

O'ZBEKISTON RESPUBLIKASI OLIY VA O'RTA MAXSUS TA'LIM VAZIRLIGI
O'RTA MAXSUS, KASB-HUNAR TA'LIMI MARKAZI

A. J. ISAQOV, M. A. TOJIYEV, B. N. ERKINOV

ELEKTR YURITMALARNI AVTOMATIK BOSHQARUV

Kasb-hunar kollejlari uchun o'quv qo'llanma

Qayta nashr

TOSHKENT – 2016

UO‘K: 621.3(075)

KBK 31.291ya722

I 78

A. J. Isaqov, M. A. Tojiyev, B. N. Erkinov. Elektr yuritmalarni avtomatik boshqaruv. Kasb-hunar kollejlari uchun o‘quv qo‘llanma. (Qayta nashr). – T.: «Fan va texnologiya», 2016, – 128 b.

ISBN 978-9943-978-36-2

O‘quv qollanmada elektr mashinalari to‘g‘risida umumiy ma’lumotlar, kollektorli o‘zgarmas tok mashinalari, o‘zgarmas tok motorlari, transformatorlar, transformatorlarning maxsus xillari va o‘zgaruvchan tok mashinalari mavzulari bayon etilgan.

Qo‘llanma texnika yo‘nalishidagi kasb-hunar kollejlari o‘quvchilari uchun mo‘jallangan.

UO‘K: 621.3(075)

KBK 31.291ya722

Taqrizchilar:

V. BERDIYEV – TTYMI «Elektr transport» kafedrasi mudiri, t.f.n., dotsent;

A. BOQIYEV – O‘zbekiston Respublikasi Qishloq va suv xo‘jaligi vazirligi «Qishloq va suv xo‘jaligida standartlashtirish» markazi katta ilmiy xodimi, t.f.n., dotsent.

O‘zbekiston Respublikasi Oliy va o‘rta maxsus, kasb-hunar ta’limi markazi ilmiy-metodik Kengashi qaroriga asosan nashr etilgdi.

ISBN 978-9943-978-36-2

© A. Isaqov, M. Tojiyev, B. Erkinov, 2012;

© «Voriz-nashriyot», 2012;

© «Fan va texnologiya», 2016.

KIRISH

Elektr energiyasi energiyaning xalq xo'jaligida foydalani-
ladigan asosiy turi hisoblanadi. Elektr energiya ishlab chiqara-
digan va uni iste'mol qiladigan elektr mashinalari elektr siste-
maning asosiy qismini tashkil etadi.

Quvvati bir necha vattdan o'nlab va hatto yuzlab
megavattgacha bo'lgan elektr mashina toyyorlash mumkinligi
undan sanoat, transport va qishloq xo'jaligini elektrlashtirishda
asosiy ish mashinasi sifatida foydalanishga imkon beradi.

Barcha elektr-magnitaviy mehanizmlar kabi elektr mashina
ham energiyani o'zgartiruvchi hisoblanadi. Issiqlik va atom
elektr stansiyalarida elektr energiya ishlab chiqarishda yoqilg'ini
yondirish yoki yadro reaksiyalari natijasida olingan issiqlik
energiyasi bug' trubinasi vositasida aylanma mexanik energiyaga
aylantiriladi, bu energiya esa elektr mashinasini – generatorni
harakatga keltiradi. Gidravlik elektr stansiyalarda elektr
energiyasi olish uchun sathi muayyan balandlikka ko'tarilgan
suv energiyasidan foydalaniladi. Suv gidrotrubina orqali o'tib,
vali generator vali bilan bog'langan g'ildirakni aylantiradi. Gene-
ratorda sodir bo'ladigan elektr-magnitaviy jarayon natijasida
mexanik energiya elektr energiyaga aylantiriladi.

Xo'jalikning turli sohalarida iste'mol qilinadigan elektr
energiyasining ko'pgina qismi mashina, mexanizm va stanoklarni
harakatga keltirish uchun yana mexanik energiyaga aylantiriladi.
Elektr energiyasi elektr motorlari deb ataladigan mashinalar
yordamida mexanik energiyaga aylantiriladi.

