor chulg'amlari esa B sinifidagi izolyatsiyaga ega.

Asosiy qutb g'altagi 14 to'g'ri burchakli o'lchami $2,26 \times 3,8$ mm bo'lgan PSD markali o'tkazgichdan o'ralgan qo'shimcha qutb g'altagi, 12

esa o'lchami $1,95 \times 3,8$ mm bo'lgan shu markadagi o'tkazgichdan o'ralgan.

G'altaklarning qobiqqa nisbatan izolyatsiyasi o'lchami $0,13 \times 25$ bo'lgan LSCHORu – TT oynaslyudenitli lentadan olti qatlamda yarim ustma-ust qilib bajarilgan. G'altak 13, 15 qutb o'zaklari bilan birga EMT-1 yoki EMT-2 epoksid kampaundi bilan to'yintirilgan va o'zida ajralmas blokni tashkil etadi.

Yakor chulg'ami 8 to'lqinsimon, u 43 g'altakdan iborat. Har bir g'altak 8 ta seksiyadan iborat bo'lib, PETVSD turidagi, diametri 1,4 mm bo'lgan aylana yuzali o'tkazgichdan tuzilgan.

Qobiq izolyatsiyasi qalinligi 0.11mm li LSIK-110-TT oynaslyudenitli lentadan olti qatlamli yarim ustma-ust qilib o'ralgan, bir qatlamni 0,03mm qalinlikdagi ftoroplast qatlamidan va bir qatlami 0,1mm qalinlikdagi oynali lentadan yarim ustma-ust qilib o'ralgan.

Cho'tka apparati 2 buriluvchi traversadan iborat bo'lib, unda 4ta izolyatsiyalangan barmoqlar mahkamlangan. Ularda o'lchami $10 \times 25 \times 50$ mm bo'lgan ET-61 cho'tka va cho'tka ushlagichlar bilan birga o'rnatilgan.

8.5-rasmga A32-2 turdagi uch fazali asinxron motorli MS-4 ventilyatorning umimiy ko'rinishi keltirilgan, 8.6-rasmda esa, havo uzatishning hosil bo'ladigan bosimga bog'lanishi keltirilgan.

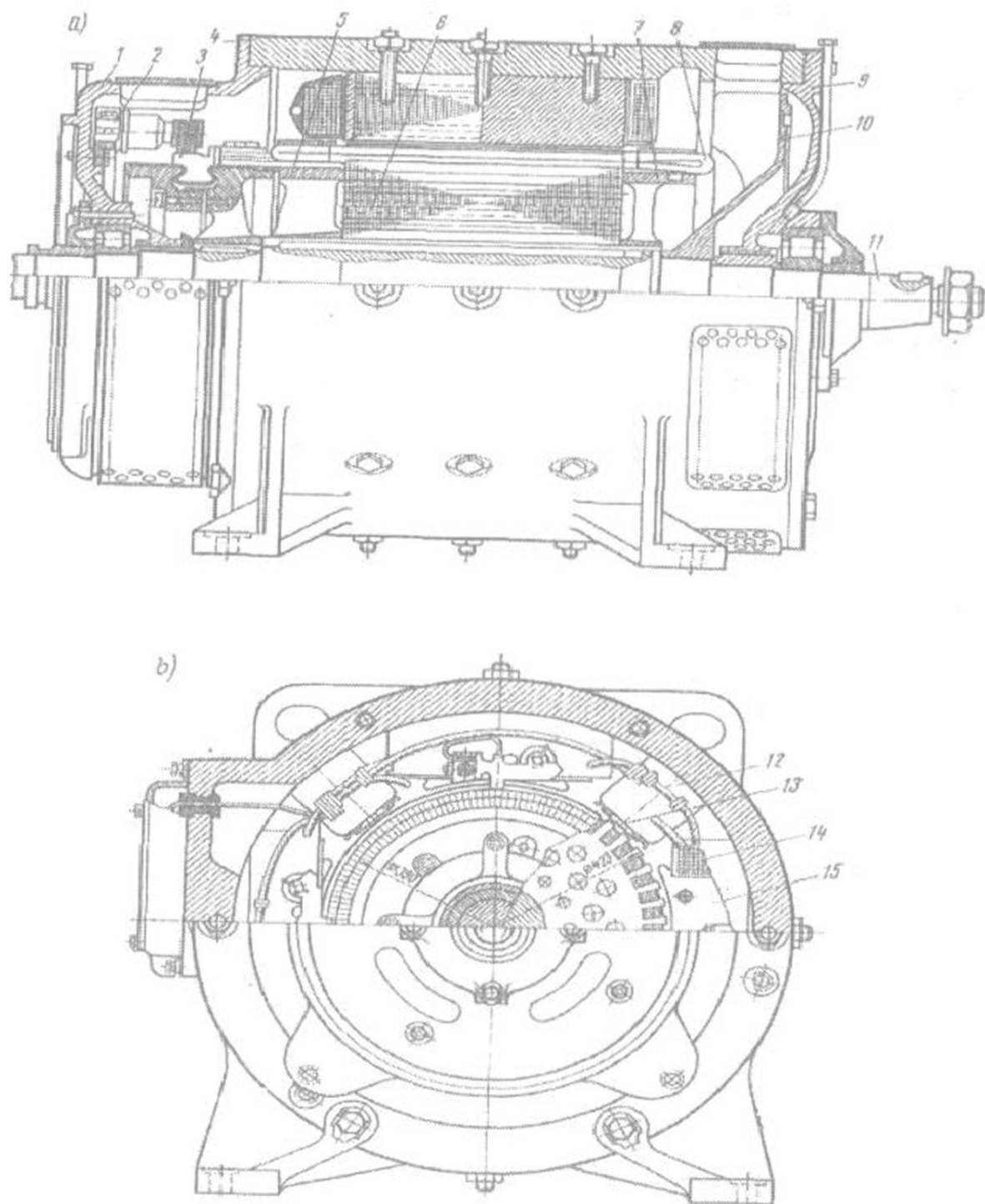
Sakkizinchi o'lchamli orttirilgan ishga tushirish momentli AE92-402 uch fazali asinxron mator, quvvati 40kVt, elektrovozlar VL80^s va VL80^p turdagi elektrovozlar ventilyator va kompressorlari yuritmasi sifatida qo'llaniladi. Shuning uchun u o'qda bir taraflama yoki ikki taraflama tayyorlanadi. Stator o'zagi ikki qatlamli, ilgakli bo'lib, H sinfidagi izolyatsiyadan tayyorlanadi. PSDK o'tkazgichidan tayyorlangan chulg'amlar joylashtirilgandan keyin ularning pazlari 3 marta KO-916K termoreaktiv lak bilan to'yintiriladi. Stator har bir to'yinishdan keyin issiqlik yordamida quritiladi. Rotor o'zagi izolyasion qoplamasi elektrotexnik po'latdan yig'ilgan. Rotor qisqa tutashtirilgan chulg'ami yuqori qarshilikdagi AQMI2-4 quyma alyumin eritmasidan iborat.

Motor ventilyatorlarning ishga tushirish toki nisbatan past va nominal tokning 15% gacha tashkil etadi. Motor chulg'amlari uchlarida eng kam ruxsat etilgan kuchlanish (kontakt tizimida kuchlanish tebranishida) ishga tushirish momenti bilan emas, balki motor yuzaga keltirayotgan moment yordamida yuzaga keltiradi, bunda kuchlanish ruxsat etilgan qiymatda bo'ladi.

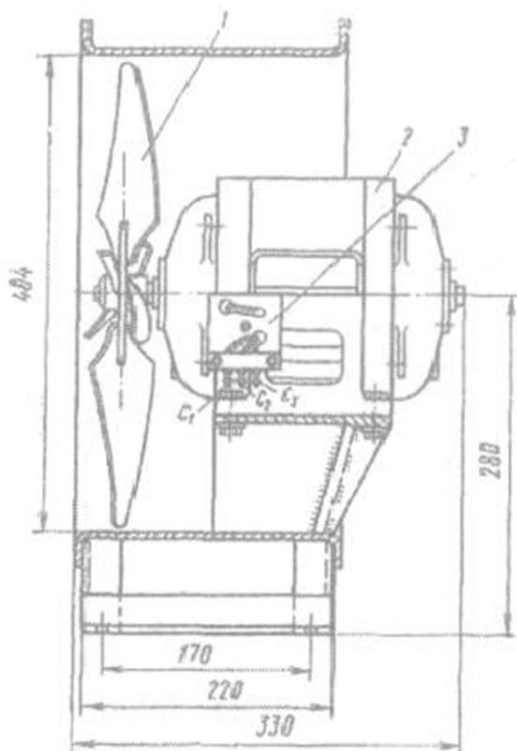
Bu moment quyidagi nisbat asosida aniqlanishi mumkin

$$\frac{M_{r \min}}{M_{r \text{ nom}}} = \frac{(1 - S_{r \min})^2}{(1 - S_{r \text{ nom}})^2} \quad (8.6)$$

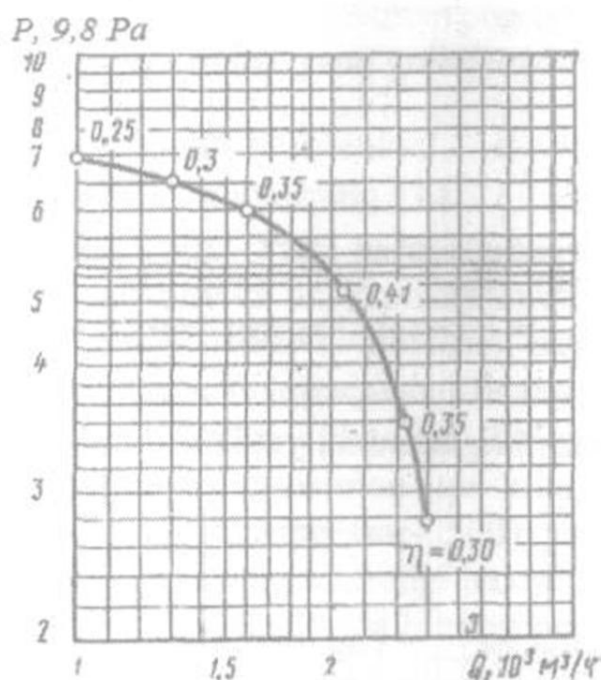
bunda, $M_{r \min}$ va $M_{r \text{ nom}}$ – turg'un rejimda eng kam ruxsat etilgan va nominal kuchlanishlardagi momentlar; $S_{r \min}$ va $S_{r \text{ nom}}$ – yuqoridagi shartlarga asosan rotorning sirpanishi.



8.4-rasm. Elektr motorning bo'ylama va ko'ndalang kesimi.



8.5-rasm. MS-4 o'qli ventilyator



8.6-rasm. Ventilyator yordamida hosil qilinayotgan bosimning uzatilayotgan havoga bog'lanishi

Ta'minlanayotgan kuchlanishning nosimetrikligini hisobga olganda sirpanish ko'pincha $1,5 \pm 2\%$ bo'ladi. S_{rmin} ning qiymatini mexanik xarakteristikaning ish rejimidagi qismida motor o'qidagi qarshilik momenti taxminan sirpanishga proporsional bo'ladi. Motor momenti mazkur holatda, ya'ni sirpanishda kuchlanishning kvadratiga proporsional bo'lsa qo'yidagiga ega bo'lamiz.

$$\frac{M_{rmin}}{(K_{nom}^2 M_{rnom})} = \frac{S_{rmin}}{S_{rnom}} \quad (8.7)$$

bunda, K_{nom} – eng kam kerakli kuchlanishning nominal kuchlanish nisbatiga bog'liq bo'lgan koeffitsiyent $K_{nom} = \frac{U_{min}}{U}$.

Yuqoridagi (8.6) va (8.7) tenglamalarni birgalikda yechib S_{rmin} va S_{rnom} lar orasidagi bog'lanishni hosil qilish mumkin.

$$S_{rmin} = \frac{K_{nom}^2}{2S_{rnom}} (1 - S_{rnom})^2 + 1 - \sqrt{\left[\frac{K_{nom}^2}{2S_{rnom}} (1 - S_{rnom})^2 \right] - 1} \quad (8.8)$$

Tenglamadagi ildizdan oldingi “-” minus ishorasi agar ildizdagi qiymatning musbat qiymatida $S_{rmin} > 1$ bo'ladi, bu motor rejimiga to'g'ri kelmaydi. S_{rmin} ning kattaligiga asosan ventilyator uchun uch fazali

asinxron motorning hisoblangan quvvatini uning chulg'amlaridagi kuchlanishning pasayishini hisobga olgan holda quyidagiga ega bo'lamiz.

$$P_{nv} = P_{nv} \frac{\lambda_{\min} \cdot \lambda_a \cdot (1 - S_{r\min})^2}{\lambda_{nom} \cdot K_{nom}^2 (1 - S_{rnom})^2} \quad (8.9)$$

bunda: P_{nv} – motorning (8.5) tenglama bilan aniqlanadigan quvvati;
 $\lambda_{\min} = 1,3 \div 1,4$ harakat tarkibning ish sharoitidagi motorning eng kam yuklanish darajasi; $\lambda_a = 1,2 \div 1,5$; $\lambda_{nom} = 1,8 \div 2,4$ nominal sharoitda motorning nominal yuklanish darajasi.

$$\lambda_{\min} = \frac{M_{\delta\min}}{M_r} \quad \text{va} \quad \lambda_a = \frac{M_{nz}}{M_{na}},$$

bunda, $M_{\delta\min}$ – eng kam kuchlanishdagi eng katta aylanuvshi moment, M_r – og'ir sharoitdagi motorning ishchi momenti (masalan past temperatura) M_{nz} – nominal sharoitdagi eng yuqori aylanuvchi moment (simmetrik va nominal kuchlanishda). M_{na} – nosimmetrik rejimdagi eng yuqori moment.

8.4-§. Motor kompressorlar

Motor kompressorlarda motor va kompressor birlashtiriladi (masalan elektr poyezdlar uchun elektr motor DK-406 va kompressor E-400) yoki ularni umumiy bir montaj plitasiga o'rnatiladi (elektrovozlar uchun kompressorlar KT-6, E-500). Kompressorning kerakli unumdorligi Q l/min, havoning o'rtacha sarfi Q_{or} bo'yicha va hisobiy qo'shilish davomiyligi QD bilan aniqlanadi, yani $Q = Q_{or} / QD$. Bir kompressorli lokomotivlar uchun $QD=0,25$ ikki kompressorlida esa $QD=0,5$. Kompressorning kerakli unumdorligi bo'yicha uning turi va yurituvchi motorning boshqa parametrlari hisoblanadi. Kompressor yuritmasi uchun kerakli quvvat quyidagi tenglama bilan hisoblanadi.

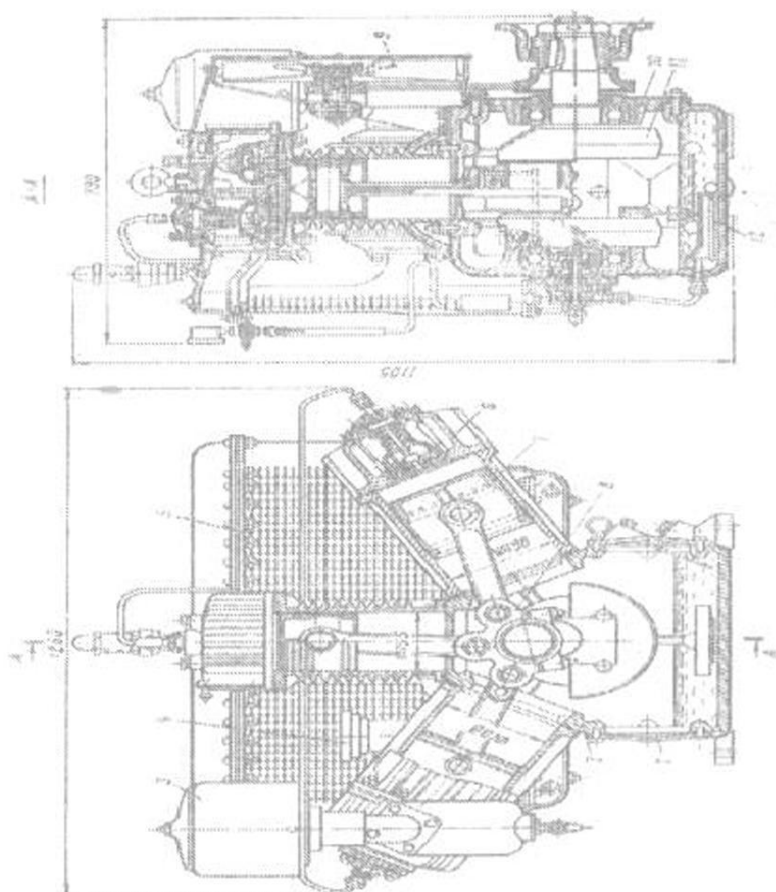
$$P_k = \frac{3,77 \cdot 10^3}{\lambda \cdot \eta_{i,jz} \cdot \eta_m} \cdot Q p_{sur} \lg \frac{p_{chiq}}{p_{sur}} \quad (8.10)$$

bunda, p_{sur} va p_{chiq} – mos holda suriladigan va uzatiladigan havoning bosimi. λ – surishda va uzatishda havoning yo'qolishini hisobga oluvshi koeffitsiyent ikki pog'onali kompressorlarda $\lambda = 0,68 \div 0,78$ bir pog'onali

kompressorlarda $\lambda = 0,58 - 0,74$, $\eta_{i.lz} = 0,72$, ikki pog'onali, bir pog'onali $\eta_{i.lz} = 0,67$, $\eta_{im} = 0,8 \div 0,85$ – mexanik f.i.k.

O'zgarmas tokda kompressorning motori nominal quvvati $P_{knom} = P_k / \eta = U_k I / (1000\eta)$ bunda, $\eta = 0,78 \div 0,82$ – motorning f.i.k.

EHTda porshenli kompressorlar qo'llaniladi. Past harakatlanuvchi tirsakli o'qining aylanish tezligi 250-300 ayl/min va tez harakatlanuvchi aylanish chastotasi 900 ayl/min bo'ladi. Birinchi holda kompressor elektr motorga tishli uzatma bilan biriktiriladi, ikkinchi holda esa mufta orqali biriktiriladi. Asosiy idishdagi (rezervuaridagi) bosim 10 kgs/sm^2 bo'lgan elektrovozlarda ikki pog'onali kompressorlar to'lqinsimon quvurlarda havoni oraliq sovutgich yordamida qo'llaniladi (kompressor- 500) yoki sovutgichlarda (kompressor 1KT va KT-6). Elektr poyezdlardagi havoning rezervuardagi nominal bosimi 784 kPa dan oshmaydiganlarda bir pog'onali kompressorlarni qo'llashga imkon beradi. Agar kompressor yuritish motori asinxron motor bo'lsa, unda yuqori sirpanishli AE turdagi ventilyator konstruksiyasiga mos keladigani tanlanadi.



8.7-rasm. KT6-El kompressori.

Motor-kompressorning xususiyatlarini hisobga olib ularning nominal quvvati asinxron motorlar uchun, kVt.

$$P_{nkk} = P_{nk} \lambda_m \lambda_a / (K_n^2 \lambda_n) \quad (8.11)$$

bunda, λ_m, λ_a va λ_n – ventilyatorlardagi koeffitsiyentlar kabi aniqlanadi.

Zaruriy quvvat P_{nkz} va ta'lab etiladigan aylanish chastotasi bo'yicha uch fazali asinxron motor tanlanadi va lokomotiv tok qabul qilgichidagi kuchlanishni kritik qiymatini U_{tkr} aniqlaydi, undan pasti mashinaning "ishdan chiqishiga,, (ag'darilishiga) olib keladi.

$$U_{tkr} / U_{tnom} = (U_{mkr} + I_k \cdot Z_k) / U_{mnom} \quad (8.12)$$

bunda: $U_{mnom} - U_{trk}$ va U_{tnom} kuchlanishlarga mos keluvchi transformatorning yordamchi chulg'amlaridagi kuchlanishlar; I_q va r_q – yordamchi chulg'amdan iste'mol qilinayotgan to'liq tok va uning qarshiligi.

Agar mashina chulg'ami uchlaridagi eng kam ruxsat etilgan kuchlanishda nominal kuchlanish qismi ko'rinishi aniq bo'lsa ($U_{min} = K_n U_{mnom}$) va o'ta yuklanish xususiyati aniq bo'lsa ($\lambda_m = M_{\delta min} / M_{rmin}$), y holda kuchlanish

$$U_{min} / U_{mkr} = \sqrt{M_{\delta min} / M_{\delta kr}} \quad (8.13).$$

bunda, $M_{\delta min}$ – motorning eng kam ruxsat etilgan kuchlanishning eng yuqori momenti; $M_{\delta kr}$ – asinxron motorning kritik kuchlanishdagi eng yuqori momenti.

Shuning uchun kritik kuchlanish, V:

$$U_{trk} = \frac{U_{tnom}}{U_{mnom}} \left(\frac{K_n \cdot U_{mnom}}{\sqrt{\lambda_m}} + I_q r_q \right). \quad (8.14)$$

Bu kuchlanish o'zgaruvchan tok kontakt tarmog'idagi kuchlanishning minimal qiymatini aniqlaydi.

8.5-§. Motor nasoslar

Elektr harakat tarkibida markazdan qochma nasoslar eng ko'p qo'llaniladi. Ular uch fazali asinxron motorlar yoki akkumulyator batareyasidan ta'minlanadigan o'zgarmas tok motorlari yordamida harakatga keltiriladi.

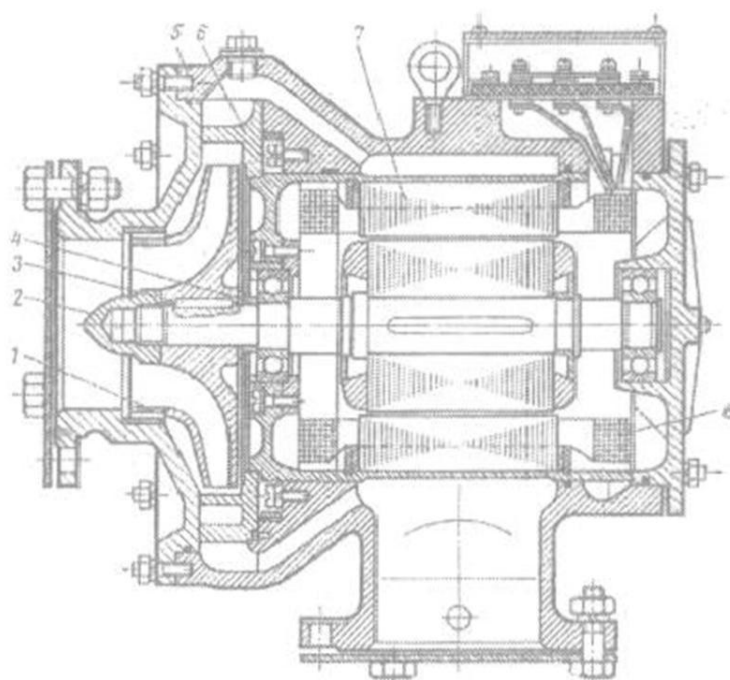
Motor nasoslarning parametrlari ham motor ventilyatorlarniki kabi aniqlanadi. Oldin sovituvchi suyuqlik yoki yog'ning umumiy sarfi aniqlanadi va shunga asosan markazdan qochirma nasos turi tanlanadi. Hamda motor o'qiga qo'yiladigan kerakli quvvat quyidagi tenglama yordamida aniqlanadi.

$$P_n = \gamma QH / (102\eta) 10^3 \quad (8.15)$$

bu yerda, γ – 1m^3 suyuqlik massasi yoki solishtirma og'irlik; H – suyuqlikning to'liq bosimi, m; $\eta = 0,5 \div 0,8$ nasosning f.i.k.

O'zgarmas tok motori quvvati nominal quvvatga nisbatan 10-15% yuqori tanlanadi. Asinxron motor yordamida yuritiladigan nasoslarning quvvati motor ventilyator motori quvvatini aniqlash tenglamasi yordamida aniqlanadi.

$$P_{nom} = P_{mas} \frac{\lambda_m \cdot \lambda_a (1 - S_{rmin})^2}{\lambda_n K_n^2 (1 - S_m)^2} \quad (8.16)$$



8.8-rasm. CHTT-63/10 elektr nasosining ko'ndalang kesimi.

Uch fazali asinxron motorli nasoslarning past quvvatlisini faza ajratgichlar yordamida ta'minlaganda stator chulg'amiga qo'yiladigan ruxsat etiladigan yuklamaga asosiy e'tibor qaratish lozim bo'ladi. Kontakt tizimidan ta'minlanadigan yordamchi mashinalar yuritmasi uchun o'zgarmas tok motoridan foydalaniladi (asosan Π -seriyadagi motor), ularning kuchlanishi 50 V bo'lib, akkumlyator batareyalaridan ta'minlanadi.

8.6-§. Faza ajratgichlar

Faza ajratgichlar elektr harakat tarkibida uch fazali asinxron motorlarni energiya bilan ta'minlash uchun ishlatiladi. Faza ajratgichlar—asinxron yoki sinxron mashinalar kabi bo'ladi. Sinxron faza ajratgichlar statorida bir-biriga nisbatan 90° joylashgan ikkita 1 va 2 chulg'amlar o'ralgan sinxron mashinadan iborat bo'ladi. Faza ajratgichning 1 motor chulg'ami transformatorning o'z-o'zini ta'minlash chulg'aming oxiriga ulanadi, a 2 generator chulg'ami transformator chulg'amlarining o'rtasiga a-nuqtada ulanadi. Ko'pincha $\omega_2 = (0,9 \div 1,0)\omega_1$ qabul qilinadi. Mashinaning rotor qutb tizimi va tinchlantiruvchi panjaradan iborat bo'ladi. Rotorning qutb chulg'amlari o'zgaras tok manbasidan energiya bilan ta'minlanadi. Rotorning aylanishida 1 va 2 chulg'amda E_1 va E_2 bir-biridan 90° surilgan EYUKlar hosil bo'ladi va ular stator chulg'aming joylashishiga bog'liq bo'ladi.

$$E_1 = 4,44 f \Phi \omega_1 K_{\omega 1} \quad (8.17)$$

$$E_2 = 4,44 f \Phi \omega_2 K_{\omega 2} \quad (8.18)$$

bunda, $K_{\omega 1} = K_{p1} K_{y1}$ va $K_{\omega 2} = K_{p2} K_{y2}$, 1 va 2 chulg'amlar chulg'am ko'effitsiyenti.

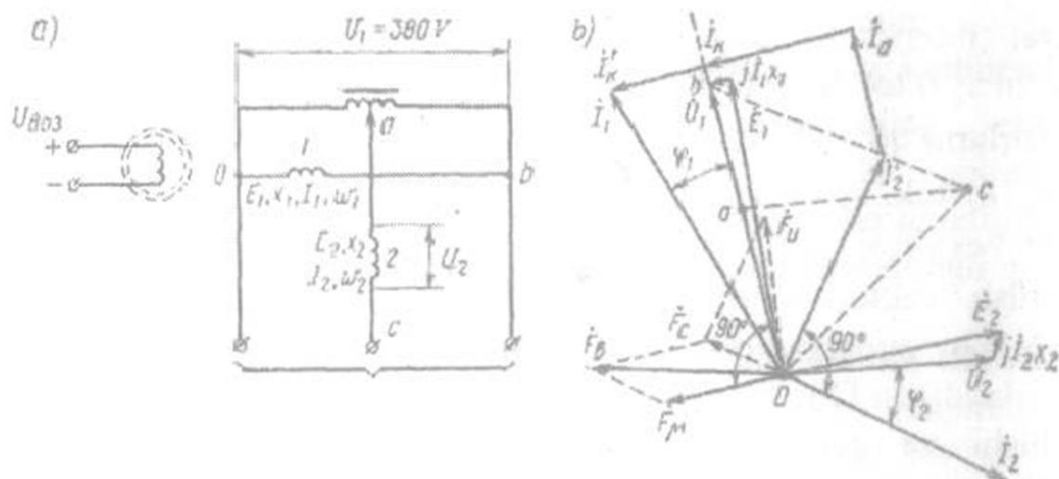
1 va 2 chulg'amlarning qisqartirish ko'effitsiyenti.

$$K_{q1} = \cos \frac{\pi}{2\tau} (\tau - q_1); \quad K_{q2} = \cos \frac{\pi}{2\tau} (\tau - q_2),$$

1 va 2 chulg'amlarning taqsimlash ko'effitsiyenti.

$$K_{y1} = \frac{\sin(2_1 x_1 / 2)}{2_1 \cdot \sin(x/2)}; \quad K_{p2} = \frac{\sin(2_1 x_1 / 2)}{2_1 \cdot \sin(x/2)};$$

bunda, q_1 va q_2 1 va 2 faza chulg'amlarining va qutblardagi pazlar soni; $\alpha_1 = \frac{\pi}{Q_1}$ va $\alpha_2 = \frac{\pi}{Q_2}$ (bu yerda Q_1 va Q_2 —1 va 2 chulg'amlarga mos holda statorning qutbidagi pazlarning to'liq soni).



8.9-rasm. Sinxron faza ajratgichlar sxemasi (a) va (b) vektor diagrammalari.

Generatorli 2 chulg'am bo'ylab uch fazali motor qabul qiladigan chiziqli tok I_2 o'tadi. Bu holda generator fazali U_2 kuchlanishi va uning toki I_2 lar orasidagi fazalar surilishi motorlarning parametrlari va ish rejimlariga bog'liq. Agar E_2 vektoridan induktiv kuchlanish vektori jI_2X_2 ni ayirib tashlansa, u holda U_2 kuchlanishni olamiz. Tok I_2 -generatorniki bo'lganligi uchun, motorning 1 chulg'ami I_2 tok bilan hosil qiladigan tormozlovchi momentni kompensatsiya qiluvchi transformatorlardan motor tokini I_2' ni qabul qilishi lozim. Chulg'am 2 ga keltirilgan motor tokini $K_{w_1} = K_{w_2}$ deb hisoblab aniqlash mumkin.

$$I_2' = I_2 w_2 / w_1 \quad (8.19)$$

Tok I_2' fazalar bo'yicha I_2 tokdan 90° oldinda yurishi lozim, chunki faqat shu shartga asosan quyidagi tenglik bajariladi $\dot{E}_2 \dot{I}_2 + \dot{E}_1 \dot{I}_2' = 0$.

I_2' tokdan tashqari faza ajratgich transformatoridan I_2 aktiv tok po'latdagi isroflarni, mexanik isroflarni va mashina o'qidagi yuklamani kompensatsiyalaydi.

$$I_a = \frac{(P_{yu} + P_{o'q})}{U_1} \quad (8.20)$$

bunda, P_{yu} — salt yurish quvvati, Vt; P_{yu} — po'latdagi isrof bilan, dempfer turidagi mexanik isroflari bilan aniqlanadi, ko'pincha uni mashina nominal quvvatining 3 — 5 % ga teng qilib olinadi; $P_{o'q}$ — o'qdagi quvvat, Vt.

I_a vektori motor chulg'ami 1 bilan kuchlanish fazasi orasida bo'ladi. Tok va kuchlanish orasidagi faza surilish burchagini kompensatsiyalash uchun motor chulg'ami oldinga yuruvchi reaktiv I_k tokini so'ndirishi lozim, a

asinxron motorning orqada qoluvchi generator chulg'ami 2 yonida bo'luvchi I_k 0 tok ham U_1 kuchlanishdan 90° ga oldinga bo'ladi. I_2, I_a, I_k va I_k vektorlarni qo'shib faza ajratgich motor chulg'aming I_1 toki vektorini olamiz. I_1 tok vektoriga motor chug'amidagi kuchlanishning induktiv tushishi vektorini $jI_1 X_1$ perpendikulyar joylashtirib, shu chug'amdagi U_1 kuchlanish vektorini topamiz. U_1 kuchlanish vektoriga yotuvchi U_2 vektorini a nuqtaga o'tkazish bilan uch fazali tizim kuchlanishini xarakterlaydigan Obc uchburchakni olamiz. Transformatorning a nuqtasini joylashishi va generatorning 2 fazasi o'ramlar soni shunday qabul qilinadiki, ma'lum yuklamada uch fazali kuchlanish tizimi eng ko'p simmetrik holda bo'lsin. Chunki, yuklama qiymatining o'zgarishi bilan simmetrik sharti buziladi, simmetriklikni doimiy ushlab turish uchun a nuqtaning o'rnini o'zgartirib turish ko'zda tutiladi. Obc kuchlanish uchburchagini ko'rib, kuchlanishning to'g'ri va teskari ketma-ketligining tashkil etuvchilari va simmetriklikni buzilishiga ta'sirini aniqlash mumkin. Faza ajratgichning 1 va 2 chulg'amlaridan faza bo'yicha siljishi 90° ga teng bo'lmagan har xil tok o'tganligi sababli, mashinada yakor reaksiyasining sinxron maydoni bilan birga inversli maydon yuzaga keladi.