Elektr mashinalaridan, asosan (bevosita), generatorlar yoki motorlar sifatida foydalaniladi. Lekin elektr mashinalari boshqa maqsadlarda ham ishlatiladi. Masalan, elektr energiyaning iste'mol qilinishi, ko'pincha, elektr tokining turini o'zgartirish, chunonchi, o'zgaruvchan tokni o'zgarmas tokka aylantirish yoki kuchlanish kattaligini o'zgartirish bilan bog'liq bo'ladi. Bunday o'zgartirishlar elektr-mashinaviy o'zgartirgichlar vositasida amalga oshiriladi.

Elektr mashinalaridan elektr signallarining quvvatini kuchaytirishda ham foydalaniladi. Bunday hollarda elektr mashina elektr-mashinaviy kuchaytirgich deyiladi.

Elektr qurilmalarning quvvat koeffitsiyentini oshirish uchun foydalaniladigan elektr mashina sinxron kompensator deyiladi.

Elektr mashinalari vazifasiga ko'ra bo'linishdan tashqari, ishlash prinsipiga ko'ra ham tasniflanadi. Bu tasnifga muvofiq, elektr mashinalari bir-biridan ham ishlash prinsipi, ham konstruksiyasi jihatidan farq qiladigan kollektorli va kollektorsiz mashinalarga bo'linadi.

Kollektorli mashinalar, asosan, o'zgarmas tokda ishlash uchun qo'llaniladi. Kollektorli mashinalarning kam quvvatliliklarigina ham o'zgarmas, ham o'zgaruvchan tokda ishlash uchun universal qilib ishlanadi.

Kollektorsiz mashinalar asinxron va sinxron mashinalarga bo'linadi hamda ular ko'p fazali ham, bir fazali ham bo'lishi mumkin.

Ishlab chiqarish faoliyatining hamma sohalarida elektr mashinalarining keng tarqalganligi ularning turli ish sharoitlariga va qo'yiladigan talablarga mos keluvchi ko'pdan-ko'p konstruktiv formalarining ishlab chiqilishiga olib keldi.

Transformator o'zgaruvchan tok elektr energiyasining statistik o'zgartirgichi hisoblanadi. O'zgaruvchan tok kuchlanishni transformator vositasida o'zgartirishi mumkinligi o'zgaruvchan tokka bir qancha afzalliklar beradi, shu sababli bu tok keng

tarqalgan. Hozirgi vaqtda o'zgaruvchan tok elektr qurilmasini transformatorsiz tasavvur etib bo'lmaydi.

Hech qanday aylanuvchan qismlari yo'qligi sababli transformatorning konstruktiv shakli elektr mashinasidan tubdan farq qiladi. Lekin transformatorlarning ishlash prinsipi ham, elektr mashinalarining ishlash prinsipi singari, elektromagnit induksiya xodisasiga asoslangan. Bundan tashqari, o'zgaruvchan tok elektr mashinalari ishlaganda sodir bo'ladigan fizik jarayonlar ko'p jihatdan transformatorlar ishlashidagi fizik jarayonlarga o'xshaydi.

Shuning uchun ushbu o'quv qo'llanmada transformatorlar nazariyasining asoslarini o'rganish yana shu sababli ham foydaliki, u o'zgaruvchan tok elektr mashinalariga doir masalalarini yanada chuqurroq tushunib olishga imkon beradi.

I bo'lim. ELEKTR MASHINALARI TO'G'RIDA **UMUMIY MA'LUMOTLAR**

1.1. Elektr mashinalari va transformatorlarning rivojlanishi haqida tarixiy ma'lumotlar

Elektr mashinalari o'zining rivojlanish davrida katta va murakkab bo'lgan takomillashish yo'lini bosib o'tdi. Elektr energiyasini mexanik energiyaga aylantirish mumkinligini dastlab 1821-yilda elektr motorning birinchi modelini yaratgan M. Faradey aniqladi. Bu modelda mis simdan o'tayotgan elektr toki uni vertikal holatda qo'yilgan doimiy magnit atrofida harakatga keltiradi. Lekin elektr motori yaratish ustida o'n yildan ziyodroq vaqt ichida qilingan keyingi ishlar qoniqarli natijalar bermadi va faqat 1834-yildagina rus akademigi B. S. Yakobiy hozirgi elektr motori prototipi bo'lgan konstruksiyani yaratdi.

Elektr generatori yaratish imkoniyati M. Faradey 1831-yilda elektromagnit induksiya qonunini kashf etgandan keyingina paydo bo'ldi. Bu kashfiyotdan foydalanib, aka-uka Piksilar 1832-yilda aylanuvchi doimiy magnitlari bo'lgan va tokni tog'irlovchi komutatorli birinchi elektr generator konstruksiyasini yaratdilar. Dastlabki vaqtlarda elektr motor va generatorlar bir-biriga bog'liq bo'lmagan holda takomillashib bordi. 1833-yilda Lens elektr mashinalarining prinsipini ta'riflab berdi, 1838-yilda esa bu prinsip amalga oshirildi.

Generatorlar takomillashuvining keyingi bosqichi doimiy magnitlarning elektromagnitlar bilan almashtirilishidan iborat bo'ldi. Elektr mashinalari rivojlanishining boshlang'ich davri, asosan, o'zgarmas tok bilan bog'liq. Bunga sabab shuki, elektr energiyasining iste'molchilari faqat o'zgarmas tokda ishlaydigan

qurilmalar (yoyli lampalar, galvanoplastika qurilmalari va boshqalar) edi. Yirik shaharlarda elektr bilan yoritishning qo'llanilishi elektr generatorlarining quvvatini oshirishni va ularni yanada takomillshtirishni taqozo qildi.

1867-yilda V. Simens ketma-ket qo'zg'atishli generatorlar uchun o'z-o'zini qo'zg'atish prinsipini qo'lladi. Shu yilning o'zida D. Maksvell birinchi bo'lib o'z-o'zini qo'zg'atishli elektr mashinasining matematik nazariyasini yaratdi va shu bilan elektr mashinalari nazariyasiga asos soldi. 1870-yilda Z. Gramm halqasimon yakorli mashinani, 1873-yilda esa F. Gefner-Altenek va V. Simens «barabansimon» yakorli mashina konstruksiyasini yaratdilar. Elektlashtirilgan temiryo'llarning ko'payishi natijasida elektromotorlar va generatorlarga bo'lgan talab ham ancha oshdi va bu narsa ularning yanada takomillashuviga sabab bo'ldi. O'tgan asrning 80-yillarida elektr energiyasini uzoq masofaga uzatish zaruriyati tug'ildi. 1882-yilda elektr energiyasini yuqori kuchlanishli o'zgarmas tokda uzatishga doir tajribalar o'tkazildi. Lekin o'zgarmas tok generatorlaridagi yuqori kuchlanish kollektor ishini yomonlashtirib, ko'pchilik hollarda avariyalarga olib keldi. Bularning hammasi o'sha vaqtdagi elektrotexniklarning o'zgaruvchan tokka bo'lgan qiziqishini kuchaytirdi. O'zgaruvchan tokni rivojlantirishda rus olimi P. N. Yablochkovning xizmati katta. Y o'zining ixtiro qilgan elektr shamlarini ta'minlash uchun o'zgaruvchan tokdan keng foydalandi. 1876-yilda P. N. Yablochkov bu shamlarni ta'minlash uchun tutashmagan o'zakli transformatorlarni ishlatdi va bu bilan transformatorlardan amalda foydalanishga asos soldi.

Hozirgi transformatorlarga o'xshash tutashgan o'zakli transformatorlar keyinroq, 1884-yilda paydo bo'ldi. Elektr yuritma maqsadlarida o'zgaruvchan tokdan amalda foydalanish 1889-yildan boshlangan deb hisoblash lozim. Shu yili buyuk rus injineri M. O. Dolivo-Dabrovolskiy amalda tadbqiq etish uchun

o'zgaruvchan tokning uch fazali sistemasini taklif qildi va uch fazali asinxron motor hamda uch fazali transformator yasadi.