Chulg'am 1 dan motor toki a chulg'am 2 dan generator toki o'tayotganligini hisobga olib, qutbdagi yakor reaksiyasining sinxron MYUK ni topish mumkin:

$$F_c = \frac{1}{4P} 1,8(\dot{I}_1 w_1 k_{w_1} - j \dot{I}_2 w_2 k_{w_2}) \quad (8.21)$$

F_c kuchni F — oqim bilan aniqlanadigan F_μ magnit yurituvchi kuch bilan qo'shib, qo'zg'atish chulg'aming zarur bo'lgan MYUK F_q ni aniqlaymiz. Invers maydon MYUK

$$F_i = \frac{1}{4P} 1,8(\dot{I}_1 w_1 k_{w_1} + j \dot{I}_2 w_2 k_{w_2}) \quad (8.22)$$

bu MYUK, amalda rotorning dempfer to'rida to'liq so'ndiradi. Faza ajratgichga ulangan motorlarning aktiv quvvati, $P_a = \sqrt{3}U_1 I_2 \cos \varphi_2$, reaktiv quvvat $P = \sqrt{3}U_1 I_2 \sin \varphi_2$.

Generator chulg'ami kuchlanishi U_2 ning qiymati $U_2 \approx \frac{\sqrt{3}}{2}U_1$ ga yaqin bo'ladi. Shunday qilib, $P_a = 2U_2 I_2 \cos \varphi_2$.

Generator chulg'ami orqali taxminan asinxron mashinalar iste'mol quvvatning yarimi beriladi. Quvvatning ikkinchi yarmini bevosita transformator orqali faza ajratgich bog'liq bo'lmagan holda qabul qiladi.

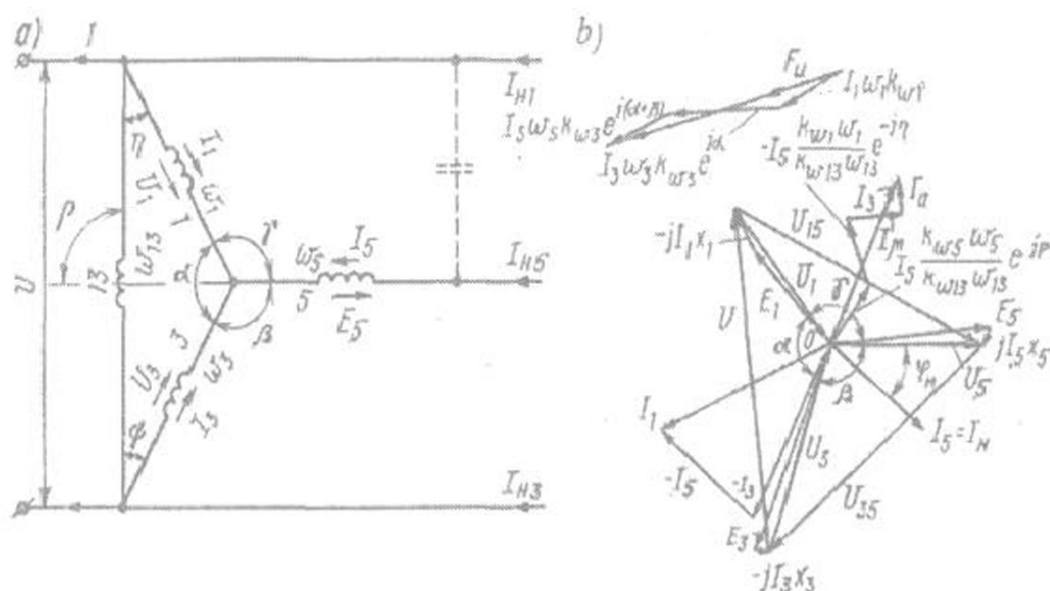
Sinxron faza ajratgichlarning sifatli tomonlari rotorning qo'zg'atish kuchlanishini U_{qoz} o'zgartirish bilan faza burchagi φ_2 ni kompensatsiya qilish imkoniyatining mavjudligidir. Bu qurilmaning energetik ko'rsatkichlarini sezilarli darajada yaxshilaydi. Bunda sinxron faza ajratgichlar konstruktiv jihatidan asinxrondan murakkab bo'lganligi uchun, ulardan yordamchi mashinalarni ta'minlash uchun asinxronga nisbatan kam foydalaniladi.

Asinxron faza ajratgichlar – asinxron mashina bo'lib, bir vaqtning o'zida bir fazali motor va uch fazali generator funksiyalarini bajaradi.

Faza ajratgichning stator chulg'ami qutb va fazoda bir xil pazlar bo'lmagan uch fazali nosimmetrik yulduz ko'rinishida, biroq g'altak guruhida bir xil sondagi o'ramlardan tayyorlanadi.

Yulduzning ikki fazasi C1-M va M- C2 (8.10-rasm) motor chulg'amini tashkil etadi, uchinchi faza C3- C4-generator chulg'amini tashkil etadi. Motor chulg'am transformatorning o'z ehtiyojini ta'minlash chulg'amiga ulangan va mashinani aylantirish uchun xizmat qiladi. Generator chulg'ami uchinchi fazani tashkil qiladi va motor chulg'amiga kuchlanishni eng yaxshi simmetriyasini ta'minlovchi nuqtasiga faza atratgichining chiqishiga aniq yuklama ulanadi. Agar motor chulg'amidan bir fazali sinusoidal tok o'tsa, mashinaning magnit tizimida sinusoidal qonun bo'yicha o'zgaradigan magnit oqimi yuzaga keladi. Shunday qilib, aylanuvchi emas, pulsatsiyalanuvchi maydon hosil bo'ladi. Bunday magnit maydon teskari tomonga aylanuvchi maydon bilan aylantirilishi mumkin: to'g'ri tomonga va teskari tomonga. Qo'zg'almas rotorda bu ikkala maydon ham hech narsa bilan kompensatsiya qilinmagan va mashina ishga tushirish momentiga ega bo'lmaydi. Agar rotorni sinxron tezlikka yaqin tezlikka qandaydir olib kelinsa, u holda undagi rotor chulg'ami hosil qilgan chulg'ami asosan statorning to'g'ri maydoni tomon aylanadi, teskari maydon to'liq kompensatsiyalanadi. Shuning uchun to'g'ri maydon bilan hosil qilinadigan aylanuvchi moment rotorni yo'naltirilgan tomonga aylanishni ta'minlaydi.

Teskari maydon kompensatsiyasini to'liq ta'minlash uchun va rotor turidagi energiya isrofini kamaytirish uchun qisqa tutashtirilgan o'zak turi eng kam aktiv qarshilik bilan bajariladi. To'g'ri magnit maydon generator chulg'amini kesib o'tib, unga EYUKni hosil qiladi. Motor va generator chulg'amlaridagi kuchlanishlar yordamchi mashinalar asinxron motorlari qo'shiladigan uch fazali tizimni tashkil etadi. Nosimmetrik yuklamada uch fazali tizimdagi chiziqli toklari har xil bo'ladi. Bu holda tizimning yig'indi quvvati uch fazalar quvvatlarining yig'indisiga teng bo'ladi.



8.10-rasm. Faza ajratgich stator chulg'amini hisoblash sxemasi (a) va vektor diagrammasi. (b) Fazalar o'rtasidagi burchak

Motor fazasi C1- M2 ni 1 raqami bilan; M2- C2 ni 3 soni bilan va generator chulg'amini C3- C4 ni 5-soni bilan belgilaymiz. Bu chulg'amlar qutb va fazalarda har xil pazlar sonidan iborat; q_1, q_2 va q_5 . 8.10, a-rasmda faza ajratgich stator chulg'amining tarmoq va fazalar yuklama toki va kuchlanishlarining hisoblash sxemasi keltirilgan. Motor fazalari 1 va 3 ni fiktiv ekvivalent faza 13 bilan almashtirish mumkin, u holda effektiv o'ramlar soni $K_{w13} \cdot w_{13} = (w_1 + w_3)$ (bunda, K_{w13} — fiktiv faza chulg'am ko'effitsiyenti w_1 va w_3 — motor 1 va 3 fazalari o'ramlar soni). 1, 3 va 5 fazalarning chulg'am ko'effitsiyentlari faza oraliqlari 60° bo'lgan uch fazali chulg'am uchun bo'lgani kabi aniqlanadi. Fiktiv faza 13 ning chulg'am ko'effitsiyenti 120° oralig'iga joylashgan 0,8ga yaqin, chunki, ularning taqsimlanish ko'effitsiyenti

$$K_{T12} = \frac{\frac{\sin \pi}{2} \frac{q_{13}}{q_1 + q_3 + q_5}}{\frac{q_{13} \sin \pi}{2q_1 + q_3 + q_5}} \quad (8.23)$$

bunda, $q_{12} = q_1 + q_3$

Fazalar o'rtasidagi burchak (8.10,b -rasm)

$$p = \frac{\pi}{2} \quad \alpha = \frac{\pi}{2 \left(1 + \frac{q_5}{q_1 + q_3 + q_5} \right)}$$

$$\eta = \frac{\pi}{2} \frac{q_2}{q_1 + q_2 + q_3};$$

$$\beta = \frac{\pi}{2 \left(1 + \frac{q_1}{q_1 + q_2 + q_3} \right)};$$

$$\psi = \frac{\pi}{2} \frac{q_1}{q_1 + q_2 + q_3};$$

$$\gamma = \frac{\pi}{2 \left(1 + \frac{q_2}{q_1 + q_2 + q_3} \right)};$$

Motorli fiktiv faza 13 transformator chulg'amidan magnit tizimga bog'liq bo'lgan magnitlanish to'ki I_μ ni iste'mol qiladi va aktiv tok I_a – po'latdagi mexanik, rotordagi teskari maydonning va faza o'qidagi mexanik yuklamalarning isroflarini kompensatsiyalaydi.

$$I_a = \frac{(P_{\text{cyu}} + P_q)}{U} \quad (8.24)$$

Sinxron faza ajratgich kabi, motorning fiktiv chulg'ami 13dagi tok, yana I_1 tokning tormozlovchi momentini kompensatsiyalash zarur va undan $p=90^\circ$ burchakka oldinda bo'lishi zarur. Fiktiv faza 13ning magnit yurituvchi kuchi

$$F_{13} = I_\mu W_{13} K_{113} + I_a W_{13} K_{113} + I_3 K_{113} W_3 \cdot e^{i\varphi} \quad (8.25)$$

Haqiqatda bu MYUKni va 3 fazalardagi toklar hosil qiladi va 7.15,a - rasimga asosan

$$F_{1,3} = -I_1 K_{111} W_1 e^{-i\eta} + I_3 K_{113} W_3 e^{i\varphi} \quad (8.26)$$

8.10,a-rasmdan ko'rinadiki $I_1 + I_3 + I_5 = 0$ yoki $I_1 = -I_3 - I_5$ bo'ladi. Shundan foydalanib tok va kuchlanishni aniqlash mumkin.

Faza ajratgichning to'liq yuklama quvvati, kVt

$$P = \sqrt{(\sum P_{ai})^2 + (\sum P_{pi})^2} = \sqrt{(\sum P_{ai})^2 + (\sum P_{ai} \operatorname{tg} \varphi_i)^2}$$

bunda, $\sum P_{ai}$ va $\sum P_{pi}$ – yuklama barcha elementlarining aktiv va reaktiv quvvatlari yig'indisi; φ_i – yuklamaning i-chi elementi uchun kuchlanish va tok orasidagi faza bo'yicha surilish burchagi.

Undan yuklama toki, A:

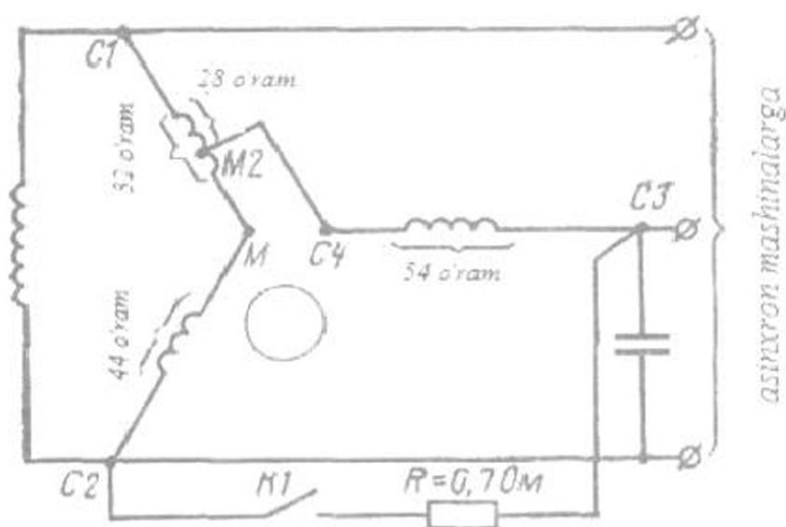
$$I_{\text{yu}} = 10^3 P / (\sqrt{3} U_n)$$

Yuklama toki bo'yicha $I_{\text{yu}} = I_5$, uch fazali tok tomonidan berilgan ma'lum yuklamada $\cos \varphi_{\text{yu}}$, oldindan qabul qilingan fiktiv faza 13 dagi

EYUK. $E_{13} \approx 0,95U$ va generator fazasi 5 dagi EYUK E_5 uchun I_5 tok vektorini qurish mumkin.

$$E_5 = E_{13} K_{\omega 5} \omega_5 / [(\omega_1 + \omega_5) K_{\omega 13}]$$

E_5 vektori f oxiridan I_5 vektorining oxiriga perpendikulyar holda 5 chulg'amdagi $jI_5 x_5$ ga teng induktiv kuchlanish pasayishi (kuchlanishning aktiv pasayishi kamligi tufayli hisobga olmasa ham bo'ladi), keyin kuchlanish U_5 vektori topiladi. (8.27) tenglamaga asosan motor fazasi 3 ning I_3 vektorini tashkil etuvchi tok vektorini hisoblanadi va ko'riladi. $I_1 = -I_3 - I_5$ tenglamaga asosan ko'rish bilan 1 fazaning I_1 toki aniqlanadi.



8.11-rasm. HB-455 faza ajratgich stator chulamini ulashning prinsipial sxemasi.

1 va 3 fazalar EYUK E_1 va E_3 o'ramlar sonining nisbati bilan aniqlanadi va E_3 vektoriga β, φ_n burchak o'stida joylashtiriladi.

E_1 va E_3 vektorlarining oxiriga I_1 va I_3 tok vektorlariga perpendikulyar yo'nalgan kuchlanishning induktiv pasayishlari joylashtiriladi. U_1 va U_3 faza kuchlanishlari hamda U, U_{15}, U_{35} tormoz kuchlanishlari aniqlanadi. Ko'pincha diagramma qurishda korrekcirovka qilish talab etiladi, chunki qurish boshlanishida yning aniq joylashishi bo'lmaganligi uchun I_n tok U vektori bilan bir fazada bo'lishi ta'lab etiladi.

1, 3 va 5 fazalardagi o'ramlar sonini tanlash bilan nominal yuklamada uch fazali tizim nosimmetrikligining eng kam qiymatiga erishish mumkin.

Faza ajratgichda uch fazali kuchlanish simmetrikligini ta'minlash uchun chulg'amning induktiv qarshiligi ta'sirini kamaytirish uchun va yordamchi mashinalarning ishga tushirish sharoitlarini yaxshilash uchun

generator fazasi 5 va motor fazasi 3 o'rtasiga (C2 va C3 qismalar o'rtasida) (8.11-rasmga qarang) kondensator ulanadi. Bu tizimning quvvat koeffitsiyentini oshirishga ham imkoniyat yaratadi, tokni pasaytiradi, shu bilan birga ajratgich fazalaridagi kuchlanish pasayishini ta'minlaydi, chunki sig'im toki generator fazasidan oqayotgan induktivlikni kompensatsiyalaydi. Faza ajratgich yuklamasi ishlash davomida o'zgarmas bo'lib qolmaydi va yordamchi mashinalar bilan birga qo'shiladi va u faza ajratgichning har xil yuklamada faza kuchlanishlarini stabilizatsiya qilishga imkon yaratadi.

Qisqa tutash rotordagi qarama-qarshi maydon ta'siridan isroflarni aniqlash uchun uning MYUKni topish kerak bo'ladi. I_1 va I_3 toklar motorniki, a I_5 – generatorning MYUK qutbiga taalluqli bo'ladi.

$$F_1 = \frac{1}{6p} 2.7(I_1 k_{w1} w_1 + I_3 k_{w3} w_3 e^{j\alpha} + I_5 k_{w5} w_5 e^{j(\alpha+\beta)}) \quad (8.27)$$

bundan, $I_1 = 2p \frac{F_1}{0.45z_2}$ va $P_1 = (pI_1)^2 \frac{z_2}{p} r_2$

bu yerda: z_2 – faza ajratgich rotoridagi pazlar soni; z_2 – dempfer chulg'ami fazalaridagi aktiv qarshilik.

Faza ajratgichlarni loyihalashda faqatgina yordamchi mashinalarning normal ishlashida uch fazali kuchlanishni tekshirmasdan, ularning ishga tushirish rejimida ham tekshirish lozim bo'ladi. Buning uchun ma'lum usullar bilan to'g'ri $U_{to'g'}$ va teskari U_{tes} ketma-ketlikdagi kuchlanishlar aniqlanadi va yordamchi mashinalar ishga tushirish momentlari qiymatlari aniqlanadi.

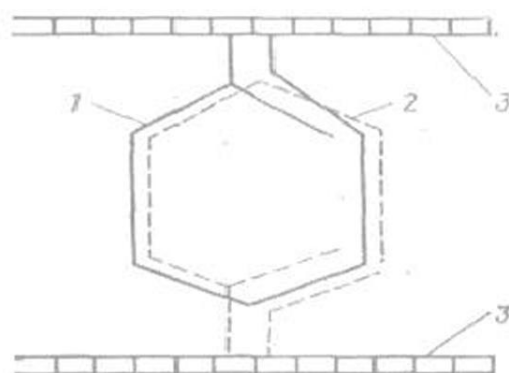
$$M_{st} = M_{to'g'} - M_{tes} = M_{st} \left[\left(\frac{U_{to'g'}}{U_{nom}} \right)^2 - \left(\frac{U_{tes}}{U_{nom}} \right)^2 \right]$$

bunda, M_{st} – simmetrik kuchlanishda motorning ishga tushirish momenti.

8.7-§. Kuchlanishni bo'lgichlar

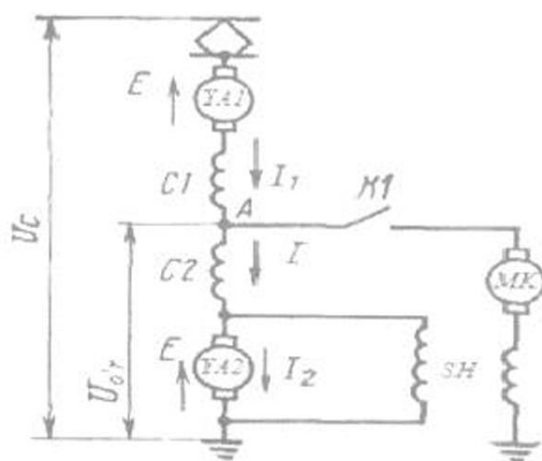
Kuchlanishni bo'lgich – kuchlanishi 1500V bo'lgan 3000 V kuchlanishli tarmoq tizimidan ta'minlanuvshi yordamchi elektr mashinalarni ta'minlash uchun qo'llaniladi. Kuchlanishni bo'lgich (dinamotor) – ikki kollektorli o'zgarmas tok mashinasidan iborat bo'lib, magnit tizim va ikkita 1 va 2 bir-biriga bog'liq bo'lmagan umumiy yakor o'zagidan, ya'ni bir pazaning o'zida joylashgan va ular o'zining kollektoriga birlashtirilgan chulg'amlaridan iborat.

Ko'pincha yordamchi tortuv mashinalari kollektor plastinkalari orasidagi o'rtacha kuchlanish $\Delta U_{\text{usp}} = 38 \div 40 B$ bo'ladi. ΔU_{usp} ning bunday qiymatini faqat yakor reaksiyasi asosiy maydonining silkitishi qiymatining pasayishi bilan yakorning to'g'ri shiziqli yuklamasining kamayishida foydalanish mumkin.



8.12- rasm. Kuchlanishni bo'lgichning yakor chulg'ami sxemasi.
1 va 2 – chulg'amlar, 3 – kollektorlar.

Asosan bunday turdagi motorlarda yakorning ko'p chulg'amli to'plami qo'llaniladi, bu ularning aktiv va induktiv qarshiliklarini oshishiga va kommutatsiya tokining kamayishiga sabab bo'ladi. VL-10 elektrovoz NB-431M turdagi kompressor elektr motorining yakor chulg'ami misol uchun PELSHD turdagi yetti parallel o'tkazgichdan diametri 0,86 mm va yetti o'ramdan iborat.



8.13- rasm. Kuchlanishni bo'lgichning sxemasi.

Kuchlanishni bo'lgich – yakorlari mexanik ravishda birlashtirilgan va ularning chulg'amlari ketma-ket ulangan ikki mashinadan iborat, (8.13-rasm). O'rta nuqtasi A dan yakor chulg'amlari orasida elektr yuklama ulangan (motor kompressor MK) mashinaning qo'zg'atish yakor chulg'amiga parallel ulangan SH – chulg'am bilan amalga oshiriladi. SH qo'zg'atish chulg'ami "yerga" va C1 va C2 ketma-ket chulg'amlarga

ulangan. Ikkala yakor chulg'amlari bir xil magnit oqim bilan va bir xil chastotada aylanadi va unda ularning EYUKlari bo'ladi, y'ani

$$E = E_1 = E_2 = C_n n \Phi.$$

Bo'lgichning salt ishlash rejimida, K1 qo'shilmaganda va A nuqtada yuklama ulanmaganda har bir yakor chulg'amida EYUK (SH-chulg'amdagi tokni e'tiborga olmasdan) quyidagicha aniqlanadi.

$$E_2 = \frac{U_t}{2} - I_0 r \quad (8.28)$$

yoki
$$U_t = 2E + 2I_0 r \quad (8.29)$$

bunda, I_0 – bo'lgichning salt ishlash toki; r – yakorning bir chulg'ami qarshiligi va C1 ketma-ket chulg'amlar.

Ikkala chulg'amlarning E_1 va r ning qiymatlari o'zaro bir-biriga teng va bo'lgichning salt ishlash rejimidagi o'rtacha kuchlanishi $U_{or} = U_t - (E + I_0 r) \approx \frac{1}{2} U_t$, agar 1 yuklama A nuqta va "yer" o'rtasiga ulangan bo'lsa, unda $I_2 = I_1 - I$; $U_t = I_1 r + I_2 r + 2E$ bunda I_1 va I_2 – YA₁ va YA₂ yakor chulg'amlari toklari. Yuklamaning qo'shilishi U_{or} kuchlanishni o'zgartiradi, bunda

$$U_{or} = U_t - (E + I_1 r) \left(\frac{1}{e} U_t \right); \quad I_1 = (I + I_2) I_0.$$

1 tokning o'zgarishi oqim Φ ga va aylanish tezligi n ga sezilarli ta'sir qilmaydi, chunki mashinaning qo'zg'atilishi paralleldir.

Nazorat savollari

1. Elektr harakat tarkiblarida qanday yordamchi mashinalar qo'llaniladi?
2. Motor kompressorlar qanday maqsadlarda qo'llaniladi?
3. Motor ventilyatorlar qanday maqsadlarda qo'llaniladi?
4. Generatorning vazifasi nimadan iborat?
5. Motor generator yoki o'zgartgichlar nima uchun foydalaniladi?
6. Fazalarni ajratgich va mashinali o'zgartgichlar qanday maqsadlarda qo'llaniladi?
7. Yog' motor nasoslar qanday maqsadlarda qo'llaniladi?
8. Kuchlanishni bo'lgishlarning vazifalari nimadan iborat?

9-bob. Tortuv elektr mashinalarining qizishi va sovushi

9.1-§. Elektr mashinalarida izolyatsiyaning roli va klassifikatsiyasi

Elektr mashinalari ishlash jarayonida uning ba'zi qismlarining qizishidan elektr energiyasi isrof bo'ladi. Bu issiqlik asosan mis chulg'amlarda, yakor va qutbning po'lat o'zagida va yakor podshipniklarida ajralib chiqadi. Bu qismlarning qizish temperaturasi ko'p hollarda ularning xizmat davomiyligi bilan aniqlanadi. Ko'p davomiylik (yilda) izolyatsiyasining A sinfidagi temperaturaga asosan, Montzinger tenglamasi bo'yicha quyidagicha yoziladi $t = 1,15 * e^{-0,088/t} * 10^4$

Bundan ko'rinadiki izolyatsiyaning ruxsat etilgan temperaturasi 8°C ga oshganda uning xizmat davomiyligi taxminan 2 marta kamayadi. Bu bog'liqni V va N sinflari izolyatsiyadagilar uchun ham taalluqlidir. Izolyatsion materiallarining asosiy ishdan chiqish sabablari ishchi temperatura ta'sirida va izolyatsiyaning mexanik xususiyatlarining yomonlashib borishida ularning issiqlikdan eskirishi hisoblanadi.

Izolyatsiyaning issiqlikdan eskirishi ularning ba'zi komponentlarining polimerlanishi, qurib qolishi, ko'chishi ularda kichkina teshiklar va uzilishlarni yuzaga keltiradi.

Izolyatsiyaning eskirish intensivligiga ishchi temperaturaning qiymati va davomiyligi, temperatura o'zgarishining chegarasi va chastotasi, elektr maydonning kuchlanganligi, namlik, mexanik va kimyoviy va boshqa ta'sirlar sezilarli darajada ta'sir ko'rsatadi.

Izolyatsiya tarkibiga kiruvchi komponentlar tarkibining issiqlikka chidamligi uning sinfini aniqlaydi, u quyidagi harflar bilan belgilanadi A, B, E, F va N. Bundan A sinfidagi izolyatsiyalar tortuv elektr motorlar uchun foydalanilmaydi, chunki ularning issiqlikka chidamligi past hisoblanadi. Asosan tortuv EM lari uchun B, F va N sinfidagi izolyatsiya keng qo'llaniladi.

Tortuv elektr motorlarini qizishini hisoblash uchun bir jinsli qattiq jismning qizish nazariyasiga asoslangan usullar keng qo'llaniladi. Buning uchun mashinaning barcha qismi bir jinsli deb qabul qilinadi, uning barcha nuqtalari bir xil temperaturaga ega bo'ladi va har bir yuza birligida bir va yana shu miqdorda issiqlik hisoblanadi. Binobarin, bir jinsli jism chekiz qatta issiqlik o'tkazuvchanlikka ega bo'ladi.

Isish jarayoni to'g'risida so'z yuritishdan oldin issiqlikning ba'zi texnik terminlarini qarab chiqamiz.

Jismning umumiy issiqlik sig'imi $-C = cm$ – jismni $1^{\circ}C$ isitish uchun zarur bo'lgan issiqlik miqdori. C ning qiymati jismning massasi m , kg va uning solishtirma issiqlik sig'imi c , $Vt \cdot c / (^{\circ}C, kg)$ larga bog'liq.

Jismning umumiy issiqlik uzatishi. $B = \alpha \cdot S$. Jism va tashqi muhit temperaturasi orasidagi farq $1^{\circ}C$ bo'lganda, birlik vaqt davomida izolyatsiyaning eskirishi uning qizishi absolyut temperaturasi bilan aniqlanadi. Mashinaning qizigan qismlaridan uzatish uning yuzasidagi va atrof temperaturasining farqiga bog'liq bo'ladi. Shunga asosan mashina qismlarining qizish temperaturasi bir xil sharoitda sovituvchi havo temperaturasiga bog'liq. Shuning uchun GOST2582-81 ga asosan har xil temperaturadagi izolyatsiya sinfidagi tortuv mashinalari qismlarining sovituvchi havo temperaturasi $+40^{\circ}C$ dan oshmasligi uchun qizish temperaturasi sovituvchi havo temperaturasiga nisbatan normaga keltiriladi (9.1-jadval).

9.1-jadval

Izolyatsiya sinfi	Elektr mashina elementlari	Ruxsat etilgan temperatura $^{\circ}C$
A-(sellyuloza, paxta, ipak va boshqa ipsimon materiallar)	Mashina chulg'amlari, kollektor	85/100/95
E-(sintetik parda)	Aylanuvchi chulg'am, quzg'almas chulg'am, kollektor	105/115/95
B-(slyuda asosli materiallar, asbest organik aralashmalari)	Aylanuvchi chulg'am, quzg'almas chulg'am, kollektor	120/130/95
F-(slyuda asosli materiallar, sintetik aralashmali asbest)	Aylanuvchi chulg'am, quzg'almas chulg'am, kollektor	140/155/95
N-(slyuda asosli materiallar, asbest, kremniy organik oyna to'qimali bog'lovchi)	Aylanuvchi chulg'am, quzg'almas chulg'am, kollektor	160/180/105

Izoh: Suratdagi doimiy ish rejimiga, maxramdagi esa soatli va qisqa vaqti rejimlarga to'g'ri keladi. Qolgan ma'lumotlar barcha rejimlarga mos keladi.

9.2-§. Bir jinsli qattiq jismning qizish nazariyasi va uning tortuv elektr mashinalariga qo'llashning shartlari

Izolyatsiyaning ishlash vaqtini hisoblashda shartli ravishda tashqi muhit temperaturasi $+25^{\circ}C$ deb qabul qilinadi. Izolyatsiya qilinmagan qisqa tutash chulg'am temperaturasining ortishi bir-biriga o'zaro bog'langan qurilmalarning izolyatsiyasiga ta'sir qilmaydigan darajada bo'lishi kerak jismning barcha yuzasidan atrof-muhitga berayotgan issiqlik energiyasining miqdori. B ning qiymati α - issiqlik uzatish koeffitsiyentiga, Vt/m^2 va jismining yuzasi S ga bog'liq, m^2 , α - issiqlik

uzatish koeffitsiyenti jism temperaturasi va atrof-muhit temperaturasi orasidagi farqi 1°C bo'lganda birlik vaqti davomida jismning birlik yuzasidan berilayotgan yorug'lik chiqaruvchi va konveksiyalanuvchi issiqlik energiyasining (issiqlik oqimi) miqdoridir.

Jarayonning boshlanishida jismdan atrof-muhitga har bir vaqt birligida ΔP (Vt) issiqlik energiyasi ajralayotgan bo'lsin, unda dt vaqt davomida $\Delta P dt$ ga teng bo'lgan issiqlik energiyasi ajraladi. Bu energiyasining bir qismi jismning qizishiga va ikkinchi qismi atrof-muhitga tarqaladi. Agar dt vaqt davomida jismga temperaturasi dt gacha ko'tarilsa, unda uning isishi uchun $\Delta P_c dt = C dt$ energiya miqdori sarflangan va atrof-muhitga $\Delta P_a dt = B J dt$ miqdordagi issiqlik energiyasi tarqalgan. Shunga asosan jismdan ajralib chiqayotgan issiqlik energiyasi jismning isishi uchun sarflangan va atrof-muhitga tarqalgan issiqlik energiyalarining yig'indisiga teng bo'ladi.