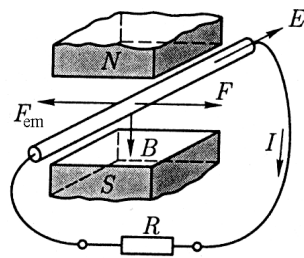
Dolivo-Dobrovolskiy 1891-yilda uch fazali transformatorlar ishlatib, uzunligi 175 km va kuchlanishi 15 ming V bo'lgan birinchi uch fazali o'zgaruvchan tok elektr uzatish liniyasini qurdi. Bu liniyani sinab ko'rish natijalari ancha ko'p miqdordagi elektr energiyasini nisbatan katta FIK bilan uzatish uchun uch fazali tok sistemasini qo'llash mumkinligini ko'rsatdi. Uch fazali tok sistemasining progressivligi shunchalik ravshan ediki, XX asr ning boshlariga kelib u umum tomonidan e'tirof etildi va tez rivojlana boshladi.

XX asrning boshlariga kelib elektr mashinalarining barcha asosiy turlari yaratilib bo'lindi va ular nazariyasining asoslari ishlab chiqildi. Shu vaqtdan boshlab sanoat va transportni elektrlashtirish tez sur'atlar bilan amalga oshirila boshlandi. Shu munosabat bilan elektr stansiyalarning quvvati orta bordi, turbogeneratorlar – bug' turbinasi bilan bevosita ulangan mashinalar yaratila bordi. Generator va transformatorlarning quvvati oshirila bordi. Agar 1900-yilda generatorning quvvati 5 ming kW dan oshmagan bo'lsa, 1920-yilga kelib quvvati 60 ming kW bo'lgan turbogeneratorlar qurildi. Hozirgi vaqtda vodorod bilan sovitish usulini tatbiq etish quvvati 500 ming kW dan ortiq bo'lgan turbogeneratorlar qurishga imkon berdi.

1.2. Elektr mashinalarida energiyaning bir turdan ikkinchi turga aylanishi

Elektr mashinalari kursining bayoni elektr va magnit hodisalarining qonunlarini bilishga asoslangan. Ammo shu qonunlardan ba'zilari ushbu kursda, ayniqsa, muhim ahamiyat kasb etadi, chunki elektr mashinalarining ishlash prinsipi ana shu qonunlarga asoslangan. Shu mulohazalarga ko'ra, elektr

mashinalarining ishlash prinsipini o'rganishga o'tishdan oldin shu prinsiplar asosida yotuvchi qonunyatlar haqida to'xtalib o'tgan ma'qul. Elektr mashinasi generator rejimida ishlaganda mexanik energiya elektr energiyasiga aylantiriladi. Bu elektromagnit induksiya qonuni bilan tushuntiriladi; bu qonunning mohiyati quyidagilardan iborat: agar o'tkazgichni magnit maydonda tashqi kuch F tasirida harakatga keltirsak (1.1-rasm), masalan, magnit induksiya vektori B ga perpendikular ravishda chapdan o'ngga harakatlantirsak, o'tkazgichda elektr yurituvchi kuch (EYK) hosil bo'ladi:



1.1-rasm. O'tkazgichning magnit maydonda harakatlanishi.

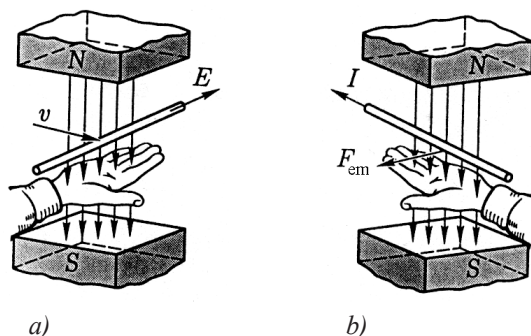
$$E = B \cdot l \cdot v \quad (1)$$

bunda: E – o'tkazgichda induksiyalangan elektr yurituvchi kuch, V;
 B – magnit induksiya, Tl;
 l – o'tkazgichning aktiv uzunligi, ya'ni magnit maydondagi qismining uzunligi, m;
 v – o'tkazgichning harakatlanish tezligi, m/s.

Bu formula bilan EYK kattaligi aniqlanadi, xolos. EYK ning yo'nalishini aniqlash uchun «o'ng qo'l» qoidasidan foydalanish lozim (1.2-a rasm). Bu qoidani tatbiq etib, o'tkazgichdagi EYK ning yo'nalishini «bizdan» aniqlaymiz. Agar o'tkazgichning uchlarini tashqi qarshilikka (iste'molchiga) ulasak, u holda EYK ta'sirida o'tkazgichda xuddi shu yo'nalishdagi tok paydo bo'ladi. Shunday qilib, magnit maydondagi o'tkazgichni bu holda eng oddiy generator deyish mumkin.

O'tkazgichdagi tok I bilan magnit maydonning o'zaro ta'siri natijasida o'tkazgichda ta'sir etuvchi elektromagnit kuch F_{em} hosil bo'ladi:

$$F_{em} = B \cdot l \cdot I. \quad (2)$$



1.2-rasm. «O'ng qo'l» qoidasi (a) va «chap qo'l» qoidasi (b).

F_{em} kuchning yo'nalishini «chap qo'l» qoidasiga ko'ra aniqlash mumkin (1.2-b rasm). Yuqorida ko'rib o'tilgan holda bu kuch o'ngdan chapga, ya'ni o'tkazgichning harakatlanishiga teskari tomonga yo'nalgan. Shunday qilib, generatorda elektromagnit kuch F_{em} harakatlantiruvchi kuch F ga nisbatan sekinlatuvchi (to'xtatuvchi) bo'ladi.

O'tkazgich bir tekis harakatlanganda harakatlantiruvchi kuch to'xtatuvchi elektromagnit kuchga teng bo'ladi: $F = F_{em}$. Tenglikning ikkala qismini o'tkazgichning harakatlanish tezligiga ko'paytiramiz:

$$F \cdot v = F_{em} \cdot v.$$

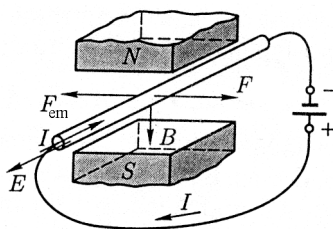
(2) formuladan F_{em} ning qiymatini keltirib qo'ysak,

$$F \cdot v = B \cdot I \cdot v = E \cdot I$$

bo'ladi.

Tenglikni chap qismi (Fv) o'tkazgichning magnit maydonda harakatlanishiga sarf qilinadigan mexanik quvvat kattaligini belgilaydi, bu tenglikning o'ng qismi esa (EI) yopiq konturda elektr toki I hosil qilgan elektr quvvatining kattaligini ko'rsatadi. Bu qismlar orasidagi tenglik ishorasi tashqi kuch sarf qiladigan mexanik quvvatning generatorda elektr quvvatiga aylanishini ko'rsatadi. Agar

o'tkazgichga tashqi kuch F qo'ymay, unga elektr energiyasi manbayidan shunday kuchlanish U berilsaki, bunda o'tkazgichdagi tokning yo'nalishi 1.3-rasmda ko'rsatilganidek bo'lsa, u holda o'tkazgichga faqat elektromagnit kuch F_{em} ta'sir etadi, xolos. O'tkazgich shu kuch ta'sirida magnit maydonda harakatlana boshlaydi.



1.3-rasm. Magnit maydondagi tokli o'tkazgich.

Bunda o'tkazgichga qo'yilgan kuchlanish U ga qarama-qarshi yo'nalgan EYK induksiyalanadi. Shunday qilib, bu kuchlanishning bir qismi shu o'tkazgichda hosil bo'lgan elektr yurituvchi kuch E bilan muvozanatlashadi, boshqa qismi esa o'tkazgichdagi kuchlanish tushishini tashkil etadi:

$$U = E + I \cdot r,$$

bunda, r – o'tkazgichning elektr qarshiligi.

Tenglikning ikkala qismini tok I ga ko'paytiramiz:

$$U \cdot I = E \cdot I + I^2 \cdot r.$$

E ning o'rniga (1) formuladan EYK qiymatini qo'ysak, quydagini hosil qilamiz:

$$U \cdot I = BlvI + I^2 r$$

yoki (2) formulaga binoan,

$$U \cdot I = F_{em} v + I^2 r.$$

Bu tenglikdan shunday xulosa kelib chiqadi: o'tkazgichga keluvchi elektr quvvati (UI) qisman mexanik quvvat ($F_{em}v$) ga aylanadi, bir qismi esa o'tkazgichdagi elektr isroflari (I^2r) ni qoplashga sarflanadi. Binobarin, magnit maydonda joylashgan tokli o'tkazgichni eng oddiy elektromotor deb qarash mumkin.