Bundan jismning qizish tenglamasi (issiqlik balansi tenglamasi) kelib chiqadi.

$$\Delta P dt = C dt + B \cdot J \cdot dt \quad (9.1)$$

Boshlang'ich qizish davrida, ya'ni jismning temperaturasi va atrof-muhit temperaturasi orasidagi farq nolga teng bo'lsa ($J=0$) barcha ajralayotgan issiqlik miqdori jismning qizishiga sarflanadi. Jismning qizishi natijasida tashqi muhitga tarqaladigan temperatura farqi va issiqlik oqimi oshib boradi. $\Delta P = \text{const}$ bo'lganda bir qancha vaqt o'tgach jismdan ajraladigan issiqlik atrof-muhitga tarqala boshlaydi. Jism temperaturasining ortishi to'xtaganda va $J_c = \text{Const}$ bo'lganda turg'un issiqlik rejimi boshlanadi. Bu rejimda $dJ = 0$ bo'ladi va qizish tenglamasi quyidagi kurinishda bo'ladi

$$\Delta P dt = B J_c dt \quad (9.2)$$

Bundan jismining temperatura o'sishining turg'unligi quydagicha bo'ladi

$$J_c = \frac{\Delta P}{B} = \frac{\Delta P}{(\alpha S)} \quad (9.3)$$

9.1-tenglamaga $\Delta P = B J_c$ ning qiymatini qo'yib (9.2) tenglamadan quyidagini olamiz

$$B J_c dt = C dt + B J dt \quad (9.4)$$

Tenglamaning o'ng va chap taraflarini umumiy issiqlik uzatish (B) ga bo'lib va $C/B = T$ deb belgilab, quyidagini olamiz.

$$J_x dt = T dt + J dt \quad (9.5)$$

T – qiymati qizishning doimiy vaqti, yoki vaqtning issiqlik doimiysi deb ataladi. U jism temperaturasi uning o'rab turgan muhit temperaturasi J_x ga yetguncha jismdan ajraladigan issiqlik oqimi ΔP va atrof-muhitga beriladigan issiqlikning bo'lmagandagi vaqti bildiradi.

(9.5) tenglamadagi o'zgaruvchilarni bo'lib, $\frac{dt}{T} = \frac{dJ}{(J_x - J)}$ va integrallagandan keyin quyidagini olamiz

$$\frac{t}{T} = -\ln(-J_x - J) + N \quad (9.6)$$

Integralash doimiy N boshlang'ich shartlar asosida aniqlanadi. Qizishning boshlanish jarayonida ($t = 0$) jism boshlang'ich qizish temperaturasi J_0 ga ega bo'ladi, ya'ni $N = \ln(J_x - J_0)$

U holda (9.6) tenglamada quyidagi ko'rinishga ega bo'ladi

$$\frac{t}{T} = -\ln(J_x - J) + \ln(J_x - J_0) \quad (9.7)$$

$$\frac{t}{T} = \ln[(J_x - J) \div (J_x - J_0)] \quad (9.8)$$

(9.8) tenglamani quyidagi ko'rinishda yozish mumkin

$$\exp(t/T) = (J_x - J) \div J_x - J_0$$

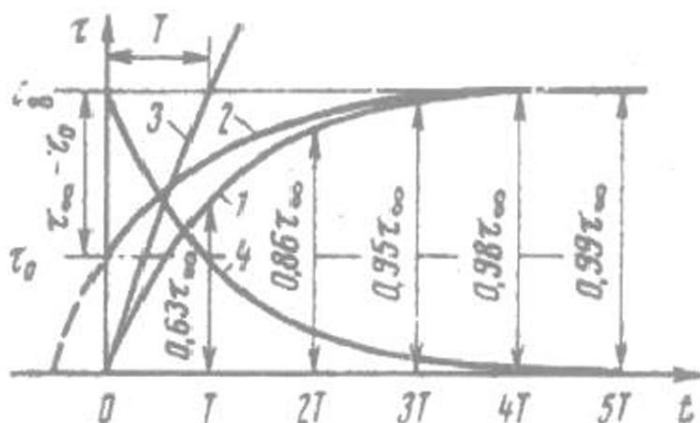
Bundan jism temperaturasi o'zgarishining atrof-muhit temperaturasiga nisbatan vaqt bo'yicha bog'lanishini olish mumkin

$$J = J_x [1 - \exp(0 - t/T)] + J_0 \cdot \exp(-t/T) \quad (9.9)$$

Olingin tenglama doimiy issiqlik oqimi uchun o'rinli bo'ladi, chunki $J_x = \Delta P / B$ bo'lganligi uchun uni quyidagi ko'rinishda yozish mumkin

$$J = \frac{\Delta P}{B} [1 - \exp(-t/T)] + J_0 \exp(-t/T) \quad (9.10)$$

1-rasmda bir jinsli qattiq jismning undan ajralib chiqayotgan doimiy issiqlik oqimi ΔP ning qizish egri chizig'i keltirilgin.



9.1-rasm. Bir jinsli qattiq jismining qizish va sovush egri chizig'i.

1-egri chiziq $J_0 = 0$ bo'lgandagi boshlang'ich qiymatiga to'g'ri keladi. 2-egri chiziq $J_0 > 0$ bo'lganda (9.10) tenglama quyidagi ko'rinishga ega bo'ladi

$$J = J_x [1 - \exp(-t/T)] \quad (9.11)$$

Jismning uzoq davomli qizishida $\Delta P = \text{Const}$ bo'lganda har qanday holatda ham temperaturaning turg'un qiymati J_x, J_0 ning qiymatining qanday bo'lishiga qaramasdan bir xil bo'ladi. Amalda $t = 5T$ bo'lganda jism temperaturasi o'zgarishi o'zining turg'un holati qiymatiga J_x erishadi.

1-egri chizig'iga kordinata boshidan o'tkazilgan 3-to'g'ri chiziq (urinja) jism temperaturasi vaqt bo'yicha ΔP ning qiymatida va atrof-muhitga issiqlik uzatish umuman bo'lmagandagi holatini belgilaydi.

Issiqlik energiyasining ajralishi ($\Delta P = 0$) to'xtashi bilan jismning temperaturasi ruxsat etilgan temperaturasi J_x va atrof-muhit temperaturasi $J_0 = 0$ bo'lmagunga qadar soviydi. Bunda jism temperaturasi qizishining vaqt bo'yicha o'zgarishi quyidagi ko'rinishda bo'ladi.

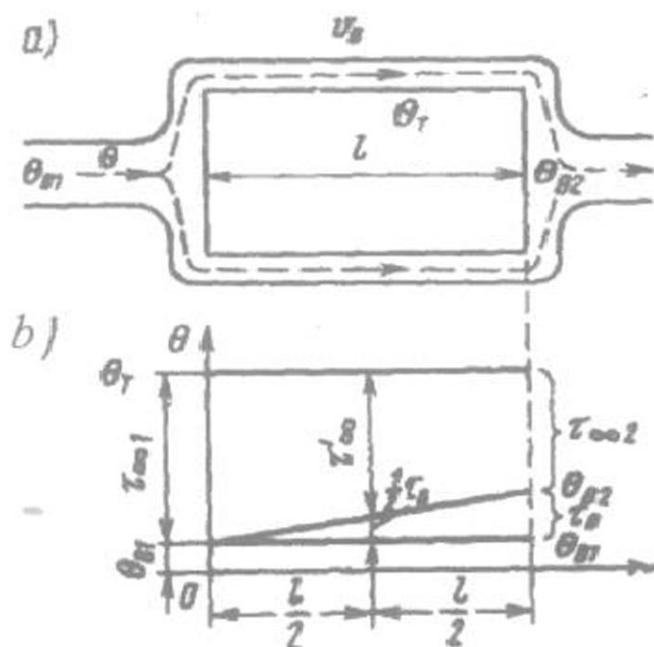
$$J = J_0 \exp(-t/T) \quad (9.12)$$

Bunda J_0 ning o'rniga issiqlik ajralib chiqish to'xtagan momentga mos keluvchi J_x ning qiymati olinadi.

Bir jinsli qattiq jismining qizish egri chizig'i ko'p hollarda uning sovitilish xarakteri bilan aniqlanadi (erkin maydonida jismni sun'iy shamollatish bilan, chegaralangan maydonda ventilyatsiya yordamida). Issiqlik uzatish koeffitsiyenti sovitilayotgan yuzaga uzatilayotgan havoning harakatlanish tezligiga bog'liq. Bu bog'liqlikni quyidagi ko'rinishda keltirish mumkin.

$$\alpha = \alpha_0(1 + \rho\sqrt{V_B}) \quad (9.13)$$

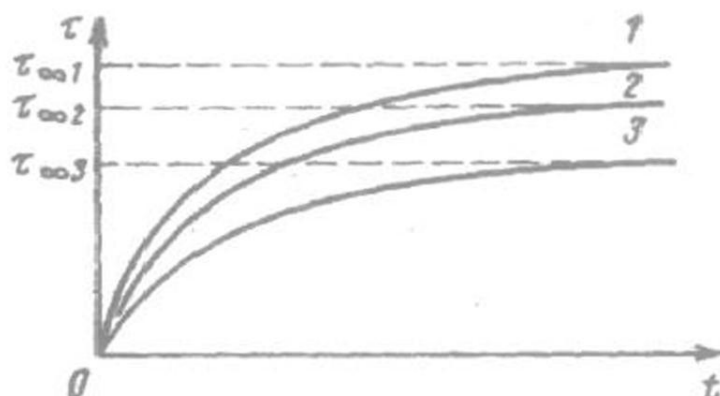
bunda, α_0 — shamolatilayotgan yuzaning issiqlik uzatish koeffitsiyenti (tinch muhit) ρ — jism sirtini shamolatishni hisobga olish koeffitsiyenti, V_B — sovitiladigan yuzaga nisbatan havo harakatining tezligi. Agar jismini shamollatish chegaralangan yuzada amalga oshirilsa, uning sirtidagi issiqlik uzatish koeffitsiyenti oshadi (9.2,a-rasm).



9.2- rasm. Chegaralangan yuzada qattiq jismni shamollatish sxemasi (a) va sovituvchi havo temperaturasi o'zgarishi (b)

Biroq jismining qizigan yuzasidan o'tuvchi sovituvchi havo Q_B dan Q_{B2} temperaturagacha qiziydi (9.2,b-rasm) va uning sovush intensivligi shu yuzaga ko'ndalang harakatlanuvchi ta'siri pasayadi. Shuning uchun jism temperaturasi o'zgarishi Q ning shamollatish havosining boshlanishida (J_{x1}) va oxirida (J_{x2}) temperaturaning o'zgarishi har xil bo'ladi. Bu ma'lum o'rtacha temperaturaning o'zgarish qiymati J_x ni atrof-muhit temperaturasi jism temperaturasi o'zgarishiga nisbatan quydagicha yozish mumkin.

$$J_x = J_x^I + JB/2 \quad (9.14)$$



9.3-rasm. Bir jismli qattiq jismning har xil sovitish jarayonida qizish egri chiziqlari.
1-Erkin bo'shliqda bir xil issiqlik oqimi, 2-chegaralangan yuzada shamollatish, 3-erkin bo'shliqda shamollatish.

9.3-rasmda keltirilgan egri chiziqlar jismini shamollatganda turg'un temperaturaning o'zgarishi J_{x1} va shamollatishda J_{x2} dan past ya'ni erkin muhitga qizishi J_{x1} issiqlik uzatish koeffitsiyentining o'sishiga olib keladi.

$$\alpha = \frac{\Delta P}{(J_x * S)}$$

Tortuv elektr mashinalari o'zining tuzilishiga ko'ra bir jinsli emas (izolyatsiya, mis, po'lat va boshqa). Motor hajmidan ajralib chiqadigan issiqlik bir teksda emas, shunga ko'ra mashinaning ba'zi elementlaridan ajralib chiqadigan issiqlik har xil bo'ladi. Shuning uchun mashina qismlarining qizish jarayoni bir jinsli qattiq jismning qizishiga nisbatan ancha murakkab sharoitda bo'ladi. Ba'zi ruxsat etilgan va aniqlashtirilgan, aniq qizish sharoitini hisobga olgan holda bir jinsli qattiq jismining qizishi nazariyasi bo'yicha asosiy tenglamadan foydalanib mashinaning ba'zi qismlarining qizish temperaturasi aniqlanadi. Masalan tortuv motorining chulg'amini hisoblash uchun (9.11) tenglamadan foydalanish mumkin, uning qizish o'lchamlari T va J_x ekvivalent turg'un qiymati tajriba ma'lumotlar bilan taqqoslanadi (9.13) tenglamadan mashinaning chulg'ami va kollektorning qizish temperaturasi uning doimiy ish rejimida hisoblash uchun ishlatiladi. Bu holda mashinaning ba'zi qismlarida ajraladigan issiqlik oqimi quvvat isrofi kabi aniqlanadi va ularning yuzasidan

ajratiladi, issiqlik uzatilishi koeffitsiyenti va jism yuzasining amaldagi o'lcamlari bilan hisoblanadi.

9.3-§. Mashinada ichki issiqlik oqimining taqsimlanishi va issiqlik sxemalari

Tortuv motorlarining loyihalashda asosiy qismlarning konstruksiyasi va geometrik o'lchamlari aniqlangandan keyin yakuniy bosqichlaridan biri shamollatishni hisoblash bilan birga bu qismlarni, issiqlik bo'yicha hisoblash ham kiradi. Biroq, bu hisoblash usullarning birortasi ham yuqori aniqlikni bermaydi, chunki mashinadagi issiqlik jarayonini belgilovchi tenglamaning ko'p parametrlari bir tekisda bo'lmaydi. Bunda, izolyatsiyaning issiqlik o'tkazuvchanligi qo'llanilayotgan materialning sifatiga, texnologiyaning bir tekisda bo'lishiga ta'sir qiladi, a mashina yuzasidan issiqlik uzatish – bu yuzani holatini belgilaydi.

Rejimlardagi issiqlik munosabatlar turg'un bo'lmagan, qisqa muddatlarda qizishni hisoblashlarda katta qiyinchiliklar yuzaga keladi. Shuning uchun tortuv motorlarini loyihalashda ularning qismlarini issiqlikda hisoblash, uzoq davomli ish rejimi uchun issiqlikka nisbatan turg'un rejim uchun hisoblanadi. Bunday hisoblashlar bilan chegaralanishni sharoit taqazo qiladi, uzoq davomiy va soatbay rejimlardagi toklar o'rtasidagi kerakli miqdordagi munosabatlar mavjud. Bu munosabatlar shamollatishning intensivligi bilan baholanadi

$$K_{shamol} = \frac{I_r}{I_c}.$$

O'z-o'zini shamollatiladigan past tezlikli motorlar $K_{shamol} = 0,65 - 0,75$ ga teng, yuqori tezliklilarga $-0,8$ dan $0,9$ gacha bo'ladi. Hozirgi zamon elektrovozlari motorlari bog'liq bo'lmagan shamollatishli bo'lib, $K_{shamol} = 0,87 - 0,93$ ga ega bo'ladi, a quvvati 800 kVt dan yuqori bo'lgan soatbay rejimda ishlaydigan motorlar uchun $0,91$ dan $0,94$ gacha bo'ladi. Elektr mashinalarning asosiy qismlari o'zining tarkibi bo'yicha bir jinsli emas, a ulardan ajralib chiqayotgan issiqlik ular bilan tegib turgan boshqa qismlar orqali uzatiladi. Bundan tashqari mashinaning alohida qismlari hajmi bo'yicha issiqlikning ajralishi bir teksda bo'lmaydi. Shuning uchun mashina qismlarini qizish bo'yicha hisoblash yuqorida ko'rilgan bir jinsli qattiq yuzani hisoblashdan farq qiladi, chunki ularda faqatgina qism yuzalaridan issiqlik uzatishni emas, balki ular qismlaridan issiqlik uzatuvchanlikni ham hisobga oladi. Materiallarning issiqlik o'tkazuvchanlik xususiyati solishtirma issiqlik o'tkazuvchanlik

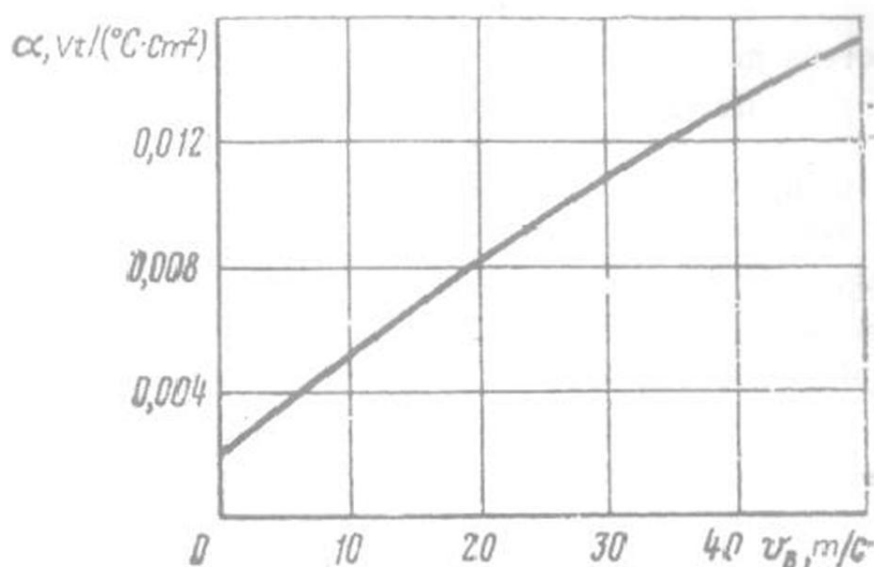
λ ($Vt^{\circ}C \cdot m$), o'zida issiqlik energiya miqdorining birlik vaqtda (issiqlik oqimi) ko'ndalang kesimi $1m^2$ va qalinligi $1m$ bo'lgan material orqali o'tadigan issiqlik miqdorining farqi $1^{\circ}C$ bo'lgandagi issiqlik oqimining o'tishi bilan bog'lanadi. Materiallar har xil solishtirma issiqlik o'tkazuvchanlikka ega bo'ladi. Masalan, misning issiqlik o'tkazuvchanligi B sinfidagi izolyatsiyaning issiqlik o'tkazuvchanligidan 3000 marta yuqori, a havoda taxminan 15000 marta metall va izolyatsiyalarning issiqlik o'tkazuvchanligining katta farqlanishi metall detallarni qizishini hisoblashda issiqlik o'tkazuvchanligi cheksiz katta bo'ladi, ya'ni mashinaning mis chulg'ami temperaturasi barcha hajmdagi chulg'amlar uchun va po'lat temperaturasini uning barcha hajmi bo'yicha bir xil deb qabul qilinadi. Qizishni hisoblashlarda yakor o'zagi chetlaridan issiqlik ajralib chiqishini hisobga olmaydi, chunki plastinkalarda bo'ylama bo'yicha issiqlik o'tkazuvchanlik taxminan 40-50 marta plastinkalarda ko'ndalang bo'ylab uzatilishiga nisbatan yuqori bo'ladi. Izolyatsion materiallarning issiqlik o'tkazuvchanligi ularning tayyorlanish darajasiga yuqori darajada bog'liq bo'ladi. Izolyatsiya qatlaamlari orasida kam miqdorda havo yuborilganda ham, uning issiqlik o'tkazuvchanligini ancha kamaytiradi. Ko'pincha tortuv mashinalarining solishtirma issiqlik o'tkazuvchanligini hisoblashda B va H sinfidagi izolyatsiya uchun $0,013 \cdot 10^{-3}$ ($Vt^{\circ}Cm$) va $0,022 \cdot 10^{-2}$ ($Vt^{\circ}Cm$) epoksid smolasidan tayyorlangan monolit izolyatsiyalar uchun (F-sinfi) qabul qilinadi.

Mashina qismlari yuzasidan issiqlik uzatilish koeffitsiyenti shu yuzalardan nisbatan o'tayotgan shamollatuvchi havoning harakat tezligiga va ularning holatiga bog'liq bo'ladi. Qutblar g'altagi va yakor o'zagi uchun taxminan koeffitsiyent $\alpha = \alpha_0(1 + \sqrt{v_h})$ (bu yerda $\alpha_0 = 0,02 \cdot 10^{-4}$ ($Vt^{\circ}Cm$)) – tinch muhitda issiqlik uzatish koeffitsiyenti. 9.4-rasmda qutb g'altaklari tashqi yuzalari, kompensatsion chulg'am va yakorning tashqi yuzalari uchun tajriba asosida olingan $\alpha(v_h)$ bog'lanishlar keltirilgan. Havoning harakat tezligi shamollatishni hisoblaganda mos holdagi kesimdan o'tadigan havo sarfi hisobga olinadi. Mashinaning uzoq davomli rejimida havoning mashina yakorining tashqi yuzasiga nisbatan harakat tezligi v'_h , havoning hisoblangan ilgarilanma tezligini v_h , mashina o'qi bo'yicha va yakorning to'g'ri chiziqli tezligi v_{wz} ni geometrik qo'shish yordamida aniqlanadi:

$$v'_h = \sqrt{v_h^2 + v_{wz}^2}$$

Tajriba ma'lumotlariga asosan yakorning shamollastish kanallari yuzasidan issiqlik uzatish koeffitsiyenti 2 marta yakorning tashqi

yuzasidan kam bo'ladi. Tortuv mashinalarining issiqlikka hisoblashlarning ikkita usuli mavjud. Birinchi usul issiqlik o'tkazuvchanlikning differensial tenglamalaridan foydalanishga asoslangan. Buning uchun xususiy hosila yordamida differensial tenglamalar sistemasini yechishni talab etadi. Issiqlikni hisoblashning ikkinchi usuli ekvivalent issiqlik sxemalari usuliga asoslanadi. Buning uchun issiqlik uzatuvchi va o'tkazuvchanlik o'rniga ularga teskari termik qarshilik deb nomlanadigan kattaliklardan foydalaniladi.



9.4- rasm. Yakor yuzasidan va qutb g'altaklaridan issiqlik uzatish koeffitsiyentining sovutuvchi havo tezligiga bog'lanishi.

Bunda qandaydir S_1 maydonli yuzadan issiqlik uzatish $R_{tu} = 1/(\alpha S_1)$ termik qarshilikka to'g'ri keladi, a qalinligi b bo'lgani S_2 yuzali maydonidan izolyatsiyaning issiqlik uzatuvchanligi $R_{iz} = b/(\lambda S_2)$ termik qarshilikka to'g'ri keladi. U holda to'g'ri keladigan temperaturalar farqi

$$\tau_{tu} = R_{tu} \cdot \Delta P_u; \quad \tau_{iz} = R_{iz} \cdot \Delta P_i$$

bunda: ΔP_u - tekshirilayotgan yuzadan shamollatuvchi havoga berilayotgan issiqlik oqimi; ΔP_i - izolyatsiya orqali o'tayotgan issiqlik oqimi;

Mashina qismlaridan ajralib chiqadigan issiqlik oqimi, ularda uzoq davomli ish rejimidagi to'liq quvvat isrofi bilan aniqlanadi. Pulsatsiyalanuvchi tok tortuv motorlarini issiqlikka hisoblashda yakor chulg'amidagi, qo'shimcha qutblardagi va kompensatsion chulg'amlardagi tok pulsatsiyasini yuzaga keltiradigan misdagi isroflari ortishini hisobga oladi.

Isroflarning ortishi $K_{rm} = 1 + 0,5K_{pl}$ koeffitsiyentni kiritish bilan hisobga olinadi (bu yerda K_{pl} - tok pulsatsiyasi koeffitsiyenti).

Ko'pincha issiqlik hisoblashlarida, oldin mis chulg'am ustidagi temperaturani shamollatuvchi havoning o'rtacha temperaturasining ortishi τ_x^1 aniqlanadi. Mis chulg'am temperaturasining atrof havosi temperaturasidan ortishi quyidagi tenglama bilan aniqlanadi:

$$\tau_x = \tau_x^1 + (\tau_h/2).$$

9.4-§. Tortuv motorlari alohida qismlari qizishini aniqlash uchun issiqlik sxemasi usulidan foydalanish

Yakor chulg'amining issiqlik sxemasi va qizishini hisoblash. Sxemalarni ishlab chiqish va ko'rsatilgan hisoblashlarni bajarish oldin qabul qilingan ruxsat etilganlarga asoslanadi. Bundan tashqari shartli ravishda, barcha kollektorda ajralib chiqayotgan issiqlik energiyasi uning yuzasi orqali atrof-muhitga beriladi, a yakorning mis chulg'amidan kollektorga issiqlik uzatish bo'lmaydi. Yakor chulg'ami misdan mashinaning uzoq davomli rejimida ajralib chiqayotgan issiqlik oqimi

$$\Delta P_{mxa} = I_a^2 \cdot r_{ya} \cdot K_{rm} + \Delta P_{xkom} + \Delta P_{x paz} \quad (9.15)$$

bunda, $\Delta P_{xkom} = h^{2.5}$; $\Delta P_{x paz} \approx 1.5N \cdot h^2 \cdot f^{1.5} \cdot F_z \cdot b \cdot l_{ya} / (b_{paz} \cdot 10^6)$

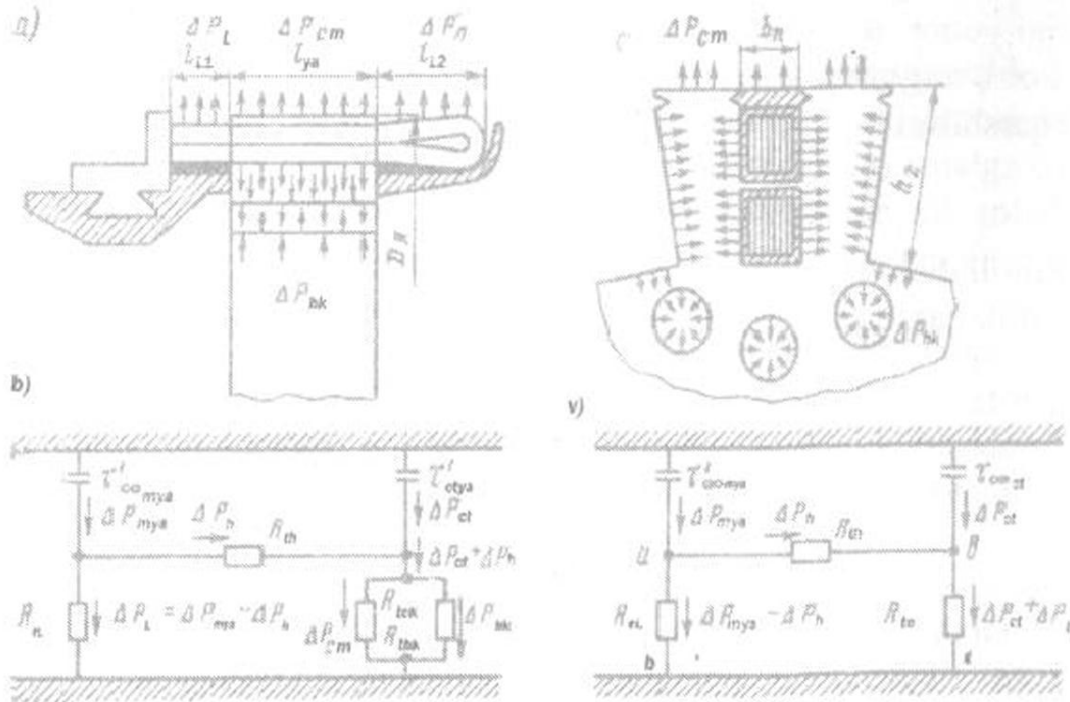
mos holda yakorning mis chulg'ami quvvatining kommutasion isrofi va asosiy paza maydonidagi isroflar; h - o'tkazgichning balandligi; F_z - yakorning tish qatlamidagi magnit kuchlanishning hisoblangan pasayishi.

Yakor chulg'amining qarshiligi CH_{ya} ni bu chulg'amning ruxsat etilgan eng yuqori temperaturasiga mos holda qabul qilinadi. Yakorning umumiy issiqlik oqimini aniqlab, bu issiqlik oqimining taqsimlanish ko'rinishi buziladi (9.5,a-rasm.). Yakorning mis chulg'amida ajralib chiqayotgan issiqlik oqimining katta bo'lmagan qismiga nisbatan chulg'amning old qismidan va chulg'am ushlab turuvchi siquvchi shaybalar orqali shamollatuvchi havoga uzatiladi. Yuqori termik qarshilikka ega bo'lgan keyingi chulg'amlar katta qalinlikdagi izolyatsiyadan iborat. Shuning uchun, ular orqali o'tadigan issiqlik oqimi ko'pincha hisobga olinmaydi. Issiqlik oqimiga ΔR_l ta'sir qiluvchi termik qarshilik R_l old qism yuzasiga tashqaridan taqsimlanuvchi shu yuzadan issiqlik uzatilishi va old qismidagi mis izolyatsiyasidan issiqlik o'tkazuvchanliklar aniqlanadi

$$R_{\pm l} = 1/(\alpha \cdot S_l) + b_l/(\lambda \cdot S_l)$$

bunda, b_l – old qismi izolyatsiyasining ekvivalent qalinligi; S_l – chulg'am old qismining yakor diametri D_{ya} bo'yicha va chulg'amning old chiqqan l_{l1} va orqa l_{l2} qismlari bilan aniqlanadigan tashqi yuzasi:

$$S_l = \pi D_{ya}(l_{l1} + l_{l2})$$



9.5- rasm. Yakor chulg'ami qizishini hisoblash uchun issiqlik oqimi (a), keltirilgan (b) sxemalar va uzaytirilgan keltirilgan sxema (v) sxemada oqimlar ko'rsatkichlar bilan ifodalangan.

Agar chulg'amlarning old qismi umumiy $\sum b_{\sigma}$ qalinlikdagi o'tkazgich ko'rinishidagi bandaj bilan mahkamlansa, uning tagidan qo'shimcha izolyatsiya o'rnatiladi, u holda $S_l \approx \pi D_{ya}(l_{l1} + l_{l2} - 1/3 \sum b_{\sigma})$ bo'ladi. Yakor chulg'amidan ajralib chiqadigan issiqlik oqimining asosiy qismi yakor o'zagiga o'rnatiladi, u o'z navbatida o'zining magnit oqimi bilan aniqlanadigan issiqlik oqimini ΔP_{ϕ} ajratadi. Shuning uchun yakor o'zagining tashqi yuzasi bilan va uning shamollatish kanallari yuzasi bilan sovitish havosi orqali $\Delta P_{\pm}$ issiqlik oqimi uzatiladi, u misdan o'zakka o'tadi va ΔP_{ϕ} . Misdan o'zakka uzatiladigan issiqlik faqatgina chulg'amning paza qismining tashqi izolyatsiyasi qalinligi b_k orqali aniqlanmasdan (qobiqli va qoplovchi) va ular o'tkazgichining o'ramlar izolyatsiyasi qalinligi $b_{o'r}$ ga ham bog'liq bo'ladi. Shuning uchun termik qarshilik izolyatsiyaning ekvivalent qalinligi orqali aniqlanadi. $b_{\sigma} = b_k + b_{o'r}$. O'tkazgichlar

pazlarda vertikal joylashtirilganda $b_{o,r} = 1/4nb_{o,r}$ bo'ladi (bu yerda n – pazning eni bo'yicha o'tkazgichlar bir qatlamining soni).

Issqlik oqimining ΔR_{Σ} termik qarshiligi

$$R_{\Sigma} = b_s / (\lambda \cdot Z \cdot l_{ya} \cdot P^2)$$

bunda: Z – pazlar soni; P – yakor chulg'ami paza qismining hisoblangan perimetri, chulg'amni tiqin yordamida mahkamlashda klinning termik qarshiligi yuqori deb qabul qilinganda.

Yakor o'zagining tashqi yuzasida tarqalayotgan issqlik oqimining ΔR_{st} termik qarshiligi

$$R_{st} = 1 / (\alpha \cdot \pi \cdot l_{ya} \cdot D_{ya})$$

Shamollatish kanallari yuzasida tarqalayotgan issqlik oqimini ΔR_{shk} ning termik qarshiligi

$$R_{shk} = 1 / (\alpha_k \cdot N_k \cdot \pi \cdot l_{ya} \cdot d_{ya}) \quad (9.16)$$

bunda, N_k va d_k – mos holda shamollatish kanalining soni va diametri; $\alpha_k \approx 0,5\alpha$ – shamollatish kanali yuzasining issqlik uzatish koeffitsiyenti. Issqlikning qisqartirilgan sxemasini (9.5,b-rasmga qarang) ikkita parallel termik qarshiliklar R_{st} va R_{shk} ni ekvivalentga aylantirish bilan soddalashtirish mumkin.

$$R_{te} = R_{st} \cdot R_{shk} / (R_{st} + R_{shk}) \quad (9.17)$$

O'zgartirilgan sxema 9.5,v-rasmida keltirilgan. Yakor mis chulg'amining ruxsat etilgan temperaturasi atrof-muhit havosi temperaturasidan ortishi termik qarshilik R_{tl} va issqlik oqimi $\Delta R_{mya} - \Delta R_{\Sigma}$ larga asosan aniqlanadi.

$$\tau_{mya}^1 = R_{tl} (\Delta P_{mya} - \Delta P_x)$$

Issqlik oqimi – ΔR_{Σ} ni aniqlash uchun a va b nuqtalar orasida hamda a-v-g konturlar bo'yicha issqlik potensialining pasayishi tengligini tuzish zarur bo'ladi.

$$R_{tl} (\Delta P_{mya} - \Delta P_x) = R_{tx} \cdot \Delta P_x + R_{te} (\Delta P_{mya} + \Delta P_x) \quad (9.18)$$

$$\text{bunda,} \quad \Delta R_{\Sigma} = R_{ti} \cdot \Delta P_x - R_{ts} \cdot \Delta P_{st} / R_{tl} + R_{ts} + R_{tx}$$

Tashqi havo temperaturasidan yakor mis chulg'ami temperaturasining ortishi

$$\tau_{mya} = \tau_x^1 + \tau_x / 2$$

Asosiy va qo'shimcha qutb g'altaklari qizishini hisoblash. Asosiy va qo'shimcha qutb g'altaklaridagi misning izolyatsiyasida qatlam ko'rinishida qo'llanilganda uning haqiqiy temperaturasining yakor chulg'ami izolyatsiyasiga nisbatan hisoblangandan ancha ko'p farq qilishi kuzatiladi.