Energiyaning yuqorida ko'rsatib o'tilgan bir turdan ikkinchi turga aylanish jarayonlari juda muhim hulosani chiqarishga imkon beradi: elektr mashinasi ishlashining zarur sharti, o'tkazgichlar va magnit maydonning mavjud bo'lishidir. Bunda elektr mashinasida energiya istalgan yo'nalishda o'zgarishi mumkin, ya'ni elektr mashinasi generator sifatida ham, motor sifatida ham ishlashi mumkin. Elektr mashinalarining bu xususiyati ularning qaytarligi deb ataladi.

NAZORAT SAVOLLARI

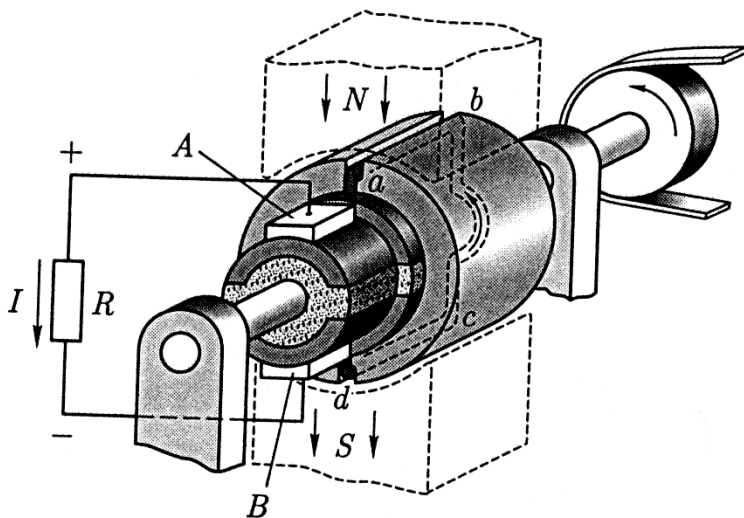
1. Elektr mashinalarining rivojlanishiga hissa qo'shgan olimlarni aytib?
2. Birinchi bo'lib kim uch fazali o'zgaruvchan tokdan foydalanishni tavsiya etgan?
3. Elektr mashinalarida energiya bir turdan ikkinchi turga qanday aylantirilishi haqida gapirib bering ?
4. Chap va o'ng qo'l qoidasidan foydalanishdan maqsad nima?
5. O'tkazgichda ta'sir etuvchi elektromagnit kuch qanday aniqlanadi?
6. Elektr mashinalarida qaytarlik xususiyati deganda nimani tushunasiz?

2-bo'lim. KOLLEKTORLI O'ZGARMAS TOK MASHINALARI

2.1. O'zgarmas tok generatorining ishlash pirinsipi

O'zgarmas tok mashinalarining asosiy turi kollektorli mashinalardir. Kollektor tipidagi eng oddiy o'zgarmas tok mashinasining generator rejimida ishlash jarayonini ko'rib chiqamiz (2.1-rasm).

Doimiy magnitning ikkala qutubi (N va S) orsiga mashinaning aylanuvchi qismi – yakor joylashgan. Yakorni aylan-tirish uchun birlamchi divigatelning, masalan, turbina yoki ichki yonuv divigatelining mexanik kuchidan foydalaniladi. Mashina-



2.1-rasm. O'zgarmas tok mashinasining eng oddiy modeli.

ning yakori po‘lat silindrdan iborat bo‘ib, unga $abcd$ o‘ram holidagi chulg‘am joylashtirilgan; o‘ramning uchlari valga mahkamlangan va bir-biridan izolatsiya qilingan ikkita plastinkaga (yarimhalqaga) ulangan. Bu plastinkalar mashinaning muhim qismi – kollektorni hosil qiladi. A va B cho‘tkalarga generator yuklamasi ulangan. Mashinaning ishlash jarayonida kollektor val bilan birga aylanadi, A va B cho‘tkalar esa qo‘zg‘almay qolaveradi.