Bunday o'zgarish izolyatsiyadagi havo bo'shlig'idagi qatlamlarning bir tekisda emasligi va g'altakning mis o'tkazgichi yuzasidagi izolyatsiyaning jips joylashmaganliklari bilan tushuntiriladi.

Manolit izolyatsiyadan foydalanish g'altakdagi misning issiqlik uzatish shartini yaxshilaydi. Shuning uchun bu izolyatsiya juda yuqori issiqlik uzatuvchanlikka ega bo'lmasdan va juda stabil (bir tekisda) amalga oshadi.

Asosiy va qo'shimcha qutblar g'altagi tomonlari bir xil solishtirma issiqlik o'tkazuvchanlik xususiyatiga ega emas (qutb o'zagiga va ostovaga birikkan tomonlari uning eng katta qiymatiga ega bo'ladi).

Hisoblashlarda ko'pincha izolyatsiyaning issiqlik o'tkazuvchanligini kamaytirmasdan unga mos yuzani kamaytirishi lozim. Agar ostova bilan g'altaklar yuzasi orasida prujinani ramka yoki elektr kartondan taglik o'rnatilsa, u holda bu yuzaning hisoblangan eni haqiqiyga nisbatan 5 marta kamayadi. Shunga mos holda yuzaning eni agarda g'altakda tenglashtiruvchi izolyatsiya qo'llanilgan bo'lsa kuchaytiriladi.

Agar g'altak tor quvurchaga o'ralgan bo'lsa, yon yuzadagi bosh hisoblangan eni haqiqiyga nisbatan 2 marta kamaytiriladi, a keng quvurga o'ralgan g'altak uchun 5 marta kamaytiriladi.

Hisoblangan perimeter Π , uning barcha yuzalarining kengligi qiymatlari yig'indisini hisoblash orqali aniqlanadi. m ta o'ramga ega bo'lgan va ular orasidagi izolyatsiya qalinligi v_n bo'ganda g'altak izolyatsiyasining ekvivalent qalinligi quyidagicha bo'ladi:

$$b'_e = b_n + 0,1 \times b_n$$

Mashinaning uzoq davomchi ish rejimida g'altakdagi quvvat isrofiga teng bo'lgan butun issiqlik oqimini ΔP_{mk} bir tekisda shamollatuvchi havo bilan birga yuzaga bir tekisda taqsimlanadi deb qabul qilinadi.

Bunday ruxsat etishlarda issiqlik oqimining termik qarshiligi ΔR_{mk}

$$R_{tk} = \frac{b'_e}{\lambda_{o'rt} \Pi'} - \frac{1}{\Delta l_{o'rt} \Pi}$$

bunda: Π – g'altakning ko'ndalang kesimi perimetrining haqiqiy qiymati;

l_{ot} – g'altak o'ramlarining o'rtacha uzunligi.

G'altak misidagi temperaturaning shamollatuvchi havo temperaturasiga nisbatan o'zgarishi

$$\tau_{k\infty} = R_{tk} \Delta P_{mk} + \tau_{ya} / 2$$

Kompensatsion chulg'amni qizish bo'yicha tekshirish. Bu hisoblashlarda mis chulg'amda ΔP_{mk} va asosiy qutb o'zagi tishlaridagi ΔP_{st} quvvat isroflarini hisobga oladi:

$$\Delta P_{st} = K_o (Z n_x \times 10^{-4})^{0.8} \times [(K_h - 1) B_h t \times 10^{-3}]^2 \times 2 p Z_{ko} b_{zko} l_{ya} \times 10^{-4}$$

bunda: $K_o \approx 0,4 + 2,4\Delta$ qutb po'lat o'zagi plastinkalarining qalinligiga Δ ni bog'liq bo'lgan koeffitsiyent; Z va Z_{ko} yakor tishlari va qutb o'zagi sonlari; n_x – uzoq davomchi rejimda yakorning aylanish b chastotasi; K_h – asosiy qutb tagidagi havo bo'shlig'i koeffitsiyenti; B_h – havo bo'shligidagi induksiya; t va l_{ya} – yakorning tishlar bo'linmasi va uzunligi; b_{zko} – qutb o'zagidagi tishlar eni.

Chulg'am old kesimi yuzasida issiqlik oqimining taqsimlanishidagi $(\Delta P_{mko} - \Delta P_h)$ termik qarshilik

$$R_{ol} = \frac{b_{ol}}{\lambda S_l} + \frac{1}{\alpha S_l}$$

bunda: S_l – kompensatsion old qismida issiqlik sochiluvchi maydon yuzasi; b_{ol} – chulg'am old qismi izolyatsiyasining qalinligi.

Agar har bir g'altak o'tkazgichlarining old qismi umumiy izolyatsiyaga ega bo'lsa u holda ular maydoni hisoblangan yuzasi quyidagicha bo'ladi:

$$S_l = 1,1\pi D_{ya} (2h_{pko} + Z_{ko} b_{pko})$$

bunda, b_{pko} va h_{pko} – asosiy qutb o'zagidagi pazlarning eni va balandligi.

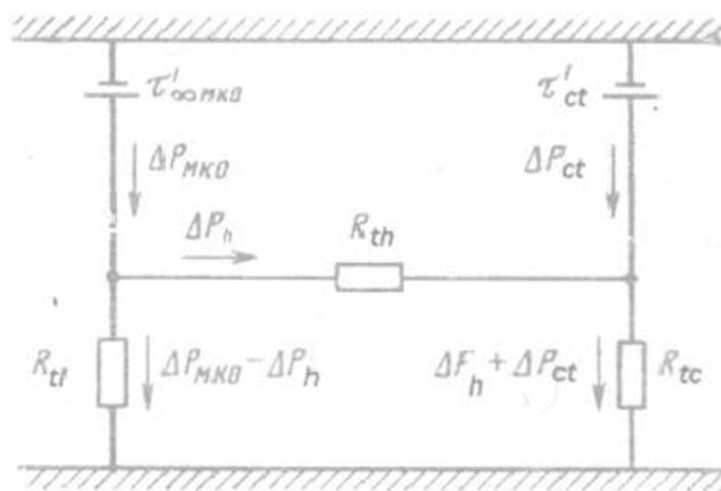
G'altakning har bir o'tkazgichi izolyatsiyalangan bo'lsa va ular orasidagi masofa 5 mm dan kam bo'lmasa, u holda

$$S_n = 0,75\pi D_{ya} Z_{ko} (h_{pko} + b_{pko})$$

Chulg'amning paza qismidagi misdan qutbning po'lat o'zagiga izolyatsiya orqali beriladigan issiqlik oqimining ΔP_h termik qarshiligi

$$R_{th} = b_{pl} / (\lambda S_p)$$

bunda: $S_p = 2 p Z_{ko} (2 h_{zko} + b_{pko}) l_{ap}$ – po'lat o'zakka tegadigan chulg'am pazasi izolyatsiyasi maydonining yuzasi; b_{pi} – chulg'am izolyatsiyasining paza qismidagi izolyatsiyasi qalinligi; l_{ap} – asosiy qutb o'zagi uzunligi.



9.6-rasm. Kompensatsion chulg'am qizishini hisoblash uchun keltirilgan sxema.

Asosiy qutblar uchlaridagi issiqlik oqimi sochilishidagi $(\Delta P_h + \Delta P_{st})$ termik qarshilik

$$R_{st} = \frac{1}{\alpha S_{st}}$$

bunda, $S_{st} = 2 p (Z_{ko} b_{zko} + 2 h_{pko}) l_{ai}$ – shamollatuvchi havo orqali uzatiladigan issiqlik oqimi $(\Delta P_h + \Delta P_{st})$ ning hisoblangan yuzasi.

Kompensatsion chulg'am misidan qutb o'zagiga beriladigan issiqlik oqimi

$$\Delta P_h = \frac{R_{tl} \Delta P_{mko} - R_{ts} \Delta P_{st}}{R_{tl} + R_{ts} + R_{th}}$$

a atrof-muhit temperaturasidan kompensatsion chulg'ami misida temperaturaning oqishi.

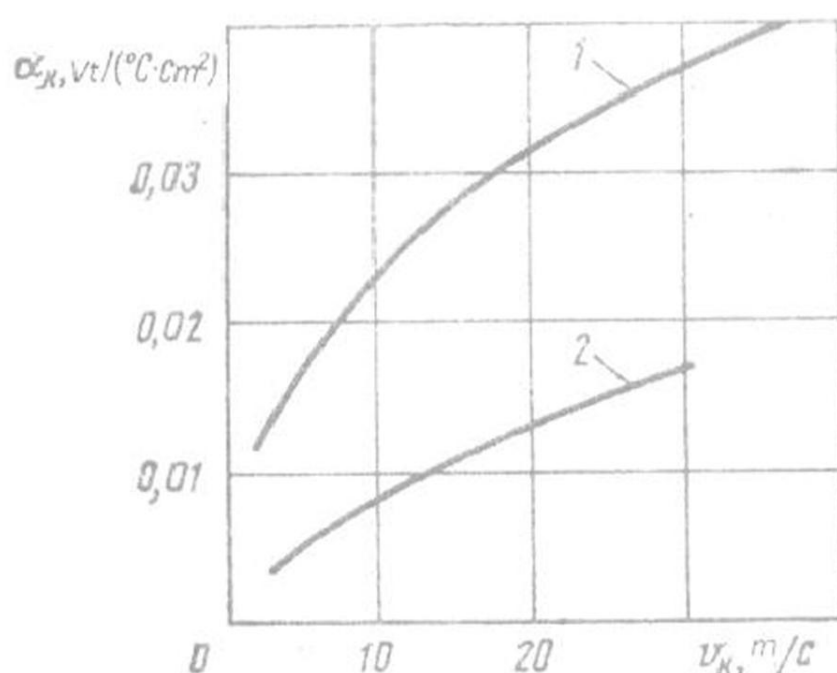
$$\tau_{x.mko} = R_d (\Delta P_{mko} - \Delta P_h) + \tau_h / 2$$

Kollektor qizishini hisoblash. Kollektordan ajralib chiqayotgan issiqlik oqimi ΔP_k mashina uzoq davomli ish rejimida cho'tka tagidagi

elektr isrof ΔP_{is} va cho'tkaning ishqalanishida ΔP_{is} larning yig'indisini tashkil etadi. Buning uchun kollektordan ajralib chiqayotgan barcha issiqlik oqimi ularning ishchi yuzasidan atrof-muhitga beriladi deb hisoblanadi. Bunday ruxsat etilishlar shamollatuvchi havo temperaturasining kollektor temperaturasini oqishi bilan aniqlanadi.

$$\tau_{\text{skl}} = \frac{\Delta P_k}{(\alpha_k \pi D_k l_k)}$$

bunda: α_k – kollektor yuzasidan issiqlik uzatish koeffitsiyenti; D_k va l_k – kollektorning ishchi qismi diametri va uzunligi.



9.7-rasm. Kollektor yuzasidan issiqlik uzatish koeffitsiyentining uning chiziqli tezligiga bog'lanishi. 1.-po'lat materialni kollektor uchun; 2.-plastmassadan tayyorlangan kollektor uchun.

Agar mashinaning kollektori tarafidan shamollatuvchi havo uzatilsa (qizitilmagan havo kollektorga tegadi), u holda τ_{skl} – o'zida kollektorni temperaturasi o'zgarishining atrof-muhit temperaturasini o'zgarishini ko'rsatadi, ya'ni $\tau_{\text{skl}} = \tau_{\text{skl}}$.

Shamollatish havosini uzatishda kollektorning qarama-qarshi tomonidan (havo τ_h temperaturagacha qizdiriladi) kollektor misining temperaturasini atrof-muhit temperaturasidan ortishi $\tau_{\text{skl}} = \tau_{\text{skl}} + \tau_h$ bo'ladi. Shuni takidlash lozimki, α_k – issiqlik uzatish koeffitsiyenti,

kollektorning chiziqli tezligiga bog'liq bo'ladi, bu shamollatuvchi havoning harakat tezligining kollektorning ishchi yuzasiga nisbatan ancha yuqori darajada aniqlaydi (9.7-rasm).

Haqiqitdan ham kollektordan issiqlikni chiqarish faqatgina ishchi yuzadan amalga oshirilmay, balki uning izolyatsiyalovchi detallar kollektorlarda issiqlikni taqsimlanishining umumiy sharoitlari korpusda kollektorlarga nisbatan ancha yaxshi hisoblanadi.

Nazorat savollari

1. Elektr mashinalarida izolyatsiyaning roli qanday?
2. Elektr mashinalarning qizish va sovush tenglamalarini ifodalang?
3. Elektr mashinalarida chulg'amlari izolyatsiyasi klassifikatsiyasi necha turga bo'linadi?
4. Elektr mashinalarning qizish va sovush xarakteristikalarini izohlang?
5. Elektr mashinalarning qizishi nimaga bog'liq?
6. Elektr mashinalarni shamollatishning qanday tizimlari mavjud?
7. Shamollatish quvurlaridagi to'siqning vazifasi nimadan iborat?

10-bob. Elektr harakat tarkibidagi tortuv transformatorlari

10.1-§. Elektr harakatlanuvchi tarkib tortuv transformatorlarning ishlash sharoitlari

Tortuv transformatorlari lokomotivlarning asosiy o'zgartgich qurilmalari tarkibiga kiradi. Ularning asosiy vazifalari tarmoq kuchlanishini U_c tok qabul qilgichlarda tortuv elektr motorlarini ta'minlash uchun zarur bo'lgan U_2 kuchlanishiga qadar pasaytirish uchun ishlatiladi. Kuchlanish U_2 ni ruxsat etish mumkin bo'lgan to'g'rilangan kuchlanishga U_1 va motorning ish rejimini rostlash uchun qo'llaniladi. Bundan tashqari lokomotivlarning va poyezdlarning o'z ehtiyojini ta'minlash zanjirini energiya bilan ta'minlash uchun transformatorlar chulg'amlari mavjud. Tortuv motorlarini ta'minlash uchun qo'llaniladigan transformatorlarning nominal quvvati (tortuv quvvati) quyidagicha ifodalanadi

$$P_{t\,nom} = K_{mt} \cdot N_m \cdot P_{m\,nom} \quad (10.1)$$

bunda, R_{mnom} – tortuv motorining nominal quvvati; N_m – transformatoridan ta'minlanadigan motorlar soni.

$K_{mt} \cong 0,8 \div 1,0$ lokomotivning ekspluatatsion foydalanish va kuchlanishni rostlash usuliga bog'liq bo'lgan koeffitsiyent.

Lokomotivning o'z-o'zini ta'minlash zanjiri uchun transformator quvvati quyidagicha aniqlanadi.

$$P_{yo\,nom} = \sum (P_{vi} t_{ppv}) \cong N_m P_{nom} K_{yo} + n_{vag} P_0 \quad (10.2)$$

bunda, R_{yo} – i -chi ixtiyoriy yordamchi iste'molchining yuklama quvvati; $t_{k.g.t}$ – qo'shish davomiyligi (ishga tushirish); n_{vag} – lokomotivning bir transformatoriga to'g'ri keladigan yo'lovchi vagonlar soni; $P_0 \cong 30 \div 50 kBT$ – bir vagonni elektr isitish uchun zarur bo'lgan quvvat (yuqori qiymat konditsioner qo'llanilgandagi qiymat) yordamchi yuklama koeffitsiyenti.

$K_e = \sum P_{yo\,nom} / (N_m \cdot P_{nom})$, bunda $\sum P_{yo\,nom}$ – lokomotivning yordamchi jihozlarining yig'indi nominal quvvati. (10.2) tenglamadagi oxirgi hadi yo'lovchi tashishga mo'ljallangan elektrovoz va elektropoyezdlar uchun kiritiladi.

Transformatorlarning gabarit o'lchamlari va ularning massasini chegaralash. Transformatorlar lokomotivning eng katta hajmiga ega bo'lgan elektr jihozdir. Uni pog'onalarni qo'shib ajratgichdan, issiqlik almashgichdan, sovitish tizimidan, sirkulyatsiya nasosi va boshqa yordamchi qurilma elementlaridan ajratish maqsadga muvofiq bo'lmaydi.

Shuning uchun transformator blokini ko'pincha kuzovni markazida joylashtirishga to'g'ri keladi. Transformator bakining eng katta eni B to'siq bo'lmaganda va B_{ur} mavjud bo'lganda

$$B \leq B_{ix} - 2B_{ur}; B' = B_{ix} - 2(B_{ur} + \Delta_0)$$

bunda: B_{ik} — kuzovning ichki eni (kengligi), $B_{ur} = 380 \div 500 \text{ mm}$ o'tish joyi kengligi; $\Delta_0 = 50 \text{ mm}$ bak bilan to'siq orasidagi bo'shliq.

Elektrovozlarda ko'pincha transformatorlar aravacha bilan shunday joylashadiki, uning past qismi kuzovning ramasidan past qismida joylashtiriladi.

Bu holda transformatorning eng yuqori balandligi quyidagicha aniqlanadi. $H_{max} = H_{gr} - (H_K + h_n + \Delta_n)$ bunda: N_K — kuzov ramasi yuzasidan rels boshmog'igacha bo'lgan ruxsat etilgan balandlik. Elektropoyezdlarda transformatorlar kuzov tagida osiladi va uning eng katta balandligi $H_{max} \cong H_p - (h_p + \Delta_m + \Delta_n)$

bunda, $H_p = 1380 \text{ mm}$ vagon polidan rels boshmog'igacha bo'lgan balandlik.

Δ_M — transformator va kuzov ramasi orasidagi bo'shliq.

Tortuv transformatorida intensiv havo suyuqlikli sovitish qo'llaniladi. Elegaz (olti elektronli fto'li oltingugurt RS_3) yordamida sovitish keng qo'llanilmaydi.

Elektrovozlar transformatorlarning massasi 8-15 tonnagacha yetadi, elektr poyezdlarda esa $2,5 \div 3,5$ tonnani tashkil qiladi. Elektrovozlarning nominal quvvat birligiga to'g'ri keladigan solishtirma massasi $1,5 \div 2,4 \frac{\text{kg}}{\text{kV}\cdot\text{a}}$ va elektr poyezdlarda $2,7 \div 3,3 \frac{\text{kg}}{\text{kV}\cdot\text{a}}$ ni tashkil etadi.

Dinamik kuchlar ta'siri. Transformatorlar resorlangan va shuning uchun tortuv elektr motorlari kabi ko'pincha dinamik kuchlar ta'siriga tushmaydi. Biroq dinamik tezlanish ta'siridagi kuchlar a_d ni e'tiborga olmasa bo'lmaydi. Tajriba ma'lumotlarga asosan elektrovozlar uchun vertikal dinamik tezlanish $a_m \cong (0,5 \div 0,8) \cdot \partial$ yo'l o'qiga ko'ndalang yo'naltirilgan tezlanish $a_{ox} \cong (1,0 \div 1,5) \cdot \partial$ yo'l o'qiga perpendikulyar tezlanish $a_{och} \cong (0,3 \div 0,5) \cdot \partial$

Transformatorning ba'zi qismlariga ta'sir etuvchi qo'shimcha dinamik kuchlar

$$P_a = m \cdot a_a = G \cdot a_a / \partial \quad (10.3)$$

bunda, m , G – mos holda qaralayotgan qismining massasi va og'irligi.

Deformasiyalanish ta'sirida yuzaga-keladigan kuchlar bilan dinamik kuchlar izolyatsiyalovchi materiallarga sezilarli ta'sir etishi mumkin.

Kuchlanish va yuklamaning stabil (bir tekisda) bo'lmashligining ta'siri. Transformatorlarning ishlashiga birlamchi kuchlanish U_c ning tebranishi katta ta'sir etadi, bu esa magnit oqimning o'zgarishiga olib keladi.

$$\Phi = U_s / (4.44 f_s \cdot W_1) \equiv U_s \quad (10.4)$$

bunda: W – yuqori kuchlanishli chulg'amning o'ramlar soni; $f_s = 50$ Gs – ta'minlanayotgan tok chastotasi.

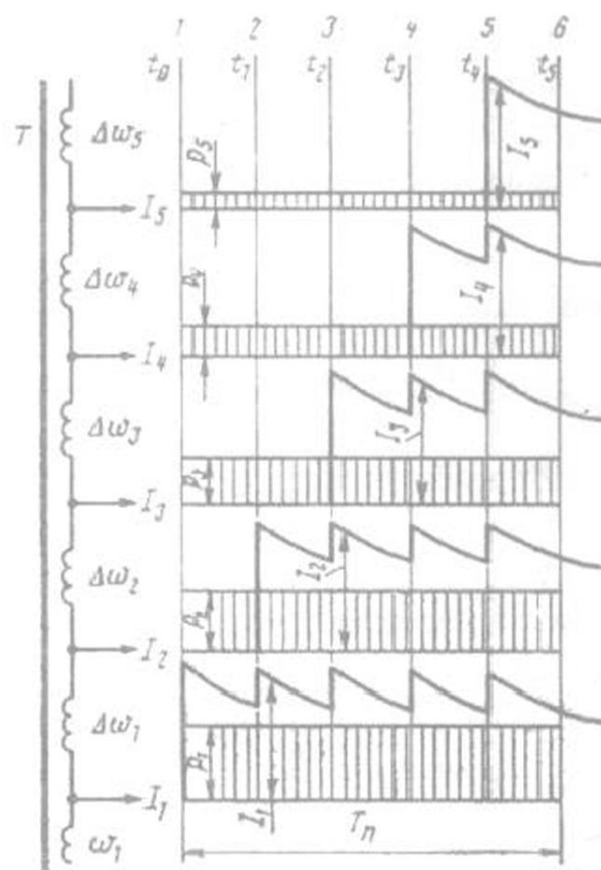
Kuchlanishning oshishi ancha katta ma'qul bo'lmagan, ya'ni po'lat o'zakdagi isrof ancha oshib ketadi. Hisoblashda kuchlanishning oshib ketishini 15% deb qabul qilish mumkin bo'ladi, bunda magnit induksiyasining hisoblangan qiymatini 1,5 Tl dan oshmaydigan qilib qabul qilinadi. Atmosferaning va kommutatsiyaning maksimal o'ta kuchlanishidan apparatlar va himoya jihozlarning ta'minlashi himoya chegarasining karraligi bilan aniqlanadi.

$$\xi = \frac{U_{\max}}{U_{\text{nom}}} = \frac{U_{\text{yma}}}{U_{\text{nom}}} \equiv 3 \quad (10.5)$$

bunda, $U_{\max} = U_{\text{yma}}$ apparat ustavkasining himoya potentsiali maksimal qiymatiga taxminan teng bo'lgan qiymat.

Transformatorlarning korpusga nisbatan izolyatsiyasi $U_{\text{mali}} = 75 \div 100 \text{ kV}$ kuchlanishga hisoblanadi. Tortuv transformatorlarida qisqa tutashning sodir bo'lish mumkinligi ancha yuqori, bu kuchlanishning tushishini $\Delta U = 10 - 15\%$ gacha oshirishiga bog'liq bo'ladi. Induktivlikning yuqori bo'lishi qisqa tutash tokining o'sishini pasaytiradi va asosiy ajratgichlarning ajratish quvvati past jihozlarni qo'llashga sabab bo'ladi. Shu bilan birga EHTning xarakteristikalarini "yumshatadi".

Chulg'amlarni yuklashning xususiyati. Tortuv transformatorlarining transformatsiya koeffitsiyenti ishlash davomida katta oraliqda o'zgaradi (ikki yoqlama ta'minlanadigan elektrovoz transformatorlaridan tashqari). Elektrovozlarda ko'p vaqt davomida iste'mol qilayotgan quvvat nominaldan past bo'ladi, tez harakatlenganda va to'xtab turganda transformatorning ish rejimi salt ishlash rejimiga yaqin bo'ladi. Shunga ko'ra transformator po'latidagi isrofnig hisoblangan qiymati ΔP_{IT} , misdagi isrofga nisbatan ΔP_{U} ancha past bo'ladi.



10-1-rasm. Ishga tushirishni rostlaganda transformatorning ikkilamchi chulgʻami yuklamasining taqsimlanishi.

Koʻpincha ularning nisbati isroflar koeffitsiyenti bilan aniqlanadi.

$$K_{pi} = \frac{\Delta P_m}{\Delta P_{st}} \cong 3 \div 6 \quad (10.6)$$

Ishga tushirish vaqtida chulgʻamning bir qismiga (qismisiga) yuklama toʻgʻri taqsimlanmaydi. Alohida pogʻonalardagi kuchlanishni ΔU oshirish uchun transformatorning alohida qismidagi chulgʻamlarni ishga tushirish kerak boʻladi. Har bir qismining ishga tushirish davomiyligi vaqt intervali $t_i - t_{i-1}$ orqali ishga tushirishning umumiy davomiyligi T_p ning ishga tushirish vaqtining umumiy soniga bogʻliqligi E bilan aniqlanadi.

Ixtiyoriy i -chi qismining ishga tushirish davomiyligi

$$Ti = \sum_{i=1}^E (t_i - t_{i-1})$$

Shunga koʻra misdagi oʻrtacha quvvat isrofi

$$p_i = (r_i / T_p) \cdot \int_{t_{i-1}}^{t_i} I_i^2 \cdot t$$

bunda, r_i — chulg'amning i -chi qismidagi aktiv qarshiligi.

I_i — doimiy bo'lganda ham p_i ning qiymati bir xil emas. T_i — ishga tushish davomiyligining farq qilganligi uchun bu chulg'amning bir tekisda isitmasligiga olib keladi va transformatorning uzoq davomli ishlashini chegaralaydi.

10.2-§. Kuchlanishni har xil tizimda rostlash uchun transformatorlar

O'zgarmas va o'zgaruvchan tokda ishlaydigan elektrovozlarda faqat bir qancha seksiyalarida tortuv transformatorlari motorlar kuchlanishini rostlash uchun ishlatilmaydi. Ko'pincha o'zgaruvchan tok EHTlarida motorlar kuchlanishlarini pog'onali rostlash uchun tortuv transformatorining ikkilamchi, yoki birlamchi chulg'amlar qismlarini (seksiyasini) qayta ulash bilan amalga oshiriladi. Bir fazali o'zgarmas tok EHTlarida kuchlanishni asta-sekin rostlash, uning pog'onali rostlashiga pog'onalar oralig'idan tiristorli rostlanadigan o'zgartgich yordamida asta-sekinlik bilan rostlanadi.

Ikkilamchi tomondan oddiy rostlashda tortish chulg'ami W_{20} (10.2,a-rasm) bir necha qismlarga ajratilgan, undan qayta ulanadigan kontaktorlarga 1-8 chiqishlar qilingan. Birlamchi W_1 va ikkilamchi tortish chulg'amlardan tashqari, yana o'z ehtiyoji uchun 600 va 200 V kuchlanishli chulg'amlar ko'zda tutilgan. Ishga tushirish tokining sakrashlarini ΔI kamaytirish uchun transformator chulg'ami qismlari sonini ko'paytirish zarur bo'ladi, bu qurilma konstruksiyasini murakkablashtiradi. Amaliyotda ikkilamchi chulg'am seksiyalari sonini kamaytirish uchun ularni qarama-qarshi mos elektrovozlarda ikki guruh motorlar va ikkita to'g'rilagich bilan ulash qo'llaniladi (10.2,b-rasm).

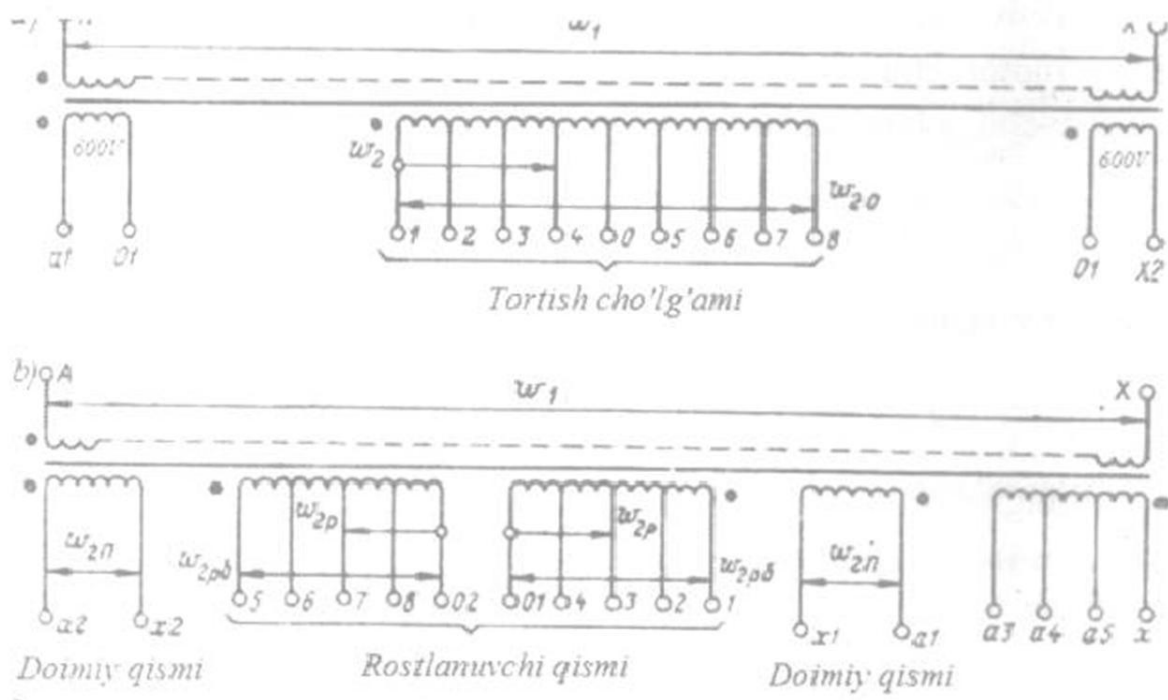
Bu yerda har bir guruhning ikkilamchi tortish chulg'amining ajratilgan qismi o'zgarmas qismga W_{20zg} va W_{2p} chulg'amlarning transformatsiya koeffitsiyenti mos holda quyidagicha bo'ladi.

$$k_{m,mos} = W/(W_{20zg} + W_{2p}) \cong U_{m1}/(U_{20zg} + U_{20p})$$

$$k_{m,qop} = W/(W_{20zg} - W_{2p}) \cong U_{m1}/(U_{20zg} - U_{20p})$$

bunda, U_{20zg} , U_{20p} — mos holda o'zgarmas va rostlanadigan chulg'amlarning salt ishlashdagi kuchlanishlari. Ishga tushirish tokining o'sib borishda $\Delta I = const$ o'zgarmasligini ta'minlash seksiyadagi chulg'am o'rami sonining doimiy bo'lmasligi ular sonining kam bo'lganligi sababli mumkin bo'lmaydi. Shuning uchun, asosan

chulg'amlarni qarama-qarshi mos ulashda $\Delta W_2 = \text{const}$, $\Delta U = \text{const}$ qabul qilinadi.



10.2-rasm. Transformatorlarni mos (a) va qarama-qarshi mos holda ulash bilan ikkilamchi tomonidan rostlashning prinsipial sxemasi(b).

Chet davlatlar elektravozlarida ko'pincha kuchlanishni rostlashda transformatorning birlamchi (kirish) tomonidan rostlash qo'llaniladi. Buning uchun ikki chulg'amli transformatorlar yoki avtotransformatorlardan foydalanish mumkin emas, chunki transformatorning chiqish zanjiriga U_m kuchllanish bilan va undan ham yuqori bo'lish xavfi yuzaga keladi.