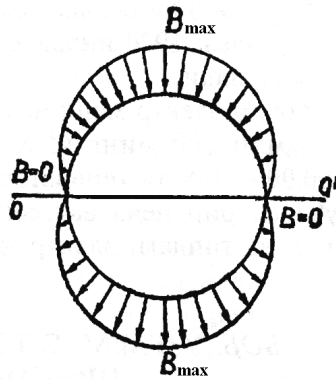
Generator yakori soat mili harakatiga teskari yo‘nalishda aylanadi, deb faraz qilaylik; bunda yakor chulg‘ami o‘tkazgichlarida yo‘nalishi rasmda strelkalar bilan ko‘rsatilgan EYK induksiyalanadi. Chulg‘amning bitta o‘tkazgichi uchun bu EYK ning oniy qiymati quyidagi formula bilan aniqlanadi:

$$e = B \cdot l \cdot v. \quad (2.1)$$

O‘tkazgichning aktiv uzunligi o‘zgarmas kattalik bo‘lgani uchun agar generatorning ishlash jarayonida yakorning harakatlanish tezligi o‘zgarmas bo‘lib qolsa, (2.1) formulada ularning ko‘paytmasi ham o‘zgarmas kattalik (const) bo‘ladi. Bu (2.1) formulani quyidagi ko‘rinishda yozishga imkon beradi:

$$e = \text{const}.$$

Bu formula yakor chulg‘amidagi EYK ning kattaligi va yo‘nalishi faqat yakor bilan qutblar oralig‘idagi havo zazorining magnit induksiyasi B kattaligi bilan aniqlanishini ko‘rsatadi. Lekin generatorning havo zazoridagi magnit induksiyaning yakor aylanasi bo‘ylab har joyda taqsimlanishi bir xil-da emas: qutblar o‘rtasining tagida induksiya B maksimal qiymatga ega (shimoliy qutb tagida musbat, janubiy qutb tagida esa manfi), qutblarning chetiga yaqinlashgan sari induksiya kamayib boradi.



2.2-rasm. Po‘lat silindrga o‘rnatilgan o‘tkazgich atrofida magnit kuch chiziqlarining taqsimlanishi.

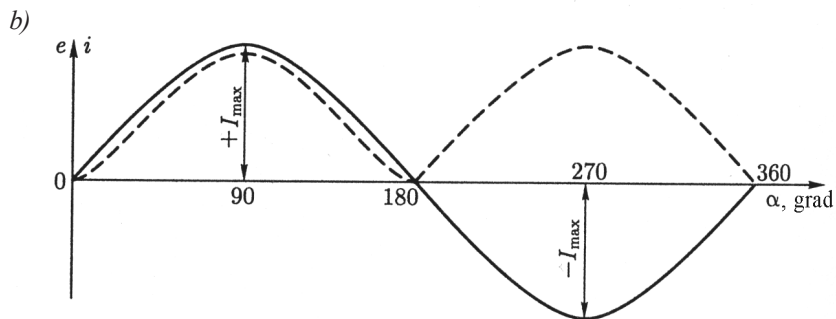
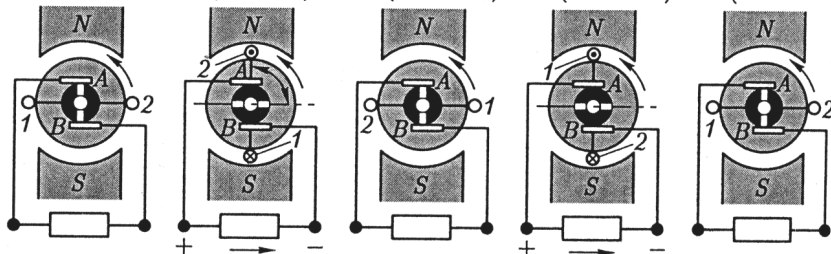
2.2-rasmida magnit qutblarining zonalarini ajratuvchi va yakor markazidan o‘tadigan OO' chiziq geometrik neytral deyiladi. Geometrik neytralda (a va b nuqtalar) magnit induksiya nolga teng. Generatorning ishlash jarayonida yakor aylanadi va uning chulg‘amining o‘tkazgichlari magnit maydonda navbatma-navbat magnit induksiyaning kattaliklari har xil bo‘lgan holatlarni egallaydi, shu sababli generator yakorining chulg‘amida o‘zgaruvchan EYK hosil bo‘ladi. Bunda EYKning vaqtga bog‘liq holda o‘zgarish grafigi magnit induksiyaning havo zazorida taqsimlanish diagrammasiga mos keladi. Masalan, magnit induksiyaning taqsimlanishi sinusoidal xarakterida bo‘lganda EYK, va demak, yakor chulg‘amidagi tok ham sinusoidal bo‘ladi. Agar mashinada kollektor bo‘lmaganida generatorning tashqi zanjiridagi tok o‘zgaruvchan bo‘lar edi. Lekin kollektor hamda A va B cho‘tkalar vositasida o‘zgaruvchan tok pulsatsiyalanuvchi tokka, ya‘ni yo‘nalishi o‘zgarmaydigan tokka aylanadi. $abcd$ o‘raming 2.1-rasmida ko‘rsatilgan holatida generatorning tashqi zanjiridagi tok A cho‘tkadan B cho‘tkaga tomon yo‘nalgan.