Bu holdatda qo'llaniladigan o'zgartirish tizimi avtotransformator AT rostlanuvchi R chulg'ami bilan va transformator TT(10.3,a-rasm) yuqori YU va past P kuchlanishli chulg'amlardan iborat bo'ladi.

Bir necha holatlar uchun avtotransformator ikkilamchi chulg'amdan rostlanadigan ikki chulg'amli transformatorni almashtiradi. Avtotransformator tizimida birlamchi tomonidan rostlashda transformatsiya koeffitsiyenti quyidagicha bo'ladi.

$$K_m = K_{27/27} K_{7/27} = \left(\frac{\omega_{27}}{\omega_{27}} \right) \left(\frac{\omega_{7/27}}{\omega_{27}} \right)$$

bunda: K_{2n} , K_{mn} – mos holda avtotransformator va transformatorlar transformatsiya koeffitsiyenti, $W_{p\delta}$, W_p , W_{yu} , W_p – mos holda barcha rostlanadigan chulg'amlar o'rami va ularning qo'shilgan yuqori va past kuchlanishli chulg'amlari soni. $U_{chizq} = U_p$ – chiqishdagi kuchlanish U_p hamda motor chulg'ami uchlarida kuchlanish U_k kuchlanishni rostlash koeffitsiyentiga bog'liq bo'ladi.

$$C_p = \frac{U_{20}}{U_{20 \max}} \cong \frac{U_k}{U_{k \max}}$$

10.3,b va v-rasmdan ko'rinadiki

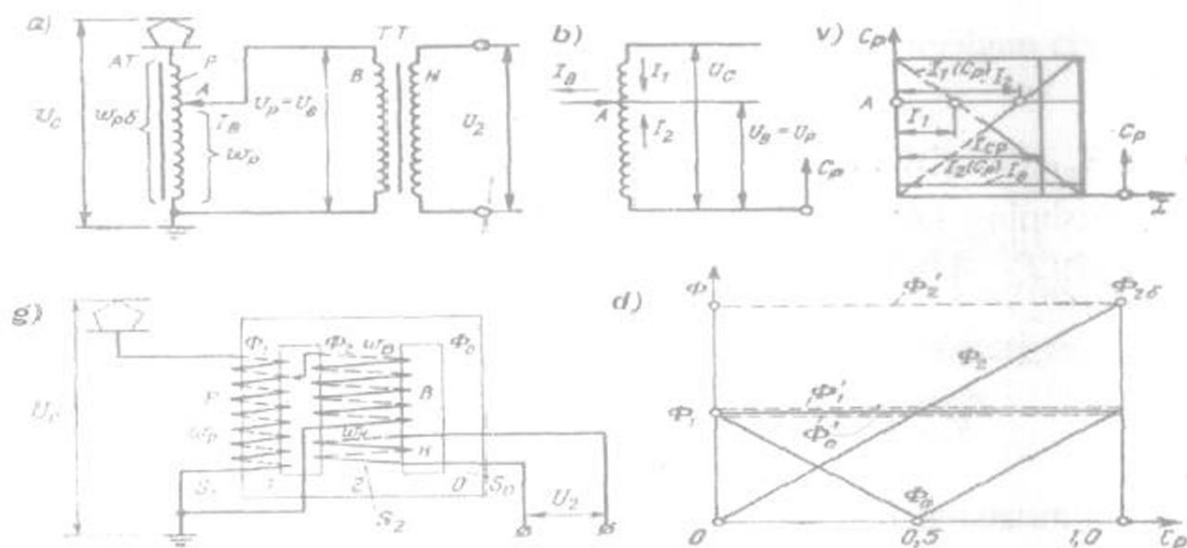
$$I_{chizq} = I_1 + I_2, \quad I_1 \cong C_p I_{chizq}, \quad I_2 \cong (1 - C_p) I_{chizq}$$

P chulg'amdagi o'rtacha tok I_{or} , $0,75 I_{chizq}$ dan ortib ketmaydi, bu esa chulg'amning hisobiy quvvatini pasayishiga olib keladi. Birlamchi tomonidan rostlanadigan transformatorning massa gabarit ko'rsatkichlarini pasaytirish uchun, transformator va avtotransformatorlar magnit tizimini birlashtirish mumkin, ya'ni uch o'zakli magnit tizimini qo'llash mumkin (10.3-rasm,2). Bunda bronli magnit o'tkazgich qo'llanilgan. Rostlanadigan R chulg'am chetki o'zak 1 ga joylashtirilgan, YU va P chulg'amlar - o'rta 2 o'zakda, oxirgi o'zak O bo'sh holda qoladi. O'zaklardagi magnit oqimlar:

$$\Phi_1 = U_T / (4,44 W_{pb} f_T) = const;$$

$$\Phi_2 = U_{yu} / (4,44 W_{yu} f_{y1}); \quad \Phi_0 \cong \Phi_2 - \Phi_1;$$

10.3-rasmda keltirilgan $\Phi_1(C_F)$, $\Phi_2(C_F)$, $\Phi_0(C_F)$ bog'lanishlarni ko'pincha $\Phi_{2 \max} \cong 2 \Phi_2$, $W_{p \max} \cong 2 W_p$ ni qabul qilgan holda va o'zaklar ko'ndalang kesimi yuzasi bronli oddiy transformatorlar uchun, $S_2 \cong 2 S_1 \cong 2 S_0$, bu barcha o'zaklar uchun eng yuqori induksiyada taxminan tenglikni ta'minlaydi. Taqqoslash uchun ikkilamchi chulg'amda kuchlanishni rostlaydigan bronli transformatorga mos holda Φ_1 , Φ_2 va Φ_3 qiymatlari keltirilgan.



10.3-rasm. Transformatorning birlamchi tomonidan kuchlanishni rostdash.
a- chulg'amlarni ulash. b-rostdash chulg'amidagi toklarning yo'nalishi, v- $I_1(C_r)$, $I_2(C_r)$, $I_v(C_r)$ bog'liqliklar. g- uch uzakli transformator. d-uzaklardagi $\Phi(C_r)$ bog'lanishlar.

Tortuv transformatorlarning xususiyatlari sinusoidal bo'lmagan tok va kuchlanishlarda ishlashiga bog'liq bo'ladi. Sinusoidal bo'lmaslik asosan tiristorlar yordamida rostdaganda yuqori bo'ladi (ularning ochilish burchagini o'zgartirish bilan). Sinusoidal bo'lmaslik va kuchlanishni rostdash usullarining transformator konstruksiyasiga ta'siri quvvat koeffitsiyenti bilan baholanadi.

$$k_{TQ} = \sum P_T / (2P_{TQ}) = \sum P_T / (2I_{TQ}U_{TQ})$$

bunda, $\sum P_T$ – transformatorning barcha tortish chulg'amlaridagi hisoblangan quvvat; P_{TQ} , I_{TQ} , U_{TQ} – mos holda to'g'rilash qurilmasidagi isrofni hisobga olmagan holdagi quvvat, tok va kuchlanish.

Boshqarilmaydigan ventillarda va ko'prik sxemasi bo'yicha to'g'rilashda yoki nolli ventil bilan bo'lganda

$$U_{TQ} = (\sqrt{2}U_2/\pi) \int_0^\gamma \sin \omega t d\omega t = \sqrt{2} U_2 (1 - \cos \gamma)/\pi$$

bunda, $\omega = 2\pi f_{TQ}$ – o'zgaruvchan tok burchak chastotasi;

γ – kommutatsiya burchagi

$$\gamma = \arccos[1 - 2X_T I / (\sqrt{2}U_2)],$$

bunda, X_T – transformator chulg'amining reaktiv qarshiligi.

Ikkilamchi chulg'am toki

$$I_2 \cong I_{\tau q} \cdot K_{ef,\tau q} \cong I_{\tau q} \sqrt{1 + 0,52 K_{pi}^2},$$

bunda, K_{pi} – to'g'rilangan tokning pul'satsiya koeffitsiyenti.

To'g'rilashning ko'prik sxemasida va ikkilamchi tomonidan rostlaganda ikkilamchi P_2 va birlamchi P_1 chulg'amalar quvvati

$$P_2 \cong I_2 U_2 \equiv I_{mq} K_{ef,mq} U_2 \cong P_1 \quad (10.7)$$

$$K_{mi} \cong (P_1 + P_2) / (2P_{\tau q}) \cong \pi K_{ef,\tau q} / [\sqrt{2} (1 + \cos \gamma)]$$

Kommutatsiya burchagi γ ning doimiy bo'lmasligi sababli K_{mi} ning qiymati biror qandaydir rejimga bog'liq bo'ladi: transformatorning nominal yoki o'rtacha ekspluatatsion yuklama rejimiga. Agarda tiristorlar ochilishida α burchakning o'zgartirib kuchlanish rostlansa, u holda

$$U_{mq} = \left(\frac{\sqrt{2} I_2}{\pi} \right) \int_{\alpha}^{\pi} \sin \omega t d\omega t \cong \frac{\sqrt{2} I_2 (1 + \cos \alpha)}{\pi} \cong U_{mq} (1 + \cos \alpha) / (1 + \cos \gamma)$$

mos holda

$$K_{mi} \cong \pi K_{ef,\tau q} / [\sqrt{2} (1 + \cos \alpha)] \quad (10.8)$$

bunda, $K_{ef,\tau q}$ – ventillar ochilishida rostlanganda to'g'irlangan tokning effektivlik koeffitsiyenti.

$\alpha \gg \gamma$ bo'lgani uchun K_{mi} – ning qiymatiga ko'zda tutiladigan ekspluatatsiya rejimiga α burchakning matematik kutishini o'rnatish zarur bo'ladi.

Ikkilamchi tomondan rostlashda nolinch nuqtadan va nolinch ventill bilan to'g'irlash sxemalari uchun

$$I_2 = 2I_f K_{ef,\tau q} = 2\sqrt{2} K_{ef,\tau q} I_{mq} \quad \text{va} \quad P_2 = \sqrt{2} I_{\tau q} K_{ef,\tau q},$$

bunda, $I_f = I_{\tau q} \sqrt{2}$ – fazalar chulg'ami effektiv toki.

Birlamchi chulg'am quvvati P_1 (10.7) tenglama bilan aniqlanadi, a

$$K_{mi} = \frac{(P_r + P_{brq} + P_p)}{(2P_{\tau q})}$$

bunda, P_r , P_{brq} , P_p – mos holda rostlanuvchi yuqori va past kuchlanish chulg'amlari quvvati.

Ikkilamchi tomondan kuchlanishni rostlash uchun keltirilgan chulg'am quvvatini aniqlashda o'xshash bo'ladi. Umumiy holda

$$K_{m_{11}} = \pi K_{ef, Tq} / (1 + \cos \alpha).$$

bunda, K – ko'rsatilgan shartlarga mos bo'lgan o'zgarmas kattalik.

Avtotransformatorning qo'shimcha chulg'ami $P, K_{m_{11}}$ koeffitsiyentini $24 \div 40\%$ ga oshiradi. Taqqoslangan transformatorlar massalari m_1 va m_2 va ularning $K_{m_{11}}$ va $K_{m_{12}}$ koeffitsiyentlari orasidagi bog'lanish.

$$\frac{m_1}{m_2} \cong \left(\frac{K_{m_{11}}}{K_{m_{12}}} \right)^{3/4} \text{ bo'ladi.}$$

10.3-§. Tortuv transformatorlarining konstruktiv xususiyatlari

Umumiy holatlar. Tortuv transformatorlarining konstruksiyasida transformatorlarni tayyorlashdagi umumiy texnologiyadagi afzalliklari ko'rsatilgan: o'zakni magnit o'tkazgichlar, uzluksiz chulg'amli g'altaklar. Ko'pgina chet davlatlar konstruksiyalarida ekspluatatsiya qilishda talablar afzalliklari aniqlanadi: bronli magnit o'tkazgichlar, shaybali chulg'amlar va boshqalar.

Transformator chulg'amlariga va ularning izolyatsiyasiga ta'sir qiluvchi mavjud kuchlarni ko'rib chiqamiz (10.4-rasm). Bu gorizontal F_{dx} va vertikal F_{dy} dinamik kuchlardir

$$F_{dx} = m_o a_{dx} \text{ va } F_{dy} = m_o a_{dy}.$$

bunda, m_o – chulg'amlar og'irligi; a_{dx}, a_{dy} – mos holda gorizontal va vertikal dinamik tezlanishlar.

Chulg'amlarda issiqlik jarayonlar tasirida yuzaga keladigan F_t kuchlar transformatorning har xil qismlari temperaturasi farqiga va chulg'amning har xil qismlarining konstruktiv xususiyatlariga bog'liq bo'ladi.

O'zakli konstruksiyadagi transformatorlar katta gorizontal dinamik tezlanishlarni qabul qilishga hisoblanmagan. 10.4,a,b-rasmdan ko'rinadiki o'zakli transformatorlarda uzluksiz silindrik chulg'amlar konstruksiyasi xususiyatiga ega bo'lgan (10.5,a-rasm) shixtalangan o'zaklar bevosita tirkalishi mumkin emas. Buning uchun gorizontal kuchlar faqat chetdagi ustun yuzasi bo'yicha ishqalanish kuchlari F_{μ} bilan kompensatsiyalanadi

$$F_{tr} = F_n f = (m_0 g + F_{pq}) f$$

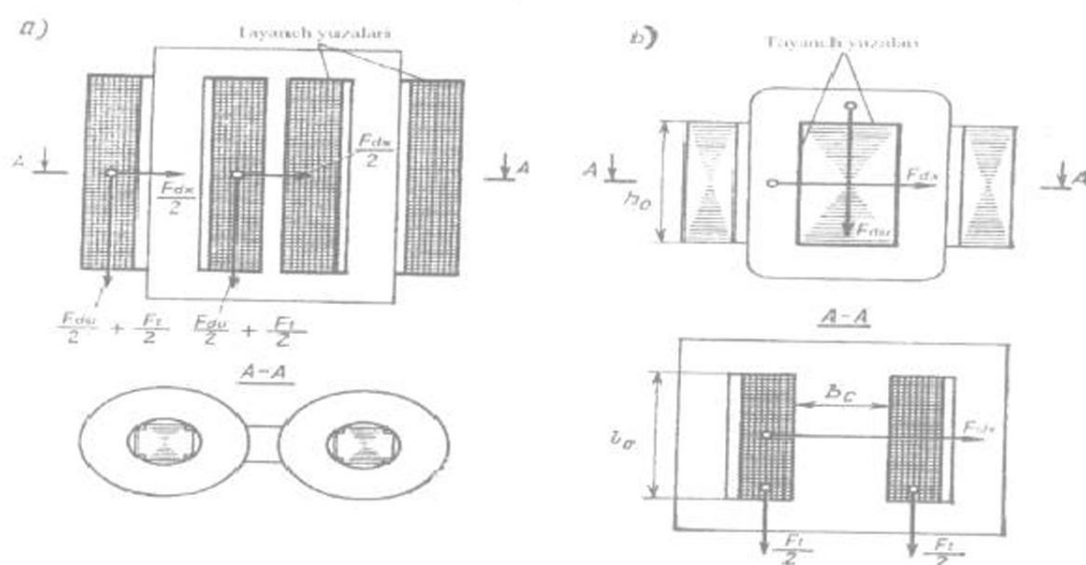
bunda, f – chulg'am yuzasining ustunda ishqalanish koeffitsiyenti;
 F_{pq} – prujinali siquvchi qurilmaning siqish kuchi.

Bronli transformatorlar uchun shaybali turdagi elementlardan tuzilgan to'g'ri burchakli magnit o'tkazgichlar va chulg'amlar bo'lishi xususiyatlarga ega (10.5,b,v-rasm). Ularning past kuchlanishli chulg'amlarini bir yoki ikki o'ramli shtamplangan turli burchakli shaybali, bir-biridan faqat tagliklar bilan izolyatsiyalangan yuqori kuchlanish chulg'ami bir yoki ikki qatlamli g'altak hamda to'g'ri burchakli ko'rinishda izolyatsiyalangan o'tkazgichlardan o'ralib yig'iladi. Bunday transformatorlarda chulg'amlar magnit o'tkazgich o'zagi yoki yuzasi bo'yicha tirgakka ega va 10.4,b-rasm bo'yicha o'rta o'zak yuzasiga dinamik kuchlar gorizontal tomonidan siquvchi solishtirma kuchlar ta'sir qiladi.

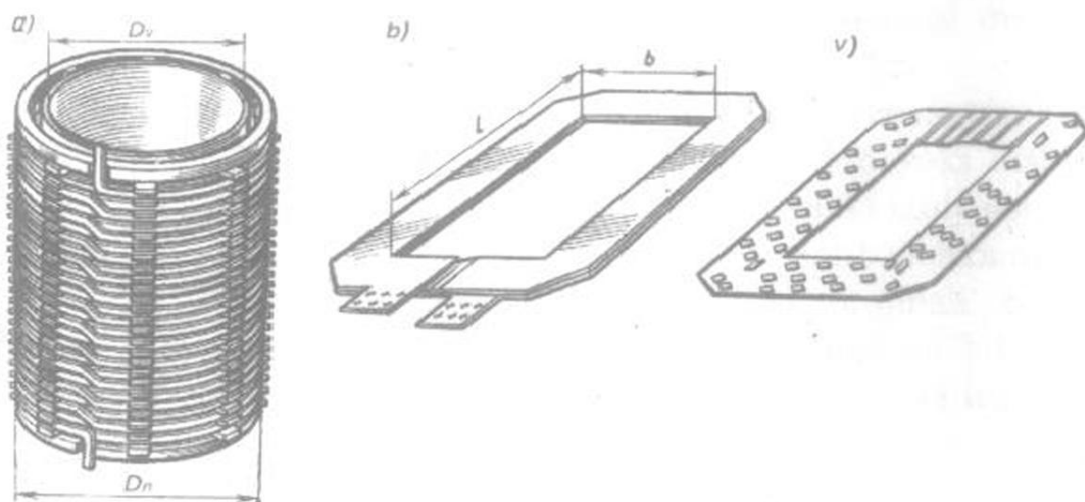
$$P_{dx} = \frac{F_{dx}}{(l_0 h_0)} = m_0 a_{dx} / (l_0 h_0)$$

bunda, l_0 , h_0 – mos holda magnit o'tkazgich oynasining kengligi va balandligi.

Ko'pincha P_{dx} ning qiymati shundayki, bunda chulg'amni magnit o'tkazgichlar bilan aloqasining monolitligi, a shaybali konstruksiyada ularning o'lchami uzluksiz silindrsimon chulg'amlarga nisbatan ancha yuqori stabil holatda bo'ladi. Bu bronli turdagi tortuv transformatorlarini massa gabaritli ko'rsatkichlari va yuqori kuchlanishini ta'minlashi mumkin.



10.4-rasm. Tortuv transformatorlarining o'zakli (a) va (b) bronli sxemalari.



10.5-rasm. Transformator chulg'ami elementlari: a-o'zakli transformator g'altagi; b-shaybali element; v-bronli transformatorlar izolyatsiyalovchi tagligi.

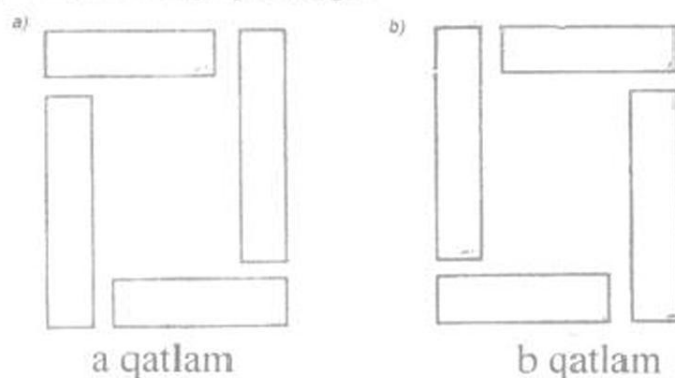
Transformatorlar magnit o'tkazgichlari va chulg'amlari.

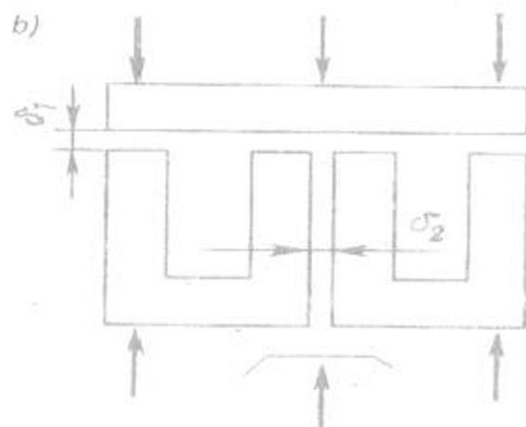
Transformatorlar magnit o'tkazgichlari qalinligi 0,35 mm dan katta bo'lmagan, pechda quritilgan lak bilan qoplangan elektrotexnik po'lat plastinkalardan shixtalab tayyorlanadi. Silindrsimon uzuqsiz yoki diskali chulg'amlarda o'zaklar pog'onali shaklda 7-9 bo'g'inli qilib tayyorlanadi. Po'lat o'zak kesim yuzasining to'ldirish ko'effitsiyenti, k_{zs} , o'zakning pog'onasimonligini hisobga oluvchi ko'effitsient k_{kr} va po'latni izolyatsiyasini hisobga oluvchi ko'effitsiyenti k_{iz} quyidagicha aniqlanadi:

$$k_{zs} = k_{kr} k_{iz}; \quad k_{kr} = 4\epsilon S_{st} / (\pi D_{st}^2)$$

$$k_{iz} = \frac{\Delta_{st}}{(\Delta_{st} + 2\delta_{iz})}$$

bunda, S_{st} – o'zak pog'onalari ko'ndalang kesimi yuzasi; D_{st} – o'zak joylashtiriladigan aylana diametri; Δ_{st} , δ_{iz} – mos holda po'lat plastinka va uning qatlami izolyatsiyasining qalinligi.





10.6-rasm. Tortuv transformatorlarini shixtalash sxemasi.

Tortuv transformatorlarining magnit o'tkazgichlari shunday shixtalanadiki (po'lat plastinkalardan yig'iladi), ulardan foydalanish jarayonida ular xarakteristikalarini va monolitligi stabil holda qolishi lozim.

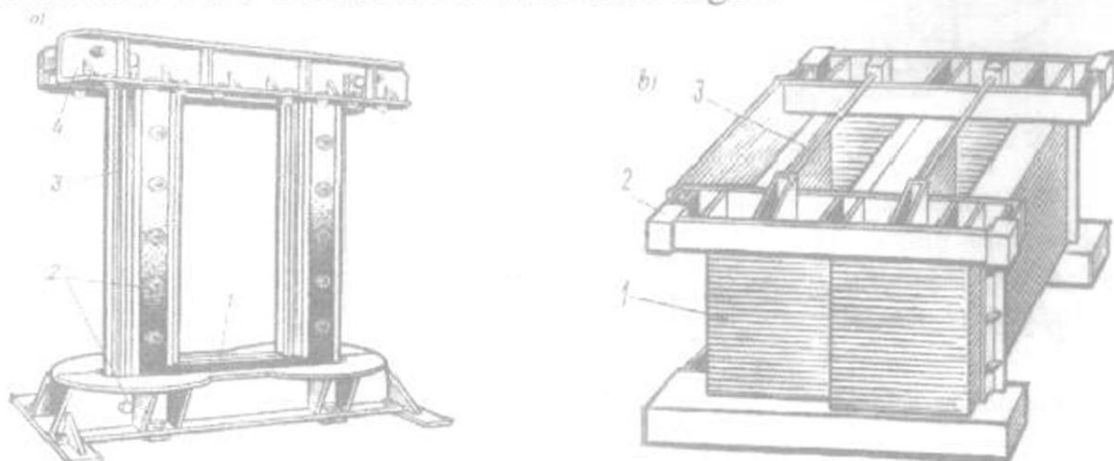
Mumkin qadar, plastinkalarning ko'rinishi sodda bo'lishi, ular soni va birikishlar soni minimal bo'lishi, a ularni biriktirish uchun murakkab qurilmalar talab etilmasin.

Ko'p hollarda o'zakli transformatorlar uchun shixtalash usuli, a va b qatlamlarni almashlab monolitligini saqlash qo'llaniladi (10.6,a-rasm). Bronli tortuv transformatorlari uchun ko'pincha po'latning Π -shaklidagi plastinkalaridan foydalaniladi, bu elementlar turi va biriktirishlar sonini kamaytirish imkonini beradi (10.6-rasm).

Transformatorlarning reaktiv qarshiligini oshirish uchun, qisqa tutashishdan himoyalashni yengillashtirish maqsadida va EHT ning xarakteristikasini yumshatish maqsadida ular orasida δ_1 diomagnit bo'shliq, a ko'pincha sovutish moyi uchun ichki bo'shliq δ_2 ko'zda tutiladi. O'zakni tortuv transformatori uchun xarakterli bo'lgan magnit tizimini ko'rib chiqamiz (10.7,a-rasm). Ko'pincha vertikal o'zaklar 3 pog'onasimon ko'ndalang kesimga ega, a yarmo 1 to'g'ri burchakli kesimga ega bo'ladi va gorizontall joylashtirilgan bo'ladi. Magnit o'tkazgichlar 4 balkalar yordamida tortilgan. Ularni mahkamlash uchun izolyatsiyalangan shpilkalar 2 dan foydalanilgan. O'zaklarni kuchlangan ipli oynani lentalar bandaji yordamida mahkamlanishi ham mumkin. Bronli turdagi transformatorlar uchun magnit tizimi o'ziga xos xarakterga ega bo'lib, 10.7,b-rasmda ko'rsatilgan. Magnit o'tkazgich konstruksiyasida o'zaklar kesimi to'g'ri burchakli bo'lganda, sterjenli turdagi transformatorlarga nisbatan: barcha po'lat plastinkalar gorizontall joylashtiriladi. Magnit o'tkazgich 1 rama 2 bilan siquvchi shpilka 3 yordamida joylashtirilgan.

Har bir tortuv transformatorlarining tarkibiga uning aktiv (chiqariluvchi) qismi va sovutish qurilmasi tarkibiga kiruvchi moy baki nasos, radiatorlar (issiqlik almashgich) va boshqalardan iborat.

Ajratiladigan past qismi balka 1 ni o'zakli tortuv transformatorning chiqariluvchi qismi izolyatsion taglik orqali silindrsimon yoki diskali 2 chulg'amga mahkamlanadi. Ularning ustki qismidan chetki izolyatsiyaga 3 va kesilgan metall halqaga 4 (ba'zida oyna plastmassali) mahkamlanadi. Halqaga yuqori yarmo balkalariga mahkamlangan prujinali siquvchi qurilma bilan siqiladi, ular vertikal yo'nalishda chulg'amlarni bir tekisda o'zgarishsiz siqib turadi. Transformatorning qopqog'i 10 ga va ustun 7 ga bosh kontrollerni o'rnatish uchun mahkamlangan.

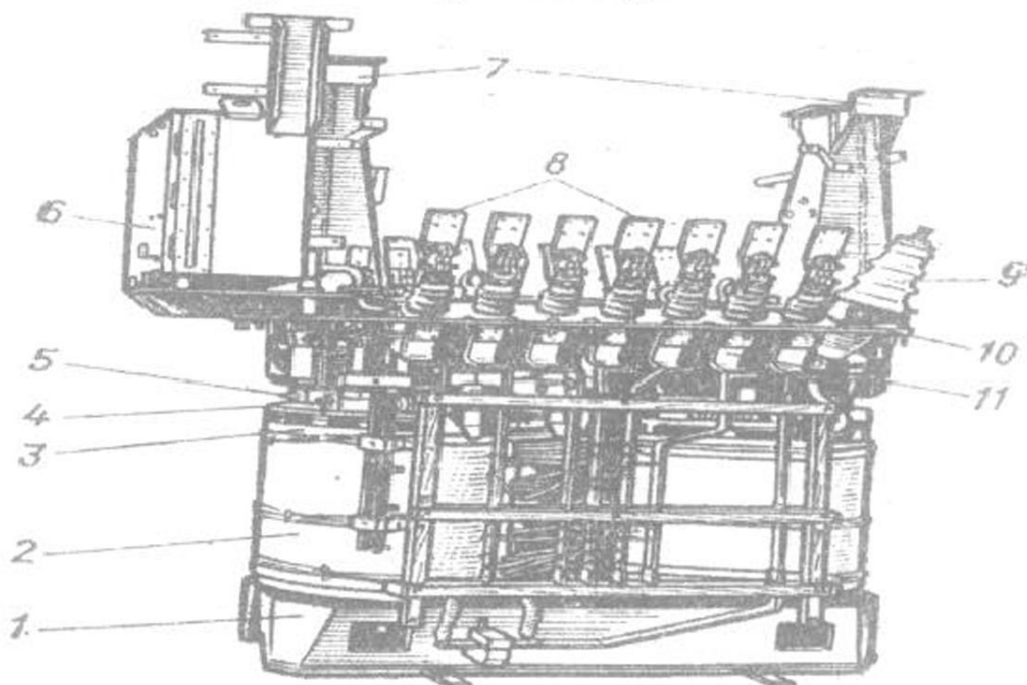


10.7-rasm. O'zakli (a) va bronli (b) transformatorlarning magnit tizimi.

Moy kengaytirgich 6 moy sathini ko'rsatkichi bilan, ikkilamchi chulg'am chiqishlari 8, tarmoq chulg'ami chiqishi 9 lar mahkamlangan. Transformator chulg'amlari shinali chiqish joyi 8 egiluvchan shuntlar 11 orqali biriktirilgan, yuklamadan yukni ajratuvchi chiqishlar ko'rsatilgan (10.8-rasm). Yarmoning balkasida 9 ikkita maxsus ustun vintlar 1 o'rnatilgan, a siquvchi 7 halqa yuzasida harakatlanuvchi bashmak 3 o'rnatilgan. Bashmaklar 3 va vintlar 1 orasida siquvchi o'zak 2 joylashgan. Bashmak bo'shlig'i ichidan yo'naltiruvchi shpilka 4 o'tadi, ularning oxiri tirgak oxiri 6 ga mahkamlangan. Tirgak va bashmak o'rtasida har bir shpilkada 4 prujina 5 joylashtirilgan. Qurilmani boshlang'ich o'rnatish uchun va rostlashda shpilka 4 ning oxirida rezba ochilgan va vaqtinchalik gaykalar 8 buralgan, ular qurilma o'rnatilib rostlangandan keyin olib tashlanadi. Boshlang'ich holatda cho'lg'mga bosiluvchi kuch $F_{n\sigma}$ quidagicha aniqlanadi.

$$F_{n\sigma} = F_{p\sigma} \operatorname{ctg} \alpha = \mathcal{K} \Delta i_{\sigma} \operatorname{ctg} \alpha$$

bunda: F_{p0} – prujinaning boshlang'ich bosishdagi kuch; Δl_0 5–prujinaning boshlang'ich siqilishi; $\mathcal{K}$ – prujinaning natijaviy qattiqligi; α – o'zakning egilish burchagi (10.10,b-rasm). Agar chulg'amlar δ qiymatigacha pasayish bersa, u holda α – boshlang'ich burchagi o'zgaradi; $\alpha_1 = \arccos[(\rho \cdot \cos \alpha + \delta)/\rho]$, bunda, ρ – o'zak 2 ning hisoblangan uzunligi.



10.8-rasm. ОДЦ-500/25Б- turdagi baksiz transformatori.

1-pastki yarmo balkasi; 2-chulg'am; 3- chetki izolyatsiya; 5- kesuvchi metall halqa; 6-moy kengaytirgich sathini ko'rsatkich bilan; 7-bosh kontroller uchun ustun; 8-chiqishlar; 9-yuqori kuchlanishli kirish; 10-bak qopqog'i; 11-chiqishning egiluvchan shunti.

δ qiymatining α_1 burchakka ta'siri qancha kichik bo'lsa, $\rho \cdot \cos \alpha$ qiymati δ dan katta bo'ladi. Asosan bu o'zak uzunligi ρ ning ortishi bilan sezilarli bo'ladi. Chulg'amslarning δ qiymatga pasayishi natijasida bashmak $\Delta l = \rho(\sin \alpha - \sin \alpha_1)$ masofaga suriladi.

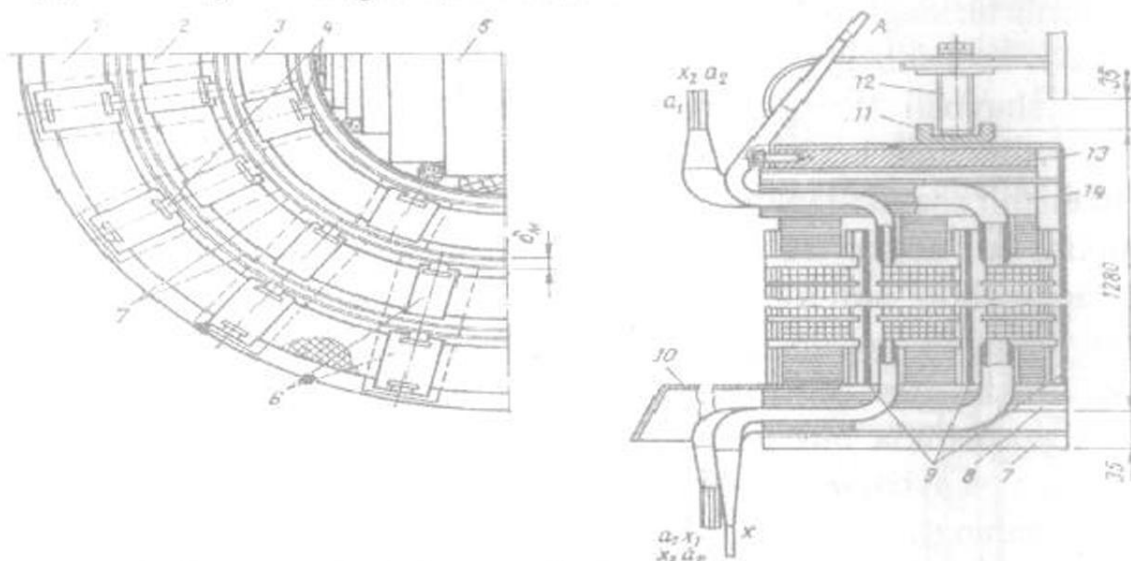
δ ning kichik qiymatida α va α_1 lar orasidagi farqi va ularni taqqoslanganda Δl ning qiymati yuqori emas. δ ning pasayishi prujinaning boshlang'ich kuchi F_{p0} quydagicha pasayadi.

$$F_p = \mathcal{K}(\Delta l_0 - \Delta l) = \mathcal{K}[\Delta l_0 - \rho(\sin \alpha - \sin \alpha_1)]$$

F_{p0} ning qiymatini pasayishi qancha ko'p bo'lsa α va α_1 lar orasidagi farq shuncha katta bo'ladi. Mos holda siqish kuchi o'rnatiladi.

$$F_n = F_p \operatorname{ctg} \alpha = \mathcal{K}[\Delta l_0 - \rho(\sin \alpha - \sin \alpha_1)] \operatorname{ctg} \alpha_1$$

α ning pasayishi kvadrat qavs ichidagi qiymatning pasayishiga va $\text{ctg} \alpha_2$ qiymatining ortishiga olib keladi.



10.9-rasm. OQP-5600/25 transformatorining o'zak chulg'ami

- 1- ikkilamchi chulg'amning rostlanuvchi qismi; 2-birlamchi chulg'am; 3-ikkilamchi chulg'amning rostlanmaydigan qismi; 4-reykalar; 5- magnit o'tkazgich; 6- tagliklar; 7- bakelitli silindrlar; 8,14-pastki va ustki yarmolar izolyatsiyasi; 9- tenglashtiruvchi; 10- to'siq; 11- qisuvchi bashmoq; 12-siquvchi bolt; 13-siquvchi halqa.

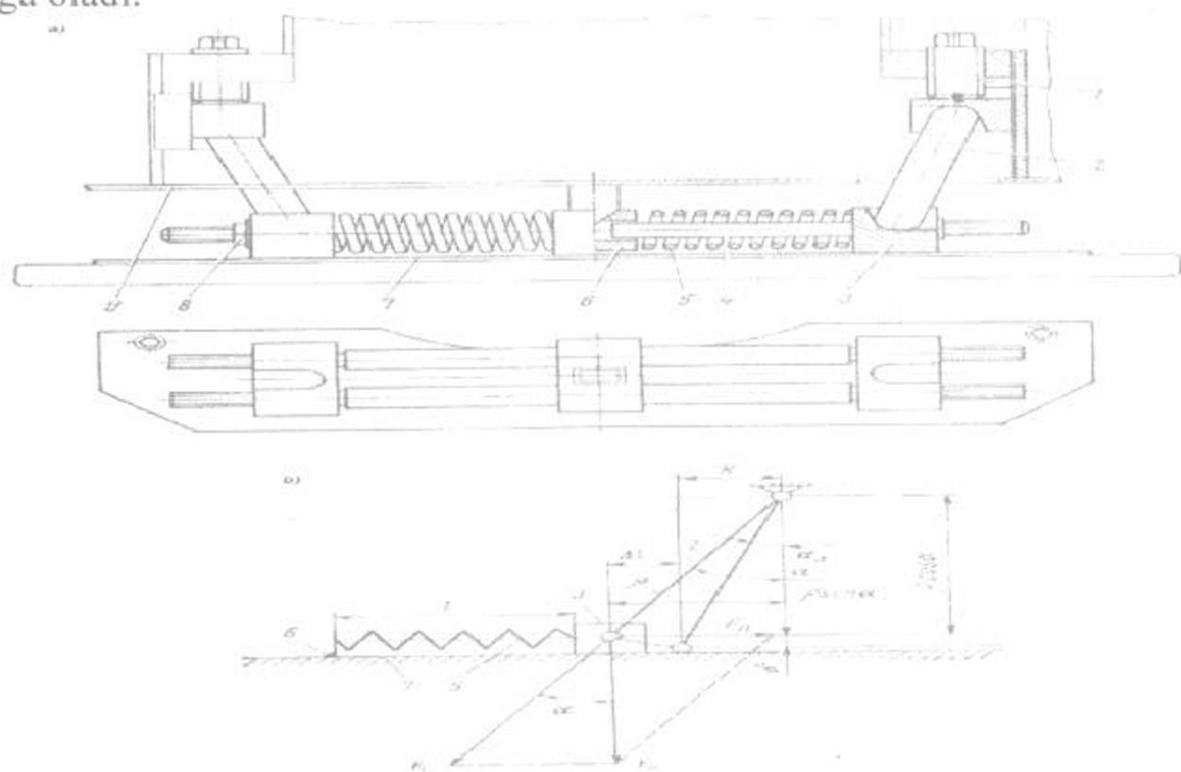
Tenglamalardagi ko'p hadlilikni qarama-qarshi o'zgarishi siqishni stabillashga olib keladi, ularning darajasi konstruktsiya o'lchamlariga bog'liq; λ , α_0 , ρ va boshqalar. Siquvchi prujina qurilmasi chulg'amga amalda o'zgarmas yuqori bosim ko'rsatadi. Shunga ko'ra OHДЦЭ-10000/25 transformatori bir o'zagi chulg'amiga bosuvchi kuch taxminan 260 kN ni tashkil qiladi, bu bir o'ramga ta'sir etuvchi kuch 65 kN ga teng bo'lishiga mos keladi. Elektr poyezdlari uchun transformatorlar vagon kuzovi tagida joylashtiriladi.

Ularda o'zaklarning joylashishi vertikal emas, gorizantal joylashgan bo'lishi lozim. OQP-10000/25 transformatori uchun (10.11-rasm) – olib yuruvchi qismi – unga boltlar bilan mahkamlangan, uning baki qopqog'i 8 hisoblanadi. Qopqoqda shpilkalar 11 mahkamlanadi, unda yarmo balkasi orqali barcha aktiv qismlar, birinchi navbatda magnit o'tkazgich 1 ham osilgan. O'lchamlarning chegaralanishi moy kengaytirgichdan foydalanmaslikni taqozo qiladi va qopqoq tagida moy oynasi ochilishi yuzaga keladi. Uning yuzasida to'lqin hosil bo'lishini bartaraf etish uchun qopqoq 8 moyni tinchlantiruvchi quti 6 bilan bajariladi.

Magnit o'tkazgichlarning gorizantal joylashishi boshqa konstruktiv xususiyatlar bilan, chulg'amlarni bir tekisda sovitishni ta'minlash, kirish va chiqish konstruksiyalari hamda boshqa elementlari sababli amalga oshiriladi. Bu konstruktiv materiallardan foydalanishni yomonlashtiradi va

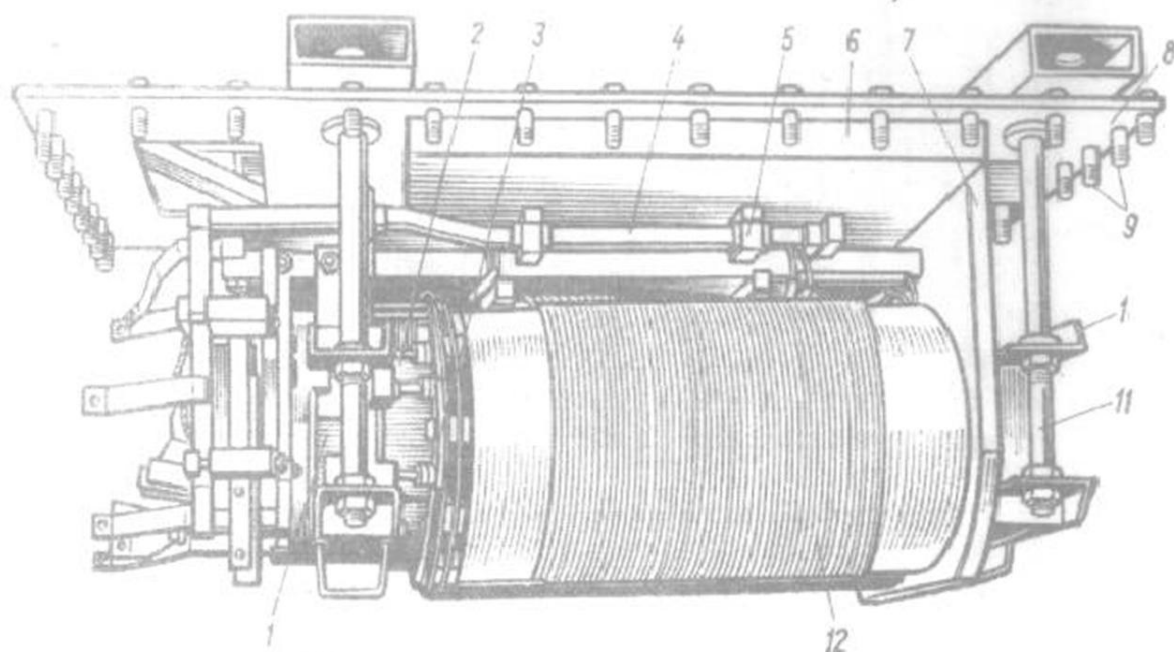
birlik quvvatga to'g'ri keladigan solishtirma massani sezilarli darajada oshirib yuboradi.

Bronli turidagi tortuv transformatorlarining asosiy xususiyatlari to'g'ri burchakli ko'ndalang kesimli magnit o'tkazgichlar va gorizantal shixtalash hamda shaybali chulg'amni qo'llashdan iborat. Bunday konstruksiya tashqi dinamik kuchlarning ta'siriga ancha chidamli bo'ladi. Yuqori kuchlanishli shaybali chulg'amlarni har xil sondagi o'ramlar bilan bajarish mumkin, u holda kuchlanishni rostlash davomida transformatorning birlamchi chulg'ami tomonidan $\Delta I = const$ ni ta'minlashga imkon beradi. O'zak uzunligi bo'ylab temperatura taqsimlanishini ta'minlash uchun chulg'am shaybasi suriluvchi tartibida o'rnatiladi, ularni payvandlash yoki boltlar yordamida biriktiriladi. O'zak gilza yordamida izolyatsiyalanadi. Chulg'am shaybalari bir-biridan taglik bilan izolyatsiyalanadi (10.5.v-rasmga qarang). Ularning chetlari (bobishkalari) bo'shliqni hosil qiladi va ular quyidagi kenglikka ega bo'lishi lozim: yuza qismi izolyatsiyalanmagan past kuchlanishli chulg'am shaybasi orasida 4-5 mm, disksimon chulg'amlar orasida 10-11 mm, chulg'amlar va magnit o'tkazgichlar orasida 12 mm dan kam bo'lmasligi lozim. Shaybali chulg'amlarda ko'pincha alohida shaybalar tashqi kontur bo'yicha izolyatsiyalovchi kasetalar bilan shaybalarning ishonchli izolyatsiyasini ta'minlovchi va sovituvchi moy oqimining bir tekisda taqsimlanishini o'z ichiga oladi.



10.10-rasm. ОНДЦЭ-10000/25 transformatorning prujinali siquvchi qurilmasi.

Bu masalan birlamchi tarafdin kuchlanishi rostlanadigan bronli turdagi transformatorlarda amalga oshiriladi. Bronli tortuv transformatorlarining yuqori mustahkamlik, yuqori ekspluatatsion ishonchliligi va boshqa foydali sifatlardan tashqari bir necha kamchiliklari mavjud; bir qancha chulg'amlar uchun mis sarfi yoki shaybali chulg'amlarda transpozitsiyaning yo'qligi sababli yuqori isroflar mavjudligi, ularning tayyorlanishiga va ta'mirlashga ancha yuqori talabning quyilishi.



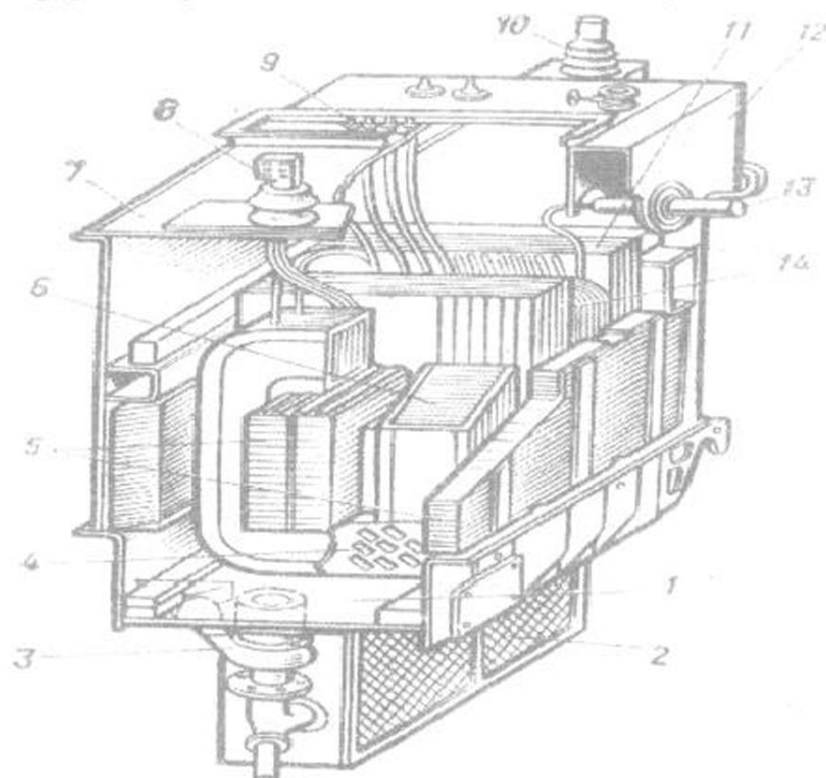
10.11-rasm. Baksiz OLIP-10000/25 transformatori.

1-magnit o'tkazgich; 2-siquvchi shpilka; 3-bosuvchi getinaksli halqa 4-chulg'amlardan chiqishlar; 5-klitsalar; 6-moy tinchlantiruvchi quti; 7-to'siq; 8- bak qopqog'i; 9- bakni mahkamlovchi boltlar; 10- yarmo ushlagich; 11- osish shpilkalari.

Tortuv transformatorlaridagi moy hajmining sezilarli darajada o'zgarishdan atmosfera havosi bilan moyning tegish yuzasini sezilarli darajada pasaytirish imkoni bo'lgan kichik o'lchamdagi moy kengaytirgichi bilan kompensatsiyalanadi. EHTlari ishlashi davomida havo sezilarli ifloslanganligi va namlanganligi uchun moy kengaytirgich atrof-muhit havosi bilan havo tozalagich va havo quritgichlar orqali biriktiriladi (10.13-rasm).

Moy kengaytirgichida moy hajmining kamayishi bilan qayta taqsimlash bo'ladi va atrof-muhit havosi havo quritgichdan uning past qismidagi tirqishidan qobiq 3 orqali chiqariladi. Keyinchalik u faqat moy bilan nazorat tiqini 2 ning sathiga yetgach qobiq 1 ning past qismidagi moy to'sgich orqali o'tishi mumkin. Havo moy to'sig'i orqali o'tganda chang va boshqa ifloslanishlardan keyin oynali silindir 7 va qopqoq 8 orqali 3 qobiq bilan tashkil topgan quritish kamerasiga tushadi. Kamera

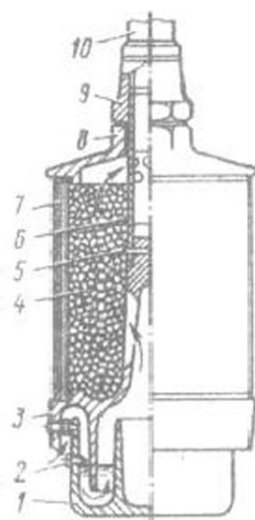
namlanish chegarasiga yetgach, rangi o'zgaradigan (silikagel, blaugel va boshqalar) aktiv gigroskopik mahsulot 4 bilan to'ldirilgan.



10.12-rasm. Bronli turidagi trasformator.

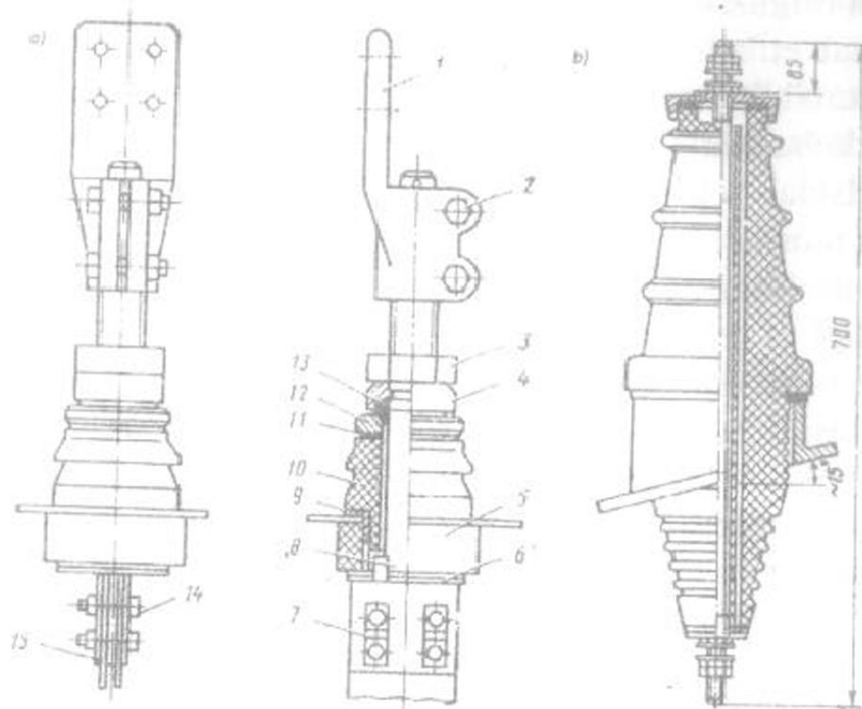
- 1- pastki bak; 2- issiqlik almashtirgich; 3- moy nasosi; 4- moy taqsimlagich tagligi;
 5- magnit o'tkazgich; 6,14- tortuvchi va birlamchi chulg'amlar; 7- bak qopqog'i;
 8,9,10- mos holda chiqishlar tortuvchi, pog'onalar qo'shgichi, yordamchi;
 11- chulg'am elementlari kassetasi; 12- yog' taqsimlagich; 13- 2,5 kV li kirish.

Qurilgan havo qobiqqa 6 quvur orqali shplint 5 bilan gayka 9 ga mahkamlangan 10 quvur orqali moy kengaytirgichga tushadi. Tortuv transformatorlarining kirishi va chiqishi qoidaga asosan, baklarning yuqori qopqoqlarida joylashtiriladi.



10.13- rasm. Tortuv transformatori moy quritgichi

Chulg'amlarning chegaralanganligi tufayli chiqishlarni transformatorlar bakining yon tomoni devoriga joylashtirishga to'g'ri keladi. Tortuv transformatorlarining chiqishlari (10.14, a-rasm) zarur bo'lgan germetiklikka va zarur bo'lgan mustahkamlik zaxirasiga ega bo'ladi. Qoidaga asosan bunday transformatorlarda maxsus bajarilgan kirishlardan foydalaniladi (10.14, b-rasm). Ba'zida chiqish uchun umum qo'llaniladigan yuqori kuchlanishli chiqishlardan foydalaniladi (36 kV).



10.14-rasm. Tortuv zanjiri (a) va 25 kV tarmog'i (b) chiqishlari
1-biriktirish qisgichi; 2- boltlar; 3- siquvchi gayka; 4,12-alyumin halqalar; 5,10- ichki va tashqi izolyatorlar; 6-shayba; 7,15-qulflash plastinkalari; 8-tok o'tkazuvchi shpilka; 9,11-rezinali taglik; 13-halqa; 14-plastinka.

Nazorat savollari

1. Tortuv transformatorining tuzilishi va ishlashini aytib bering?
2. Tortuv transformatoriga ta'sir etuvchi faktorlar nimalardan iborat?
3. Tortuv transformatorlarining transformatsiya koeffitsiyenti qanday aniqlanadi?
4. Tortuv transformatorida kuchlanish va yuklamaning stabil (bir tekisda) bo'lmaganligining ta'siri qanday?
5. Tortuv transformatorlari o'z ehtiyoji uchun chulg'aming vazifasini aytib bering?
6. Tortuv transformatori moy quritgichi vazifasini aytib bering?
7. Bronli turidagi transformatorning oddiy transformatoridan farqini ayting?

11-bob. Tortuv elektr mashinalarini sinash

11.1-§. Tortuv elektr mashinalarini sinashning turlari va rejalari

Tortuv elektr mashinalarini yuqori sifatli tayyorlashni va ta'mirlashni ta'minlash uchun GOST 258281 standart talabi bo'yicha besh turdagi sinash ko'zda tutiladi: kvalifikatsion, qabul qilish-topshirish, davriy, tipik va resursli.

Sinashni o'tkazishda elektr mashinalari uchun mo'ljallangan tok turida o'tkazish talab etiladi.

Kvalifikatsion sinash yangi turdagi elektr mashinalar ishlab chiqarilganda hamda yangi ishlab chiqaruvchini yo'lga qo'yganda amalga oshiriladi. Ishlab chiqarilayotgan mashinalarni sinash davlat standarti namunasiga mos holda o'tkaziladi.

O'zgarmas tokli va pulsatsiyalanuvchi toklar mashinalarini sinash ketma - ketligi va rejasi quyidagicha amalga oshiriladi:

- elektr mashina kirishidagi sovitadigan havo bosimining statik xarakteristikasini u orqali yuboriladigan havo isrofiga nisbatan (bog'liq bo'lmagan holda shamollatiladigan mashinalar uchun) hamda mashinaga kirish joyida kiruvchi to'liq bosimning sarflanayotgan havoga bog'lanish xarakteristikasini aniqlash;

- o'zgarmas tokli chulg'amning qarshiligini sovuq holatda o'lchash;
- nominal rejimga nisbatan uzoq davomli, qisqa takrorlanuvchi va takrorlanuvchi rejimlardagi quvvatga nisbatan qizishini sinash;

- soatli va boshqa ekvivalent rejimlarda tokni mashinaning nominal ish rejimidagi temperaturaning o'zgarishiga mos holda o'zgarishini aniqlash;

- agar mashina qisqa vaqtli ish rejimiga hisoblangan bo'lsa, bir soatda yoki undan kam vaqtda qizishini sinash;

- kuchlanishning nominal qiymatlarida, yuklama toklarida va nominal qo'zg'atishda aylanish chastotasi va reverslashni tekshirish;

- mashinani yuqori aylanish chastotasida sinash;

- chulg'am o'ramlari orasidagi izolyatsiyaning elektr mustahkamligini sinash;

- kollektorning tebranishini va kommutatsiyasini aniqlash;

- mashina korpusini va chulg'amlar orasini chulg'am izolyatsiyasiga nisbatan qarshiligini o'lchash hamda chulg'am izolyatsiyasining mashina korpusi va chulg'amlar orasiga nisbatan elektr mustahkamligini tekshirish;

- tortish motorlari va tortish generatorlarini qizish va sovush egri chizig'i to'rlarini qurish;

- motorlarning uchlarida kuchlanishning nominal o'zgarishida va motor qo'zg'atish chulg'aming barcha rostlash pog'onalaridagi tezlik xarakteristikalarini olish va generatorning yuklama xarakteristikasini yakor toki nominal tokka nisbatan 0; 0,5; 1,0; 1,5 bo'lganda (motorlar uchun esa yuklama xarakteristikasini qo'zg'atish chulg'ami tokining nominal tokka nisbatan 0,25 dan eng yuqori qiymatiga o'zgartirib olinadi);

- asosiy va qo'shimcha qutblarda magnit oqimining sinishini hamda tortuv motorlari, generatorlari va yordamchi mashinalarning induktivligini aniqlash;

- quvvati 3 kVtdan yuqori bo'lgan mashinalar kollektori aylanasi bo'ylab lamellar oralig'idagi kuchlanishning taqsimlanish egri chizig'ini olish;

- isroflar va F.I.Kni aniqlash;

- namlikda va sovuq holatlarda ishga tushirishni sinash;

- tebranish sathini tekshirish;

Bundan tashqari GOST- 2582 -81 standartiga asosan sinashning boshqa bandlari ko'zda tutiladi.

Qabul qilish-topshirish sinashining asosiy maqsadi yig'ilgan mashinalarning ish holatini tekshirishdan iboratdir. Bunda mashina chulg'aming qarshiligi sovuq holatda o'lchanadi; chulg'amlarning, kollektor podshipniklarining qizishini nominal yoki boshqa qisqa muddatli rejimda hisoblangan mashinaning yakori aylanish chastotasi ikkala yo'nalishda kuchlanishning nominal qiymatlari yakor va qo'zg'atish hamda yuqori aylanish tezligida tekshiriladi; o'ramlar izolyatsiyasining elektr mustahkamligi tekshiriladi, uning qarshiligi va tok o'tkazuvchi qismlari izolyatsiyasining korpusga, g'altaklarga mustahkamligini va kommutatsiyani nazorat qilish; mashinalar kollektorining o'rilishini va tebranish sathini o'lchashdan iborat.

Ko'plab ishlab chiqiladigan mashinalarni **davriy sinash** ikki yilda bir marta yoki buyurtmachining talabi bilan har yili xarakteristikalarining stabilligi va nominal ma'lumotlarini tekshirish uchun o'tkaziladi. Sinaladigan mashinalarning sonini tayyorlovchi buyurtmachi bilan kelishgan holda bajaradi. Davriy sinash kvalifikatsion sinashning qisqartirilgan rejasi asosida bajariladi.

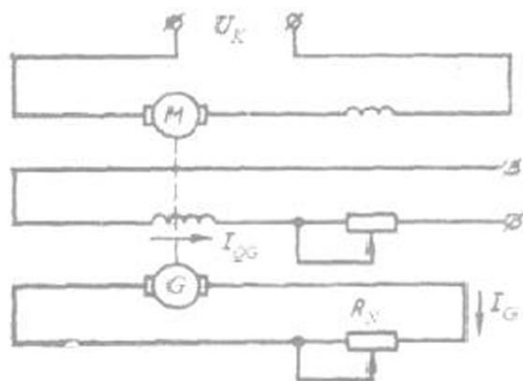
Tipik sinashda–kvalifikatsion sinash rejasiga konstruksiyasiga yoki elektr mashina texnologiyasiga o'zgartirish kiritilgandan keyin hamda materiallar o'zgartirilganda amalga oshiriladi. Buyurtmachi bilan kelishilgan holda agar kiritilgan o'zgartirishlar xarakteri rejani bajarilishini talab qilmasa, yuqoridagi rejadan ba'zi bandlarini bajarmaslikka ruxsat

etiladi. Tebranishga mustahkamligini sinash bitta namuna uchun o'tkaziladi.

Resursli sinash – mashinaning ishchi holatidagi resursini baholash va mustahkamligini tekshirish maqsadida amalga oshiriladi. Sinaladigan mashinalarning soni buyurtmachi bilan kelishilgan holda o'rnatiladi. Bu sinash ham mashina konstruksiyasiga, materialiga tayyorlanish texnologiyasiga yoki ekspluatatsiya qilish shartlariga sezilarli o'zgartirish kiritilganda amalga oshiriladi. Resursli sinash rejasi ishqalanishdan va tutash yuzalarning yemirilishini tekshirish, ularni qayta tiklash ta'miri o'tkazguncha bo'lgan resursini aniqlash, mashinaning tebranishga mustahkamligini va ularni ushlab turgan elementlarni issiqlikdan eskirishini sinash va ularning resursini aniqlashlarni amalga oshiradi. Bu sinashlar bevosita elektr harakatlanuvchi tarkibda yoki ekspluatatsion yoki forsirovka qilingan yuklamani ta'minlaydigan maxsus stendlarda bajariladi. Yordamchi asinxron mashinalar va faza ajratgichlarni sinash turlari yuqoridagi sinflash asosida amalga oshiriladi. Asinxron motorlar va faza ajratgichlarni sinash rejasi keyingi rejalarda ko'rib chiqilgan.

11.2-§. Sinalayotgan mashinalarni yuklash tizimlari

Sinalayotgan mashinalarning quvvatiga nisbatan sinashda ikkita yuklash tizimidan foydalaniladi - bevosita yuklash tizimi va o'zaro yuklash tizimidan. Bevosita yuklash tizimida (11.1-rasm) sinalayotgan motor M energiya manbai U_K ga kuchlanish bilan ulanadi, a uning o'qi maxsus mufta yordamida generator rejimida ishlaydigan va sinalayotgan motorni yuklovchi boshqa elektr mashina. Bunda generator yordamida ishlab chiqarilayotgan elektr energiyasi yuklash qarshiligi R_N yordamida so'ndiriladi. Yuklash generatorining nominal quvvati, aylantiruvchi moment va ruxsat etilgan chegaraviy aylanish tezligi sinalayotgan M motorning mos holdagi parametrlaridan past bo'lishi lozim. Sinalayotgan motorning ish qarshiligi va generatorning qo'zg'atish toki I_{qg} ni rostdash bilan o'zgartiriladi.



11.1- rasm. Motor va generatorni bevosita yuklash tizimi sxemasi.

Buning natijasida ketma-ket qo'zg'atiladigan generator boshqa generatorlar bilan parallel ishlay olmaydi, generator G ning qo'zg'atish chulg'ami ω_1 motor M ning tok zanjiri I_{ga} uning qo'zg'atish chulg'ami bilan ketma-ket ulanadi.

Agar motor va generatorlarning xarakteristikalarini mos kelsa, a ularning o'qlari bir-biri bilan qattiq mufta orqali biriktirilgan, unda ularning yakori aylanish chastotasi bir xil va $E_m = E_g$ teng bo'ladi. Chiziqli generatorni qo'zg'atganda va uning EYUK E_{CHG} o'rtilganda M va G mashinalar yakori aylana boshlaydilar. Mashinalar M va G ning o'zaro yuklanishi, agar generatorning EYUK motorning EYUKdan yuqori bo'lgandagina boshlanadi. Bunga ko'pgina har xil usullar bilan erishish mumkin. Keltirilgan sxema uchun (11.2-rasm). Bu natijaga erishish uchun generator G ga ketma-ket ravishda boshqa qo'shimcha VQM mustaqil qo'zg'atiladigan generatorini ulash yordamida erishiladi.

AG va VQMlarning mustaqil qo'zg'atish chulg'amlari tokini rostlash uchun R_{CHG} va R_{VQM} qarshiliklari yordamida ularning EYUKlarini va mos holda M motor chulg'amlaridagi kuchlanish va uning I_m yuklanish tokini asta-sekinlik bilan rostlash mumkin.

Agar K kontaktorning kontaktlari ajralgan holda VQMning uchlaridagi kuchlanishni oshirilsa, unda generator motor zanjirida tok hosil qiladi. Motor va generatorning qo'zg'atish chulg'amlari zanjirga shunday ulanadiki, ularda hosil bo'layotgan aylanuvchi momentlar qarama-qarshi yo'nalgan bo'lsin. Chunki bir xil magnit xarakteristikada M va G mashinalarning aylanuvchi momentlari bir xil bo'ladi, ularning aylanishi uchun xarakteristikada farqni yuzaga keltirish yoki kuchlanishni o'zgartirish zarur bo'ladi. Agar chiziqli generator chulg'amlaridagi kuchlanishning ma'lum qiymatida K kontaktor qo'shilsa, undagi I_{CHG} tok motor zanjirida I_g tok bilan birga harakatlanadi, chunki $E_u < E_r + E_{VQM}$ bo'ladi. Motor toki I_M generator tokidan I_g chiziqli generator toki miqdorida yuqori bo'ladi ($I_M = I_{CHG} + I_r$). Motor va generatorning bir xil qiymatdagi magnit oqimida motorning aylantiruvchi momenti generatorning momentidan yuqori bo'ladi va M - G tizimida aylanish yuzaga keladi. VQMning kuchlanishi sinalayotgan motorga ta'sirini baholash uchun motor generator konturidagi turg'un holatning elektrik tengligini ko'rib chiqish lozim bo'ladi.

$$E_G + E_{VQM} - E_M - I_g r_g + I_g r_{VQM} + I_M (r_M + r_{qg}) \quad (11.1)$$

bunda: r_g - generatorning qo'shimcha va kompensatsion chulg'amlari va yakor chulg'aming qarshiligi; r_M - motor chulg'amlari qarshiligi; r_{VQM} -

VQM chulg'amlari qarshiligi; r_{qG} – generatorning qo'zg'atish chulg'ami qarshiligi.

$E_{VQM} - I_g r_{VQM} = U_{VQM}$ bo'lganligi uchun (11.1) tenglamani quyidagi ko'rinishida yozish mumkin.

$$U_{VQM} = E_M - E_G + I_g r_g + I_M (r_M + r_{qg}) \quad (11.2)$$

Shunga binoan motor va generator magnit xarakteristikalari bir xil bo'lganda (ya'ni $(E_M = E_G)$) VQMning kuchlanishi motor va generator chulg'amlaridagi kuchlanishning tushishi kompensatsiya qiladi. $r_g + r_{qg} = r_g$ – generatorning barcha chulg'amlari qarshiligi va $(I_g = I_M + I_{qch})$ ni hisobga olib, (11.2) tenglamaga asosan motor tokini topamiz.

$$I_M = \frac{U_{VQM} - E_M + E_G}{r_g + r_g} + \frac{I_{qch} \cdot r_g}{r_g + r_g} \quad (11.3)$$

Shunday qilib, VQMning mustaqil qo'zg'atishli chulg'am tokini rostdash asosida U_{VQM} kuchlanishni o'zgartirish va motorning tokini rostdashni ta'minlash mumkin.

VQMning quvvatini (11.2) tenglamaga asosan aniqlash mumkin, agar o'ng va chap qismlarini I_g ga ko'paytirib quyidagini qabul qilamiz.

$$P_{VQM} = U_{VQM} I_g = (E_M - E_G) I_g + I_g^2 r_g + \Delta U_M I_g \quad (11.4)$$

Sinalayotgan motor chulg'ami uchlaridagi U_k kuchlanish CHGning kuchlanish va generator qo'zg'atish chulg'amidagi kuchlanishning tushishi bilan aniqlanadi.

$$U_k = U_{CHG} - I_M R_{qG} \quad (11.5)$$

$$U_{CHG} = U_k + I_M R_{qG} \quad (11.6)$$

Bu kuchlanishni rostdash uchun CHGning bog'liqsiz holdagi qo'zg'atish chulg'ami kuchlanishni o'zgartiradi. Shunday qilib, generator motor tizimidagi barcha quvvat isroflar $\sum \Delta P_M + \sum \Delta P_G$ VQM va chiziqli generator quvvatlari yordamida qoplanadi. Shunga ko'ra, CHGning quvvati

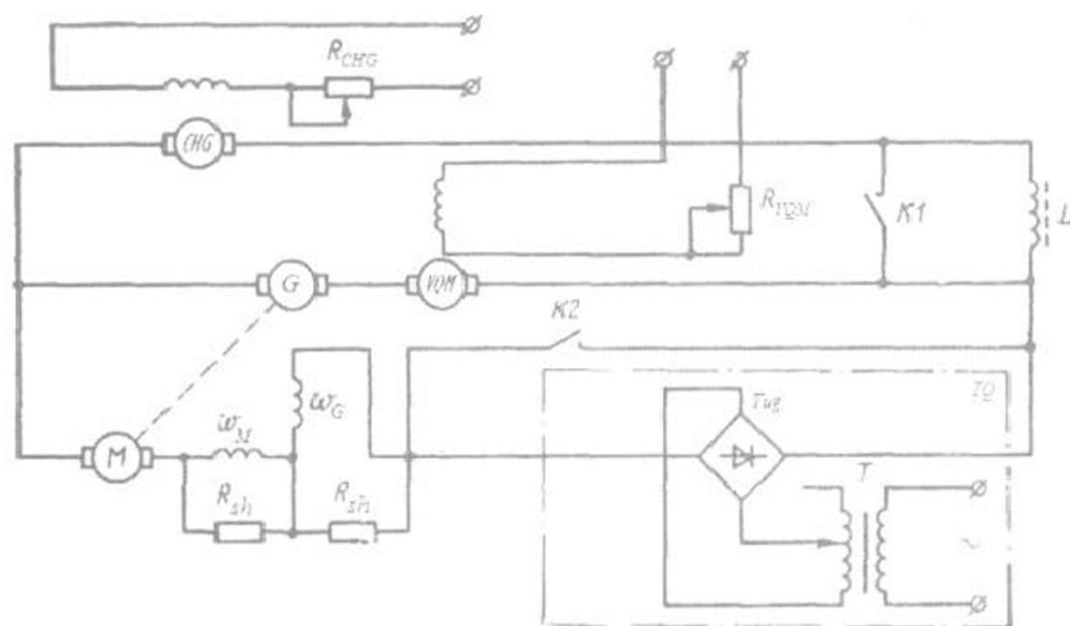
$$\text{Yoki } P_{CHG} = \sum \Delta P_M + \sum \Delta P_G - (E_M - E_G) I_g - I_g^2 r_g - \Delta U_M I_g \quad (11.7)$$

Chiziqli generator toki $I_{CHG} = \frac{P_{CHG}}{U_{CHG}}$ bo'ladi. VQMni tanlashda nominal va eng yuqori kuchlanish (11.2) tenglama yordamida sinalayotgan motorning nominal va eng yuqori tokida $n I_M \approx I_g$ va chulg'am qarshiligi

eng yuqori (eng yuqori ruxsat etilgan temperaturada) bo'lganda aniqlanadi. VQMning nominal va eng yuqori toki motorning mos holdagi qiymatlariga teng qilib olinadi.

CHGning kuchlanishning qiymati (11.6) tenglama yordamida sinalayotgan motorning eng katta tokdagi nominal va eng yuqori kuchlanishida U_k aniqlanadi.

Motor va generatorning umumiy isrofi motorning nominal rejimidagi quvvat isrofining ikkilanganligi bo'yicha qabul qilinadi. Agar qurilmada o'tkinchi jarayonlarni sinash ham ko'zda tutilsa, unda stendning barcha qurilmalari, CHG va VQMLar bilan birga shu jarayonda yuzaga keladigan tok va kuchlanishga nisbatan hisoblanadi. Pulsatsiyalanuvchi tok tortuv elektr motorlari EHTda ishlashda qanday bo'lsa, shunday pulsatsiyada sinaladi. Bu maqsad uchun qo'llanilayotgan harakat tarkibidagi to'g'rilash qurilmasini bevosita yuklash tizimini qo'llash bilan amalga oshiriladi. Faqat bunday sinash usuli katta elektr energiyasi iste'molini talab etadi.



11.3-rasm. Tortuv elektr motorlari impulsli tokdan ta'minlanganda sinash qurilmasi sxemasi.

Shuning uchun pulsatsiyalanuvchi tortuv elektr motorlarini sinashda birgalikdagi yuklash tizimi motor M zanjiriga ketma-ket ulangan T-transformator va V-to'g'rilash qurilmasidan tuzilgan (11.3-rasm) o'zgartirish qurilmasi O'Q. To'g'rilash qurilmasi diod va transformator chulg'amlari orqali doimiy ham pulsatsiyalanuvchi tok tashkil etuvchilardan iborat tok o'tuvchi qilib hisoblanadi. Generator, VQM va CHGlarni pulsatsiyalanuvchi tokda ishlashga ruxsat etiladi. CHG zanjiridagi tok pulsatsiyasining amplitudasining pasaytirish uchun L

induktivlik qo'shiladi. Motor zanjiridagi tok pulsatsiyasining koeffitsiyenti ossillogramma orqali aniqlanadi. Pulsatsiyalanuvchi tok mashinalarini sinashda uning qo'zg'atish chulg'ami R_{sh} —rezistori yordamida shuntlanadi, bu EHTda ham ishlaganda shunga ega bo'ladi.

Sinash stendini (11.3-rasm) doimiy tok mashinalarini ham sinash mumkin bo'ladi, unda kontaktorlar K1 va K2 lar qo'shilgan bo'ladi. Sinashda elektr kattaliklarni o'lchash uchun aniqlanadi sinfi 0,5 dan past bo'lmagan o'lchov jihozlari qo'llaniladi.

11.3-§. Tezlik xarakteristikasini olish, isrof va foydali ish koeffitsiyentini aniqlash

GOST 2582-81 standartiga asosan qabul qilish va topshirish sinashida motor o'qining nominal rejimdagi aylanish chastotasini tipik xarakteristikada belgilangan aylanish chastotasi bilan taqqoslanadi.

Ko'rsatilgan aylanish chastotaning ruxsat etilgan og'ishi mashinaning quvvatiga nisbatan aniqlanadi. Aylanish chastotasining eng ko'p og'ishi quvvati 150 kVtdan yuqori bo'lgan motorlar uchun uning nominal qiymatiga nisbatan $\pm 3\%$ dan oshib ketmasligi lozim.

Bundan tashqari reversli motorlarda nominal quvvatda va nominal qo'zg'atish tokida bir va boshqa tarafdagi aylanish chastotasi ikki tarafda aylanishning o'rtacha arifmetik qiymatining foyizdagi qiymati davlat standarti qiymatidan yuqori bo'lmasligi lozim. Aylanish chastotasini tekshirish va mashinaning tezlik xarakteristikasini ishchi temperaturagacha qiziganda olish amalga oshiriladi.

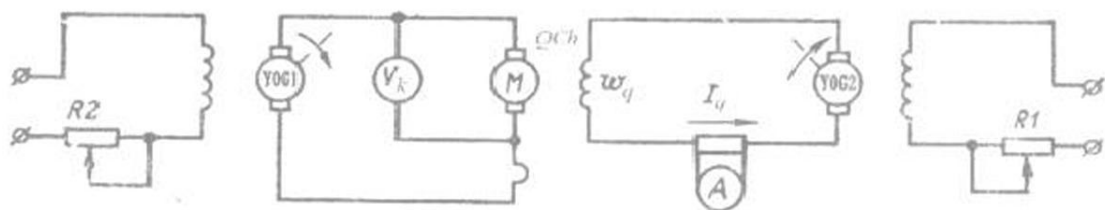
Kvalifikatsion va davriy sinashlarda elektr motorlarning tezlik xarakteristikalari nominal kuchlanishda qo'zg'atishning barcha rostlanadigan ustunlarida olinadi.

Reverslanadigan mashinalar uchun bu ikkala yo'nalishda ham amalga oshiriladi. Ko'rsatiladigan xarakteristikalar yakorning har xil toklarida ruxsat etilgan aylanish chastotasining eng yuqori qiymatida olinadi. Ketma-ket qo'zg'atiladigan mashinaning berilgan darajasi qo'zg'atishning rostlashning koeffitsiyenti $\beta = \frac{I_g}{I}$ (qo'zg'atish tokning yakor tokiga nisbati) bilan nazorat qilinadi. Mashinaning yakor tokiga nisbatan foydali ish koeffitsiyentining bog'lanishini olish uchun har xil yuklanish tokida va kuchlanishda I_k mashinaning quvvat isrofi $\sum \Delta P$ ni aniqlash lozim bo'ladi. Bu ma'lumotlarga ega bo'lib, elektr motorning F.I.Kni aniqlash mumkin

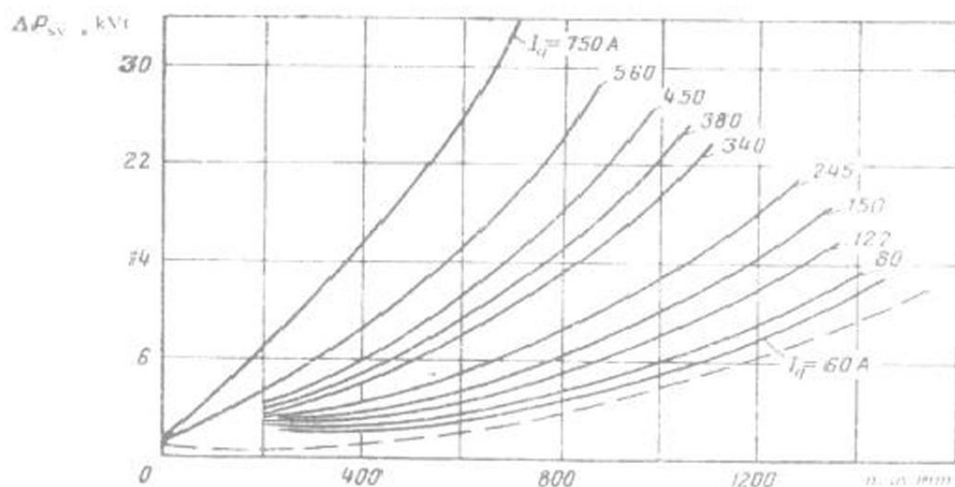
$$\eta = 1 - \sum \Delta P / (U_k I) \quad (11.8)$$

Tortuv elektr mashinalar uchun f.i.k. bilvosita usul bilan aniqlash mumkin, ya'ni bu usul ba'zi isroflar usuli ham aytiladi. Alohida holda barcha mis chulg'amlarning cho'tka kontaktlaridagi, mexanik isroflar (cho'tkaning kollektorga ishqalanishi, yakorning havoda va mashinaga o'rnatilgan ventilyatorning aylanishida), salt yurishdagi magnit isroflar va mashinalar yuklangandagi qo'shimcha isroflari aniqlanadi. Mis chulg'amdagi isroflar hisoblash yo'li bilan tokning qo'zg'atishdagi qabul qilingan rostlash usulini hisobga olgan holda aniqlanadi. Mashina chulg'ami qarshiligini o'lchash ularning ishchi temperaturasida V- sinfdagi izolyatsiya uchun 115°C , F va H sinfdagi izolyatsiyalar uchun 130°C da amalga oshiriladi. Cho'tkaning kontaktdagi isrofi yuklanish toki qiymati bilan cho'tkada kuchlanishning pasayishi 3V ulash shuntlarisiz va 2V shuntli cho'tkalar uchun hisoblanadi. Magnit va mexanik isroflar mashinalar salt ishlaganda tajriba yo'li bilan aniqlanadi va shuning uchun ularni ko'pincha salt yurish $R_{s,yu}$ isrofi ham deb yuritiladi. Ularni aniqlash uchun sinalayotgan mashinalar qo'zg'otish QCH chulg'amlari (11.4-rasm) kuchlanishi R_1 rezistor bilan asta-sekin rostlanadigan tashqi tok manbasi yordamchi generatorga YOG1 ulanadi.

Sinalayotgan mashinalar M yakor zanjirlari, kuchlanishi R_2 rezistori bilan asta-sekin rostlanadigan boshqa yordamchi generator YOG2 orqali energiya bilan taminlanadi.



11.4-rasm. Salt yurishdagi sinalayotgan motor isrofini aniqlash sxemasi.



11.5-rasm. Salt yurishdagi isrof (to'liq chiziqli egri chiziq) va mexanik isroflarning (shtrixli chiziq) HB406B tortuv elektr motorining har xil qo'zg'atish tokidagi aylanish tezligiga bog'lanish grafigi.

Sinash quyidagi ketma-ketlikda amalga oshiriladi. Sinalayotgan mashina qo'zg'atish chulg'ami QCH tokini I_q ga qo'yib uning doimiyligini ta'minlab, VG2 generatorning kuchlanishini asta-sekinlik bilan mashina yakori aylana boshlagunga qadar oshiriladi. Mashina M kollektori kuchlanishi va yakorning aylanish tezligi ruxsat etilgan qiymatiga erishgunga qadar ular kattaliklari o'lchanadi. Keyin VG-2 generatorining kuchlanishi oshiriladi va o'lchash mashina M yakorining aylanish chastotasi yangi o'rnatilgan qiymatiga erishgunga orttiriladi.

Sinalayotgan mashina chulg'amlaridagi kuchlanish eng kichik qiymatdan yakor mumkin bo'lgan past qiymatdan eng yuqori qiymatgacha aylanish chastotasiga erishguncha oshiriladi. Tajriba sinalayotgan mashina qo'zg'atish chulg'ami tokining bir-necha nuqtasida olinadi. Mashina kollektoridagi tok va kuchlanishning olingan qiymatining ko'paytmasi is'temol etilgan quvvatni beradi. Agar bu quvvatdan yakorning mis chulg'amida va cho'tka kollektor kontaktidagi o'tkinchi isroflarni ayirilsa, unda qolgan qismi salt yurishdagi magnit va mexanik isroflar yig'indisiga mos keladi. Ketma-ket qo'zg'atiladigan mashinalarning mexanik isroflarini aniqlangan isroflar yig'indisidan ajratish uchun yuqorida ko'rsatilgan tajriba faqat ketma-ket qo'zg'atish chulg'amida o'tkaziladi.

Har xil aylanish tezligida yakorning is'temol qiladigan quvvati (11.5-rasm) mexanik isroflarni o'zida namoyon qiladi, chunki yakorning elektrik va magnit isroflarni kichkina bo'lganligi uchun ularni hisobga olmasa ham bo'ladi. Tortuv motorlarning mashinani yuklagandagi qo'shimcha isrofi GOST 2582-81 standartiga asosan, yordamchi mashinalar uchun esa GOST 11828-75 asosan qo'llaniladi.

Pulsatsiyalovchi tok tortuv elektr motorlarining foydali ish koeffitsiyenti quyidagicha aniqlanadi: oldin mashinalar o'zgarmas tokda ishlagandagi foydali ish koeffitsiyenti alohida isroflar usuli bilan aniqlanadi, keyin pulsatsiyalovchi tokda va kuchlanishda ishlagandagi pulsatsiyalovchi isrofi $\sum \Delta P$ aniqlanadi. Mashinaning pulsatsiyalovchi tokdagi f.i.k.

$$\eta = \eta \frac{1}{1 + \sum \Delta P_s / P_1} \quad (11.9)$$

bunda: η - mashinaning doimiy tokda ishlagandagi f.i.k.; P_1 - doimiy tokda sinalandagi beriladigan quvvat.

Pulsatsiyalovchi tok elektr motorlarning pulsatsiyalovchi quvvat isrofi $\sum \Delta P \approx$ ko'pincha kichik kosinusli elektrodinamik vattmetr yordamida aniqlanadi.

11.4-§. Tortuv motorlari va transformatorlarini tezashtirilgan sinashlar

Hozirgi zamon EHTdagi tortuvchi motor va transformatorlarning massa o'lchamli ko'rsatkichlarining chegaralanganligi, murakkab ekspluatatsion sharoitlar, mustahkamlikka qo'yiladigan yuqori talablar ularga chegaraviy bajariladigan manbalarga uning to'liq konstruktiv bajarilishi, texnologik va boshqa mumkin bo'lgan mustahkamlikka ega bo'lishi kerak bo'ladi. Ko'plab ishlab chiqariladigan obyektning berilgan mustahkamlik chegarasini aniqlash uchun ekspluatatsiyaga maksimal darajada asosiy kattaliklarni sinashdan o'tkazmasdan mustahkamligini aniqlash uchun mumkin bo'lgan vaqt davomida o'tkazish, ya'ni tezashtirilgan holda sinashni amalga oshirish lozim bo'ladi.

Qo'yilgan maqsadga qarab tortuv motorlarini sinash tebranishga chidamlilik va barqarorlik turlariga bo'linadi. Tebranishga chidamlilik bo'yicha sinash tortuv motorlarini ishlash holatini va uning kattaliklarini berilgan qiymatda tebranish yuzaga kelganda GOST 2582-81 bo'yicha ustunli o'qda osilganda vertikal yo'nalishda 15g, umumlashtirilgan tezanishda 20g dan kam bo'lmagan: kuzovda telejkaning resorlangan qismida 3g tezanishga ega bo'lishi kerak. Motor chulg'amidagi temperaturani nazorat qilish uchun chulg'amlarga termopara o'rnatiladi. O'lchamlar qabul qilish topshirish sinashiga mos holda amalga oshiriladi. Tortuv motorlarini tebranishga chidamliligini sinashni tebranish stendini o'zaro yuklanish usulini qo'llash bilan amalga oshiriladi. Sinash jarayonida motor o'qli podshipniklarga ta'sir etuvchi amplituda tezanishni 0 dan 20g gacha o'zgartiriladi tokli yuklamada nominal qiymatdan 0,4 dan 1,5 gacha oraliqda o'zgaradi. Sinashning umumiy rejasi ancha keng bo'lishi mumkin va tortuv motorlarining barcha qismlarining ishlashiga va holatiga tashqi tebranishning ta'sirini baholash ko'zda tutiladi. Tebranishga barqarorlikni sinash tortuv motorlarini tashqi tebranishning uzoq davomli ta'siriga qarshi turishini baholash maqsadida amalga oshiriladi. Bunday sinashlarning stendda davomiyligi GOST 2582-81 bo'yicha 50 million tebranish davriga natijaviy tezanishi 20g dan kam bo'lmagan holatiga mos kelishi lozim. Har xil bosqichli issiqlik yuklanishi ko'zda tutiladi (-50°C temperaturagacha sovitish, mos izolyatsiya sinfi temperaturasiga mos keluvchi ruxsat etilgan temperaturaga qizitish va boshqalar). Bunda berilgan aylanish tezligida ishlayotgan motor natijaviy tezanishi 20g dan kam bo'lmagan tebranish ta'siriga qo'yiladi. Tebranishga barqarorlikni klimatik holatiga qarab sinash bilan birgalikda o'tkazish maqsadga muvofiq bo'ladi.

Buning rejasi motorlarni sovuqqa va issiqlikka chidamliligini, temperaturaning tez o'zgarishiga ta'sirini, namlikka chidamliligini keyingi muzning erishiga ta'sirlarini birga olib borish mumkin bo'ladi.

Motorlar uchun I-N-S rejimida sinash ancha og'ir hisoblanadi, bunda I, N, S - mos holda sinashning issiqqa, namlikka va sovuqlikka chidamliligi.

Tortuv transformatorlarni tebranish yuklamasi ta'siriga sinash ham maxsus tebranish stendida kerakli tebranishlarni 5 dan 100 Gs chastota oralig'ida amalga oshiriladi.

Konstruktiv tuzilishini fundamental vazifasiga va ekspluatatsiya qilish xususiyatlarini hisobga olgan holda, uning mustahkamlik ko'rsatkichlari o'zgarishi quyidagi fizik va ximiyaviy jarayonlarni o'z ichiga oladi: izolyatsiyaning tebranish va temperatura ta'siridan eskirishi; chulg'amning g'altak va seksiyalarini ulashning yomonlashishi ta'sirida chulg'am qarshiligining o'zgarishi; kuchlanish ishorasining o'zgarishi ta'siri natijasidan elementlarning charchashdan yemirilishi; mexanik zo'riqishlar va boshqa ta'sirlardan transformator magnit o'tkazgichlaridagi magnit singdiruvchanligini o'zgartirish bilan.

Shuning uchun transformatorlarni tezlashtirilgan sinash jarayonida ko'pincha, transformatsiya koeffitsiyenti, salt ishlashdagi quvvat isrofi va toki, chulg'amning aktiv qarshiligi va chulg'am izolyatsiyasi qarshiligi nazorat qilinadi.

O'tkazilgan sinash davomiyligiga mos keluvchi bosib o'tilgan yo'l, elektrovoz ishlash davomida tarmoqda va tebranish stendida tebranish jarayonining spektral xarakteristikasini sinashda tortuv transformatori qabul qiladigan iste'mol etadigan energiya miqdori bilan aniqlanadi. Masalan ОДЦЭ – 5000/25Б transformatori uchun $200 \cdot 10^6$ davrdagi tebranish yuklamasidagi sinashda bosib o'tilgan yo'l 217506 km ni tashkil etadi.

11.5-§. Yordamchi asinxron elektr motorlar va faza ajratgichlarni sinash xususiyatlari

Yordamchi asinxron elektr motorlar va faza ajratgichlarni tayyorlanish va ta'mirlanish sifatini tekshirish uchun kvalifikatsion, qabul qilish topshirish, davriy, tipik va resursli sinashlardan o'tkazish talab etiladi.

GOST-2582-81 standarti talabi bo'yicha yordamchi asinxron motorlarni kvalifikatsion sinashda quyidagi reja va ketma-ketlik ko'zda tutiladi.

- chulg'am izolyatsiyasi qarshiligini korpusga va chulg'amlar orasiga nisbatan o'lchash;

- o'zgarmas tokda sovuq holatda chulg'amning qarshiligini aniqlash;

- GOST 2582-81 talabi bo'yicha belgilangan nosimmetrik va kuchlanishning mashina chulg'ami uchlaridagi berilgan qiymatlarda qizishini sinash;

- salt yurishda va qisqa tutashishda tok va isroflarni aniqlash;

- yuqori aylanish (tezligida) chastotasida hamda tok bo'yicha qisqa vaqtni o'ta yuklanishlarda sinash;

- tebranish chegarasini aniqlash;

- uch fazali simmetrik kuchlanishdan va harakat tartibida ko'zda tutilgan sxema bo'yicha nominal va pasaytirilgan kuchlanishlar bilan ta'minlanganda foydali ish koeffitsiyenti, quvvat va sirpanish koeffitsiyentlarini hamda aylanuvchi momentlarni aniqlash;

- tebranishga chidamliligini ko'rsatkichlarini aniqlash.

Faza ajratgichlarini kvalifikatsion sinash rejasi bulardan tashqari quyidagilarni ham hisobga oladi:

- GOST 6962-75 da belgilangan kuchlanishning 260-460V oralig'ida tokni, tarmoq kuchlanishlarini kuchlanishning teskari ketma-ketlik koeffitsiyenti, f.i.k. quvvat va sirpanish koeffitsiyentini yuklamaning 0,25 dan 1,5 nominal qiymati oralig'ida o'zgartirilganda aniqlash;

- ta'minlash kuchlanishni qiymatining o'zgarishini hisobga olgan holda doimiy rejimda isiqlikka sinash;

- faza ajratgichning bir fazali tokdan kuchlanishning o'zgarishi 280-460 V oralig'ida toklarni, salt yurishidagi isroflarni, chiziqli kuchlanishni, quvvat koeffitsiyentini, salt yurishdagi ketma-ket tashkil etish koeffitsiyentlarini aniqlash;

- nominal kuchlanish va yuklamadagi toklarni va chiziqli kuchlanishlarni aniqlash;

- bir fazali tarmoqdan eng kam 280V kuchlanishga ishlayotgan faza ajratgichning tokini, quvvat koeffitsiyenti va qisqa tutashdagi isrofni hamda ishga tushirish vaqtini aniqlash.

Yordamchi asinxron motorlarning qabul qilish topshirishi bo'yicha sinash rejasi quyidagilardan iborat bo'ladi:

- mashina korpusi chulg'amlar orasidagi chulg'am izolyatsiyasining nisbiy qarshiligini o'lchash, ularning qiymati 1,0 MOm dan oshmasligi kerak;

- o'zgarmas tokda chulg'amning qarshiligini sovuq holatda o'lchash;

- nominal 380V kuchlanishida salt ishlash va qisqa tutashish toki va isrofini aniqlash;

- o'ta yuqori aylanish chastotasida sinash;

- tebranish sathini (qiymatini) o'lchash;

- mashinaning korpusiga va chulg'amlar orasiga nisbatan chulg'am izolyatsiyasining elektr mustahkamligini sinash hamda o'ramlar orasidagi chulg'am izolyatsiyasining elektr mustahkamligini sinash.

Faza ajratgichlar uchun bu reja quyidagi bandlar bilan to'ldiriladi:

- nominal kuchlanishda va yuklamada salt yurish toki va isrofini hamda chiziqli kuchlanishni aniqlash;
- quvvat koeffitsiyenti va qisqa tutashdagi isrofni aniqlash;
- 280V kuchlanishli bir fazali tarmoqning eng past kuchlanishdagi ishga tushirish vaqtini aniqlash.

Yordamchi asinxron motorlar va faza ajratgichlarni davriy, tipik va resursli sinashning vazifasi va bajarilish ketma-ketligi o'zgarmas tok kollektorli va pulslanuvchi tok mashinalariga qo'yilgan va bajarilish ketma-ketligi kabi amalga oshiriladi. Yordamchi asinxron motorlarni sinash rejasini ko'rib chiqib, rejaning eng murakkab bir bandiga to'xtashga to'g'ri keladi bu f.i.k.ni quvvat koeffitsiyentini sirpanishni, asinxron faza ajratgichning yuklamada salt yurishda va qisqa tutashdagi kuchlanishning teskari ketma-ketlik koeffitsiyentini aniqlash kerak bo'ladi.

Sinash uchun 11.6-rasmda keltirilgan sxemadan foydalaniladi. Kvalifikatsion sinashda f.i.k. quvvat koeffitsiyenti kuchlanish va sirpanishning teskari ketma-ketlik koeffitsiyenti yuklama 0,25 dan 1,5 nominalgacha o'zgarganda 380 nominal 280 V eng past va eng yuqori 460 V qiymatgacha bo'lgan bir fazali tarmoq kuchlanishiga va nominal kompensatsiyalovchi sig'imga tekshiriladi. Qabul qilish topshirish sinash jarayonida ko'rsatilgan kattaliklar yuklamaning kuchlanishning va kompensatsiyalovchi sig'imning nominal qiymatlarida sinaladi.

Uch fazali yuklamaning bir fazali tarmoqdagi va nominal kompensatsiyalovchi sig'imdagi sinash jarayonida tarmoq va faza kuchlanishlari har bir fazalarning toki va quvvati, faza ajratgich qabul qilayotgan tok va quvvat.

Uch fazali yuklamaning iste'mol qiladigan quvvatini uch yoki ikki vattmetrli usuldan yoki uch fazali vattmetrdan foydalanib o'lchash talab etiladi. Faza ajratgichning foydali ish koeffitsienti %.

$$\eta = (1 - \frac{2\Delta P}{\sum P_{in} + \Delta P}) \cdot 100 \quad (11.10)$$

bunda, ΔP – faza ajratgichdagi isrof, bu bir fazali tarmoqdan qabul qilayotgan quvvat va $\sum \Delta P_n$ uch fazali yuklamada qabul qilayotgan quvvatlar farqi, ya'ni $\Delta P = P_i - \sum P_n$; $\sum P_{in} = P_{n1} + P_{n2} + P_{n3}$ - u

vattmetrlarining ko'rsatkichlari. Agar faza ajratgichning o'qida mexanik yuklama bo'lsa, unda f.i.k.

$$\eta = \left(1 - \frac{2\Delta P}{\sum P_n + P_M + \Delta P}\right) \cdot 100 \quad (11.11)$$

bunda, P_M – o'qdagi mexanik yuklama quvvati $\Delta P = P_t - \sum P_n - P_M$ faza ajratgich isrofi. Quvvat koeffitsiyenti

$$\cos \varphi = \frac{P_t}{(U_t I_t)} \quad (11.12)$$

bunda, P_t va I_t – bir fazali tarmoqdan is'temol etayotgan (faza ajratgich va yuklama) mos holdagi quvvati va toki.

Kuchlanishning teskari ketma-ketlik koeffitsiyenti

$$K = \frac{U_2}{U_1} \cdot 100 \quad (11.13)$$

bunda, U_1 – yuklamadagi tarmoq kuchlanishining to'g'ri ketma-ketlikdagi moduli; U_2 – bu ham teskari ketma-ketlikdagi. Salt ishlashda faza ajratgich chulg'amlarida uch fazali yuklama va o'qida mexanik yuklama bo'lmaganda toklar, isroflar, tarmoq kuchlanishi, quvvat koeffitsiyenti va kuchlanishning ketma-ketlik koeffitsiyenti aniqlanadi. Faza ajratgichlarni salt ishlash rejimida sinashda mexanik isroflarni aniqlashdan oldin faza ajratgichlar yuklamasiz 60 daqiqa (quvvati 150 kVA gacha bo'lgan farqda ajratgichlar uchun) va 120 daqiqa (quvvati 150 kVA dan yuqori faza ajratgichlar uchun) ishlashi lozim bo'ladi. Qabul qilish topshirish sinashida faza ajratgichlarning yuklamasiz ishlash vaqti mos holda 30 va 75 daqiqagacha qisqartirilishi mumkin. Salt ishlash xarakteristikasini faza ajratgich bir fazali tarmoqda berilgan kuchlanishni eng yuqori qiymatidan nominalga nisbatan 130% dan eng kam qiymatgacha asta seninlik bilan kamaytirish asosida olish tavsiya etiladi. O'lchashlarni bir fazali tarmoq kuchlanishini sakkiz martadan kam bo'lmagan qiymatda amalga oshirish lozim. Salt ishlashning quvvat koeffitsiyenti

$$\cos \varphi_0 = \frac{P_0}{(U_0 I_0)}$$

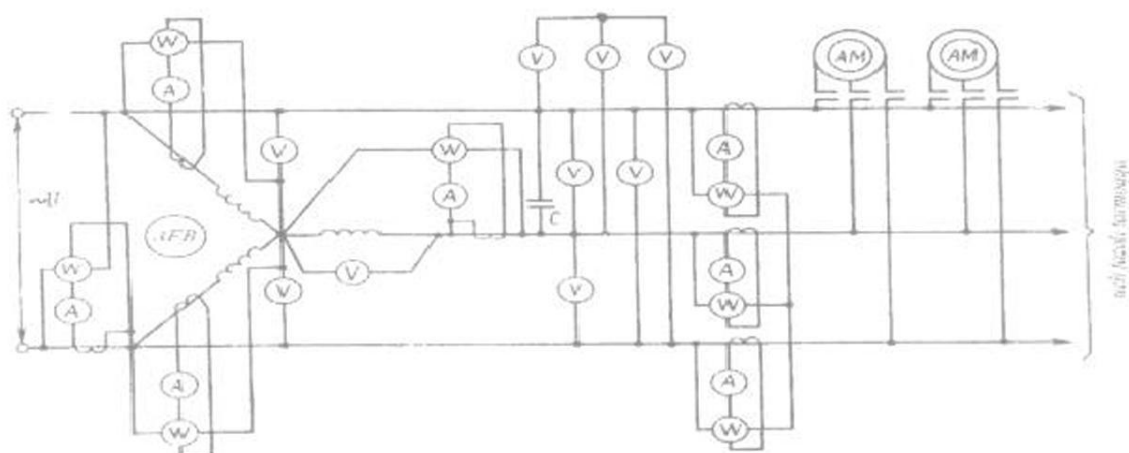
bunda: P_0 – salt ishlash quvvati; U_0 – bir fazali tarmoq kuchlanishi; I_0 – salt yurish toki.

Salt ishlashda tarmoq kuchlanishining kema-ketlik koeffitsiyenti, % da $U_{02}/U_{01} \cdot 100$ bunda, U_{01} – salt ishlashdagi tarmoq kuchlanishning to'g'ri ketma-ketlikdagi moduli; U_{02} – bu ham, teskari ketma-ketlikdagi. Bu modullar faza ajratgich tarmoq kuchlanishining nosimmetrik tizimini, simmetrik tashkil etuvchilarga taqsimlash yo'li bilan aniqlanadi. Qisqa tutashning isrofni, quvvat koeffitsiyentini aniqlash sinashlarida va qisqa tutash tokida sinash 11.6- rasm asosida ishga tushirish rezistorning optimal qiymatida va rotor to'xtatib qo'yilgan holda bajariladi.

Buning uchun bir fazali tarmoqdan berilayotgan kuchlanish, stator fazalarning toki, rezistor toki, tarmoqdan qabul qilayotgan quvvat va stator chulg'amliari qarshiliklari o'lchanadi. Bir nuqta nominal kuchlanishda ulangan bo'lishi shart yoki nominal kuchlanishdan 2,5% farq qiladigan kuchlanishda o'lchanish kerak. Faza ajratgichlar sovuq holda nominal kuchlanishda tinch turgan holda 10 s vaqt davomida qisqa tutash tokiga bardoshli bo'lishi lozim. Bu vaqtning o'tishi bilan faza ajratgich o'chirilishi lozim va qoldiq deformatsiyalar yo'qligiga ishonch hosil qilish lozim. Chulg'am temperaturasi shu izolyatsiya sinfiga ruxsat etilgan (qiymat) normadan oshib ketmasligi kerak. Qisqa tutashning quvvat koeffitsiyenti

$$\cos \varphi_{qt} = \frac{P_{qt}}{(U_{qt} I_{qt})}$$

bunda: P_{qt} – qisqa tutashdagi iste'mol etiladigan quvvat; U_{qt} – qisqa tutashning bir fazali kuchlanishi; I_{qt} – bir fazali tarmoqdan qabul qilinayotgan qisqa tutash toki. Faza ajratgichlarni sinash jarayonida eng kam kuchlanishda va rotorning ixtiyoriy holatida ishga tushish vaqti aniqlanadi. Ishga tushish vaqti sekundometr yordamida yoki ishga tushirish toklar ossillogrammasi yordamida o'lchanadi.



11.6 -rasm. Asinxron faza ajratgichning sinash sxemasi

Nazorat savollari

1. Tortuv elektr mashinalarini qanday sinash turlari mavjud?
2. Sinalayotgan mashinalarni yuklash tizimlarini ayting.
3. Bevosita yuklash tizimida sinash qanday bajariladi?
4. O'zaro yuklash tizimida sinash qanday bajariladi?
5. Resursli sinash nimani aniqlaydi?
6. Kvalifikatsion sinash nimani aniqlaydi?
7. Davriy sinash nimani aniqlaydi?
8. Tipik sinash nimani aniqlaydi?
9. Qabul qilish- topshirish sinash nimani aniqlaydi?
10. Tortuv motorlari va transformatorlarini tezlashtirilgan sinashlar qanday amalga oshiriladi?
11. Yordamchi asinxron elektr motorlar va faza ajratgichlarni sinash xususiyatlari nimadan iborat?

12-bob. Tortuv elektr mashinalarini loyihalash

12.1-§. Tortuv elektr mashinasozligida asosiy muammolar va yo'nalishlar

Hozirgi kunda temir yo'l sohasining keng miqyosda elektrlashtirish va yo'lovchilar, yuk tashishlarni hajmi oshishi bilan elektrovoz va elektropoyezdlarning ishonchli harakatini ta'mirlash va ularning texnik-iqtisodiy ko'rsatkichlarini oshirish muhim ahamiyatga ega bo'ladi. Keyingi yillarda elektrovozlarning bir o'qiga to'g'ri keladigan tortuv motorlarning quvvati va elektrovozlar maksimal tezligida ulardan foydalanish koeffitsiyenti ikki martadan ortiq o'sdi, birlik quvvatga to'g'ri keladigan massaning pasayishi shu nisbatda amalga oshirilmoqda.

Quvvatning ortib borishi bilan, tortuv motorining birlik quvvatiga to'g'ri keladigan massasining pasayishi va rostlash xususiyatining yaxshilanishi unga aktiv materiallardan foydalanish va bir vaqtda aylanish chastotasi 45-55% ortadi, reaktiv EYUK esa -15-35% ga ortadi.

Kelajakda tortuv elektr mashinalarining yaratish elektrovozlarning keyingi rivojlanishi bo'yicha asosiy ilmiy-texnikaviy muammolarni, ularni elektrlashtirish asosida temir yo'l transportini to'liq rekonstruksiya qilish bilan amalga oshiriladi. Shunga bog'liq holda ilmiy-tadqiqot va tajriba-konstruktorlik ishlarini yaratish va keng miqyosda ishlab chiqarishga tadbiiq etishni ta'minlashi lozim:

- yuqori quvvatli o'zgaras va o'zgaruvchan tok yuk tashuvchi ular o'qiga tushadigan yuklama 30 ts gacha va maksimal tezligi 130-140 km/soat bo'lgan magistral elektrvozlarni;
- kollektorsiz tortuv motori va rekuperativ tormozli elektrovozlarni;
- guruhli tortuv yuritmalı elektrovozlarni;
- Yuqori energetik ko'rsatkichli va O'zbekiston sharoitida ishonchli ishlaydigan elektrovozlarni;
- Maksimal tezligi 200-250 km/soat va maxsus joylarda undan ham yuqori harakatlanadigan aholini tashuvchi elektrovozlar.

Elektrovoz va elektr poyezdlar ishlab chiqarilayotgan davlatlarda tortuv elektr motorlar massasini kamaytirish va ularning texnik-iqtisodiy ko'rsatkichlarini oshirish bo'yicha raqobat ketmoqda, bu kelajakda ularning kommunikatsion, issiqlik va mexanik mustahkamligini oshiradi. Bu yerda asosiy maqsad ularning ishlash ishonchligini pasaytirmaslikdan iborat. Hozirgi kunda "O'zbekiston temir yo'llari" da harakatlanayotgan o'zgaras tok motorli tarkiblardagi elektr tortishadigan o'zgaras va pulsatsiyalanuvchi tortuv elektr motorlarining roli sezilarli darajada qolmoqda. Pulsatsiyalanuvchi tok motorlarning afzalligi, ularning

lokomotivda joylashgan o'z transformatorlari orqali ta'minlanishi hisoblanadi. Bu motorlar yaratishda alohida ta'minot tizimi zarur bo'lmaydi, a tortuv motori iloji boricha yengil, sodda va yaxshi ekspluatasion xususiyatlarga ega bo'lsin. Biroq pulsatsiyalanuvchi tortuv motori bularsiz ham kommutasiya jarayonini murakkablashtiradi. Buni yaxshilash qo'shimcha choralarni ko'rishni talab etadi: ostovani to'liq yoki qisman shixtalash, asosiy qutb chulg'amini tejamli shuntlash, kompensasion chulg'amni qo'llash zarurligi, cho'tka tarkibi va hokozolar.

Mashinalarning kommutasiyaga bardoshlilikini oshirishning ma'lum yo'llari o'rtasida reaktiv EYUK sezilarli darajada boshqa motorlarga nisbatan past bo'lgan pazzsiz yakorli tortuv motorni yaratish ishonchliroq bo'ladi. Bunday motor bilan yaratilgan elektrovoz va elektr poyezdlar hozirgi kunda ekspluatasiyada qo'llanilmoqda.

Lokomotivlarda transformatorlarning mavjudligi va uning chiqish kuchlanishini keng diapozonda rostlash mumkinligi tortuv motorlarini qayta guruhlashdan voz kechish ularni doim parallel holda ulashni qo'llash imkonini beradi, bu lokomotivlarni ilakish bo'yicha yaxshi foydalanishga imkon beradi. Ketma-ket qo'zg'atiladigan o'zgarmas va pulsatsiyalanuvchi tok motorlari, asosan tortish talablarini qondiradi, biroq ularning ish rejimlari mavjud bo'lib, unda keraksiz holatlar yuzaga keladi, masalan bir joyda aylanib qolish orqali yuzaga kelishi mumkin. Mustaqil qo'zg'atiladigan motorlarni qo'llash ular uchun har qanday statik xarakteristikalarini olish imkonini beradi va ko'rsatilgan kamchiliklardan xolos etadi. Bu muammoni yechish elektrovozning ilakish og'irligidan foydalanishni sezilarli darajada oshirish imkonini beradi. Tortuv motorlarning ishlashini ma'lum darajada yaxshilashda ularni qo'zg'atish uchun aralash qo'zg'atishni qo'llash orqali ham erishish mumkin. Kuchlanishni impulsli rostlash tizimini tadbqiq etish asta-sekin reostatsiz ishga tushirish va motorning aylanishi tezligini o'zgartirish hamda energiyani tarmoqqa berish bilan tormozlashni keng yo'lga qo'yish imkonini yaratadi. Biroq bunda tok va magnit orqali pulsatsiyalari yuzaga keladi va bu pulsatsiyalanuvchi tok motorlari uchun katta darajada mumkin bo'lmaydi. Yuqoridagilar asosida o'zgarmas va pulsatsiyalanuvchi tok motorlarining asosiy kamchiligi ularda kollektorning mavjudligidir. Asosan shu bilan mashinalarning kommunikatsion va potensial nisbatda murakkabligi va ishlab chiqarish va ekspluatasiyada nisbatan harajatlarning ko'pligi hisoblanadi. Aytilganlarga, asosan tortuv motorlarni kollektordan xolis bo'lishi bilan tushuntiriladi. Buni amalga oshirish uchun hozirgi kunda yarim o'tkazgichli texnikalarni qo'llash real bo'lib qolmoqda va bu keng miqyosda o'z o'rnini topmoqda. Bunda ventilli va

asinxron motorliridan foydalanish keng yo'lga qo'yilmoqda. Tortuv motorlarining ishlash ishonchliligiga ularning osish tizimlari ham katta ta'sir qiladi. Hozirgi kunda elektrovozlariga ko'p qo'llaniladigan tirgak o'qli osish tizimi keng qo'llanilishiga qaramasdan, ma'lum kamchiliklar tortuv motorlarning barcha konstruksiyasi elementlariga tebranish, urilish va boshqa ta'sir yuqori darajadagi dinamik ta'sir ko'rsatishi mumkin. Shunga asosan ustun rostdash osiladigan tortuv motorlarini ishlab chiqarish va qo'llash asosiy vazifalardan bo'lib, tebranish sathini konstruksiya elementlarini tebranishga ta'sirini pasaytirishga imkon beradi, o'z navbatida mexanik kuchlanishni pasaytiradi, motorlarning kommunikatsiyasi ta'sir etuvchi faktorlarni yaxshilashga, motorning massasini ularning asosiy qismlarini mustahkamlik zahirasi koeffitsiyentini pasaytirmasdan kamaytirish imkonini beradi. Bu vazifalarning texnik yechimi tortuv motorlarini individual kabi, guruhli yuritmalar, ya'ni monomotorli aravachalar bilan amalga oshiriladi. Monomotorli aravachalarni qo'llash keyinchalik tortuv motorlarning quvvatini oshirishga imkon yaratadi. Masalan, fransuz monomotorli aravachali elektrovozlarda quvvati 1100 kVtdan yuqori bo'lib, har bir o'qqa to'g'ri keladigan va shu bilan birga bir vaqtda ilakish yukidan foydalanishni yaxshilashda yuqori tezliklilar yuk va yo'lovchi tashish poyezdlarini harakatga keltirish uchun qo'llaniladi. Monomotorli aravachani elektrovozlarni ekspluatatsiya qilishda Fransiya, Vengriya va Yaponiya davlatlarida yaxshi natijalarga erishilmoqda. Monomotorli aravachalar eng ko'p progressiv hisoblanadigan aktiv bo'shliqdan samarali foydalanish imkonini beradigan tortuv motorlarini diskali qilib tayyorlangani kelajagi porloq hisoblanadi. Bu masalalar hozirgi kunda o'rganilmoqda. Tez yurar va yuqori tezliklarda harakatlanuvchi tarkiblarda chiziqli motorlarni qo'llash ustida ishlar olib borilmoqda. Hozirgi kunda "O'zbekiston temir yo'llari"da harakatlanayotgan Xitoy Xalq Respublikasida ishlab chiqarilgan "O'zbekiston", "O'zbekiston-yo'lovchi" va "UZ-EL" seriyadagi elektrovozlarda hamda Ispaniya davlatidan keltirilgan yuqori tezlikdagi "Afrosiyob" elektr poyezdlarida ham qisqa tutash rotorli asinxron motorlardan tortuv motori sifatida qo'llanilgan. Asinxron tortuv motorlari kollektorli o'zgarmas tok motorlariga nisbatan ancha afzalliklarga ega.

12.2-§. Magistral elektrovoz va elektr poyezdlar tortuv motorlarining ishlash sharoitlari

Tortuv motorlarini loyihalash birinchi navbatda, ular harakati yo'l oralig'ida o'lchamlari chegaralangan holda g'ildirak markazi va ekipajning

boshqa elementlari o'rtasida joylashganligi sababli murakkab bo'ladi. Tortuv elektr motorlari statsionar mashinalarga nisbatan juda og'ir sharoitlarda ekspluatasiya qilinadi. Motorlar dengiz sathidan 1200 m va undan yuqori balandlikda har xil klimatik sharoitlarda, atrof-muhit temperaturasi -50°C dan $+40^{\circ}\text{C}$ gacha oraliqda va uning o'zgarib turishida ham ishlatiladi. Bundan tashqari mashina orqali yuboriladigan havo sifati har xil bo'lishi mumkin. Bunda uning namligi, tuzlanganlik va changlanganlik darajalari ham rol o'ynaydi. Bularning barchasini aniqlashda mashina elementlari izolyatsiyasini tanlashni hisobga olish lozim bo'ladi. Chang podshipnik qismlari yeyilishini tezlashtiradi, kollektorda aylana olovning yuzaga kelishiga, izolyatsiyalovchi qatlam yuzasi qarshiligini pasaytiradi. Motor ishlashi uchun zarur bo'lgan kuchlanish to'g'risidagi holat kerakli miqdorda murakkab. Texnik shartlarga asosan kuchlanishning tebranishi o'zgarmas tok kuchlanishi uchastkalarida 2200 dan 4000 V gacha, o'zgaruvchan tok uchastkalarida 17,5 dan 29kV gacha ruxsat etiladi. Motorlar ishlash xarakteri bo'yicha chegaraviy bir teksda bo'lmagan yuklanishda va o'ta yuqori yuklanish xususiyatlariga ega bo'lishi lozim. Elektrovozlarni yurgizish vaqtida tok $(1,4 \div 1,45)I_{\infty}$ gacha o'sish tezligi $5,5 \cdot 10^3 \frac{\text{A}}{\text{s}}$ gacha ruxsat etiladi. Susaytirilgan qo'zg'atishga o'tishda tokning tushishi $(1,1 \div 1,3) I_{\infty}$ gacha a uning tezligi o'sishi $(3 \div 4) \cdot 10^3 \text{A/s}$ gacha ortadi. Oxirida shuni hisobga olish lozimki, lokomotivlarning maksimal ruxsat etilgan harakat tezligida tortuv motorlari qismlaridagi dinamik kuchlar $(15 \div 25)\text{g}$ ga motorlarni tirgak o'qli osishida va tirgak –ramali osishda $(2 \div 4)\text{g}$ ga teng bo'ladi.

12.3-§. Tortuv motorlarini optimal loyihalashning mavjud tartibi va muammolari

Ko'rilayotgan ma'lumotlardan shu kelib chiqadiki, tortuv motorlarini motorlarini yaratishda ko'pgina faktorlarga va chegaralashlarga bog'liq holda tayyorlanadi. Yuqorida sanab o'tilgan talablar bir-biriga qarama-qarshidir, barcha talablarni bajarishga intilib, ulardan biri bajarilmasligi boshqalarini bajarilmasligiga olib keladi. Bu shartlardan kelib chiqadiki, barcha talablarni kompleks holda bajarish zarur bo'ladi. Masalalarni yechishda bunday yondashish loyihalashning asosiy murakkab tarafi hisoblanadi, asosan, agar har bir talab loyihalovchilar oldiga ko'p detalli va ko'p maqsadli aniq tenglamani hisobga olish talab etiladi.

Loyihalashning har qanday savolini yechish uchun, har bir muhandis-loyihachi, qoidaga ko'ra, o'zining ixtiyorida bir emas bir nechta yo'li bo'lishi kerak. Bu o'ylangan va ehtiyotlik bilan hisoblash detallarni joy-joyiga joylashtirish lozim bo'ladi. Buning uchun katta tajriba talab etiladi.

Tortuv motorlarini loyihalashda amalda mos holda o'rnatilgan reduktorning uzatishlar sonini o'rnatish bilan motorning asosiy ulanmalari hisoblanadi, mashinalar eskizi va elektromagnit hisoblar bajariladi. Hozirgi vaqtda tortuv motorlarining quvvati keraklicha yuqori (200-350 kVt motorli vagonlarda va 800-1200 kVt elektrovozlar o'qlari uchun), shuning uchun ularning tokli, magnit va mexanik yuklamalar xarakterli hisoblanadi. Bu hozirgi zamon temir yo'l tortuv motorlarini mavjud mashinalarni "chegaraviy quvvat" bo'yicha tayyorlanadi.

Elektr mashinalarini hisoblash, umuman, tortuv motorlar, asosan masala katta o'lchamda aniqlanmaydi, mavjud usul bilan bir tenglamani yechishda barcha noma'lumlardan foydalaniladi. Bu shunga olib keladiki, bir qancha kattaliklarni loyihalash davomida berishga to'g'ri keladi. Tortuv elektr mashinalari ko'rinishida amaliyotda shunga keldiki, u mumkin bo'lgan solishtirma yuklamani hisobga olishni ko'rsatadi va bir qator formulalar yaratildiki bir-biriga bog'liq holda mashinaning parametri va kattaligini qo'yadigan bo'ladi. Biroq bu keltiradigan ma'lumotlar bog'laninshi isbotlangan va qonuniy bo'lgani bilan har xil bog'lanishlarning ko'pligi tufayli to'liq qamrab ololmaydi va ularni asosiy, yo'naltiruvchi va mashinaning birlamchi ma'lumotlari sifatida keltirishga imkon beradi. Bundan tashqari, bu birlamchi yechimlar, bir taraflama amalga oshirilishi mumkin emas. Umumiy holda juft qutblar soni $2r=4$ va $2r=6$ bo'lgan variantlar ko'rib chiqiladi (motorlar ustun-o'qli bajarilganda, ustun-ramali uchun ular soni ulardan ham ko'p bo'ladi). Kompensatsiyalovchi chulg'amli mashinalar quyma ostovali yoki to'liq shixtalangan qilib tayyorlanadi. Bundan tashqari, har bir variant chegarasida yakor diametrining bir necha qiymatlaridan foydalaninsh maqsadga muvofiq deb qayta hisoblanadi, oxirgi pazlar soni va unda yakor chulg'ami o'tkazgichlarini joylashtirish o'zgartiriladi va hokazo. Tekshirilayotgan variantlar texnik-iqtisodiy ko'rsatkichlar, mashinani tayyorlash texnologiyasi, uning ishga ishonchliligi va xizmat ko'rsatish va ta'mirlashning soddaligi bo'yicha hisoblanadi. Ko'pgina variantlar, motorni mazkur gabarit o'lchamlarini hisoblashda, tejamsizligi elektromexanik hisoblashlarda aniqlanadi va tushib qoladi. Ba'zi variantlar kommutatsiyani, isishini va mashinaning konstruktiv ishlab chiqishlarini hisobga olgan holda to'liq bajariladi. Ko'zda tutilgan ijobiy variantlar yana qayta ishlashlarni talab etadi. Konstruksiya bo'yicha tayyorlangan eskizga asosan hisoblashlar aniqlashtiriladi va shu asosida mashinaning konstruksiyasiga zaruriy o'zgarishlar kiritiladi. O'zgartirilgan chizmaga asosan yana tekshirish hisoblari bajariladi va hokazo. Ko'pincha yangi turdagi mashinalarni real holda loyihalashda, ko'p sohali variantlar bir

necha bor qayta hisoblanadi. O'quv jarayonida ko'rsatilgan ketma-ketliklarni to'liq amalga oshirishning imkoni bo'lmaydi, biroq bitiruv ishlaridagi kurs loyihasidagi hisoblashlarni yakor diametri, pazlar soniga va tish qatlamining geometriyasiga, ba'zi hollarda esa qutblar soniga qarab ham bajariladi. Faqat shunday yo'l, ba'zi alohida yo'llar ta'sirini loyihalashda mashinalarning chiqish ko'rsatkichlarini va parametrlarini olishga imkon beradi. Ko'rinib turibdiki, mashinani loyihalashda ijobiy variantlarni ayniqsa – murakkab masalani loyihalovchi bo'lsa ham katta mehnatni va ko'p vaqtni talab etadi. Shunga asosan hozirgi kunda tortuv mashinalarini loyihalashda zamonaviy elektron hisoblash mashinalarini qo'llash mumkin va u katta imkoniyatlar yaratadi.

Nazorat savollari

1. Tortuv elektr mashinalarini loyihalashdan asosiy maqsadni ayting?
2. Tortuv elektr mashinasozligida asosiy muammolar nimadan iborat?
3. Pulsatsiyalanuvchi tok motorlarning afzalligi nimadan iborat?
4. Magistral elektrovoz va elektr poyezdlar tortuv motorlarining ishlash sharoitlarini ayting?
5. Tortuv motorlarini optimal loyihalashning mavjud tartibini ayting?

Foydalanilgan adabiyotlar

1. Каримов И.А. Мировой финансово-экономический кризис, пути и меры по его преодолению в условиях Узбекистана. Т. Узбекистон, 2009.
2. Грищенко А.В., Козаченко Е.В. Новые электрические машины локомотивов: учебное пособие для вузов ж.-д. транспорта. М.: ГОУ «Учебно-методический центр по образованию на железнодорожном транспорте», 2008. – 271 с.
3. Южаков Б.Г. «Электрический привод и преобразователи подвижного состава», М-2007 г.
4. Усмонхўжаев Н.М., Свйазев В.П. Трамвай ва троллейбуслар электр жиҳозлари, Тошкент, ТошТЙМИ, 2004й.
5. E.G.Strangas “Notes for an Introductory Course On Electrical Machines and Drives”, MSU Electrical Machines and Drives Laboratory, USA, 2012.
6. Syed A. Nasar “Electric machines and electromechanics”, A Divisiain of The McGraw-Hill Companies, USA, 1998.
7. Berdiyev U.T. va Pirmatov N.B. “Elektromexanika” - Т. “SHAMS-ASA”, 2014, - 358 b.
8. Захарченко Д.Д. Ротанов Н.А. Тяговые электрические машины, М. «Транспорт», 1991 г., 343 с.

MUNDARIJA

KIRISH.....	3
1-bob.Kollektorli tortuv elektr mashinalarning xarakteristikallari va xususiyatlari	8
1.1-§.Tortuv elektr motorlarning ishlash xususiyatlari va ularga qo'yiladigan talablar.....	8
1.2-§.Tortuv motorlarining nominal va chegaraviy kattaliklari	12
1.3-§.Magnit xarakteristikalar	15
1.4-§.Foydali ish koeffitsiyenti va isroflar	20
1.5-§.Tortuv motorlarining ishchi xarakteristikalari	23
1.6-§.Tortuv motorlarining ishlash rejimlarini rostlash prinsiplari.	29
Motorlarning rostlash xususiyatlari.....	29
1.7-§. Elektr tormoz rejimida tortuv motorlarning xarakteristikalari	33
1.8-§. Tortuv motorlarining ekspluatasion xususiyatlari.....	37
2-bob. O'zgarmas tok tortuv motorlarining tok qabul qilish xususiyatlari	42
2.1-§.Tok qabul qilishga qo'yiladigan talablar.....	42
2.2-§.Cho'tka kollektor apparatining ishiga mexanik xavfning ta'siri	43
3-bob. Pulsatsiyalanuvchi tokli tortuv motorlari	47
3.1-§.Kuchlanishning pulsatsiyalanishi.....	47
3.2-§.Tok kuchining pulsatsiyalanishi.....	49
4-bob.Kollektorsiz tortuv elektr mashinalari.....	53
4.1-§.Asinxron mashinalar to'g'risida umumiy ma'lumotlar.	53
Asinxron mashinaning tuzilishi, ishlash prinsipi va ish rejimlari.....	53
4.2-§.Uch fazali asinxron motorning energetik diagrammasi.....	57
4.3-§.Asinxron mashinaning elektromagnit momenti	58
4.4-§.Asinxron mashinaning mexanik xarakteristikalari va asinxron motorning turg'un ishlash shartlari.....	61
4.5-§.Uch fazali asinxron motorlarni ishga tushirish.....	67
4.6-§.Uch fazali asinxron motorlarning aylanish chastotasini rostlash usullari.....	71
4.7-§.Kollektorli va kollektorsiz tortuv elektr mashinalarini umumiy taqqoslash	74
4.8-§.Asinxron tortuv elektr mashinalari ish	77
rejimlari va xarakteristikalari	77
4.9-§.ATMlarni ishlashini boshqarish qonuni	79
5-bob.Tortuv elektr mashinalarida o'tkinchi jarayonlar	82
5.1-§. O'tkinchi jarayonlar xarakteristikalari	82
5.2-§.Magnit o'tkazgichlaridagi o'tkinchi jarayonlarga uyurma toklarining ta'siri	83

5.3-§.Tortuv mashinalari chulg'ami induktivligi.....	85
5.4-§.O'tkinchi jarayonlar tenglamasi.....	89
6-bob.Tortuv elektr motorlarning konstruksiyalari	97
6.1-§.Tortuv elektr motorlarning konstruktiv rivojlanishiga ta'sir qiluvchi faktorlar.....	97
6.2-§.Tortuv motori asosiy parametrlarining tortuv uzatmalari bilan bog'liqligi.....	98
6.3-§.Yakor va rotorlar asosiy o'lchamlarini hisoblash.....	103
6.4-§.Yakor va rotor chulg'amlari.....	109
6.5-§.Yakor chulg'amlardagi qo'shimcha isroflarni kamaytirish usullari.....	122
6.6-§.Tortuv motorlari kollektorlari	125
6.7-§.O'qlar va yakor podshipniklari	133
6.8-§.Tortuv motorlari ostovasi.....	141
6.9-§.Qutblar va ularning chulg'amlari	145
6.10-§.Tortuv motorlari ch'otka ushlagichi.....	157
7-bob.Ventilli tortuv motorli elektrovozlar	164
7.1-§.Umumiy ma'lumotlar.....	164
7.2-§.Ventilli motorlarning ishlash prinsipi va undagi elektromagnit jarayonlar.....	166
7.3-§.Ventilli motorlar elektromexanik xarakteristikalarini hisoblash.....	172
8-bob.Yordamchi elektr mashinalarning vazifalari va ularga qo'yiladigan talablar.....	179
8.1-§.Elektr harakat tarkibida yordamchi elektr mashinalarning vazifalari va ularga qo'yiladigan talablar.....	179
8.2-§.O'zgarmas tok yordamchi elektr mashinalarining konstruktiv xususiyatlari	180
8.3-§.Motor ventilyatorlar	183
8.4-§.Motor kompressorlar.....	188
8.5-§.Motor nasoslar.....	190
8.6-§.Faza ajratgichlar.....	192
8.7-§.Kuchlanishni bo'lgichlar	199
9-bob.Tortuv elektr mashinalarining qizishi va sovushi.....	202
9.1-§.Elektr mashinalarida izolyatsiyaning roli va klassifikatsiyasi.....	202
9.2-§.Bir jinsli qattiq jismning qizish nazariyasi va uning tortuv elektr mashinalariga qo'llashning shartlari.....	203
9.3-§.Mashinada ichki issiqlik oqimining taqsimlanishi va issiqlik sxemalari	209
9.4-§.Tortuv motorlari alohida qismlari qizishini aniqlash uchun issiqlik sxemasi usulidan foydalanish.....	212
10-bob.Elektr harakat tarkibidagi tortuv transformatorlari.....	220

10.1-§.Elektr harakatlanuvchi tarkib tortuv transformatorlarning ishlash sharoitlari.....	220
10.2-§.Kuchlanishni har xil tizimda rostlash uchun transformatorlar	224
10.3-§.Tortuv transformatorlarining konstruktiv xususiyatlari	229
11-bob.Tortuv elektr mashinalarini sinash	240
11.1-§.Tortuv elektr mashinalarini sinashning turlari va rejalari	240
11.2-§.Sinalayotgan mashinalarni yuklash tizimlari	242
11.3-§.Tezlik xarakteristikasini olish, isrof va foydali ish koeffitsiyentini aniqlash.....	247
11.4-§.Tortuv motorlari va transformatorlarini tezlashtirilgan sinashlar.	250
11.5-§.Yordamchi asinxron elektr motorlar va faza ajratgichlarni sinash xususiyatlari	251
12-bob. Tortuv elektr mashinalarini loyihalash.....	257
12.1-§.Tortuv elektr mashinasozligida asosiy muammolar va yoʻnalishlar	257
12.2-§.Magistral elektrovoz va elektr poyezdlar tortuv motorlarining ishlash sharoitlari.....	259
12.3-§.Tortuv motorlarini optimal loyihalashning mavjud tartibi va muammolari	260
Foydalanilgan adabiyotlar	262
MUNDARIJA	264