Zanjirning tashqi qismidagi tok musbat klemmadan manfiy tomon yoʻnalganligiga asosanib, choʻtkalarning qanday qutblanganligini aniqlaylaymiz: *A* choʻtka «musbat», *B* choʻtka esa «manfiy» qutblangan.

Yakor 180° ga burilgandan keyin oʻramdagi tokning yoʻnalishi teskari tomonga oʻzgaradi. Lekin choʻtkalarning qutbliligi va binobarin, zanjirning tashqi qismidagi tokning yoʻnalishi oʻzgarmay qoladi. Bunga sabab shuki, oʻramdagi tok oʻz yoʻnalishini oʻzgartirganda choʻtkalar tagidagi kollektor plastinkalari ham joy almashinadi. Shunday qilib, *A* choʻtka tagida hamma vaqt shimoliy qutb tagidagi oʻtkazgichga ulangan plastinka, *B* choʻtka tagida esa janubiy qutb tagidagi oʻtkazgichga ulangan plastinka turadi. Natijada choʻtkalarning qutbliligi oʻramlarning magnit maydondagi holatidan qatʼiy nazar, generatorning ishlash jarayonida oʻzgarmaydi. Shu tufayli generatorning tashqi zanjiridagi tokning yoʻnalishi oʻzgarmas boʻladi. Bu tokning kattaligiga kelsak, u oʻzgaruvchanligicha qolaveradi: chulgʻam oʻtkazgichlari qutblar tagida boʻlganda tokning qiymati maksimal, ular geometrik neytralda boʻlganida esa tok nolga teng boʻladi. Bu holat 2.3-*a* rasmda tasvirlangan; unda generator yakorining bitta aylanganidagi har xil holatlari va 2.3-*b* rasmda yakor chulgʻamidagi hamda generatorning tashqi zanjiridagi EYK va tokning grafiklari tasvirlangan. Shunday qilib, oʻzgarmas tok generatorida yakor chulgʻamidagi oʻzgaruvchan tok kollektor vositasida zanjirning tashqi qismidagi pulsatsiyalanadigan tokka aylantiriladi.

Agar ishlatiladigan yakor chulgʻami har biri kollektor plastinkalarining tegishli juftiga ulangan bir necha oʻramdan iborat boʻlsa, u holda generatorning tashqi zanjirdagi tok pulsatsiyasini kamaytirish mumkin. Masalan, yakorda ikkita oʻram fazoda bir-biridan 90° burchakka siljirilgan holda joylashtirilgan boʻlsa (2.4-rasm), tok pulsatsiyasi sezilarli darajada kamayadi (2.5-rasm).

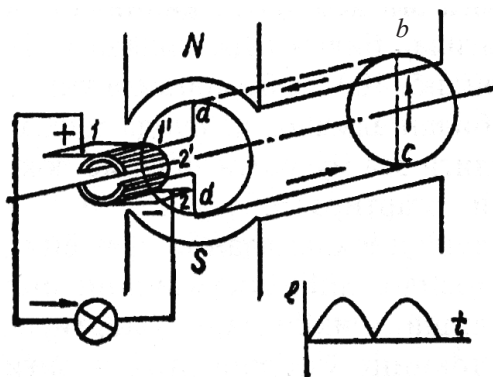
a) $I (\alpha = 0)$ $II (\alpha = 90^\circ)$ $III (\alpha = 180^\circ)$ $IV (\alpha = 270^\circ)$ $V (\alpha = 360^\circ)$



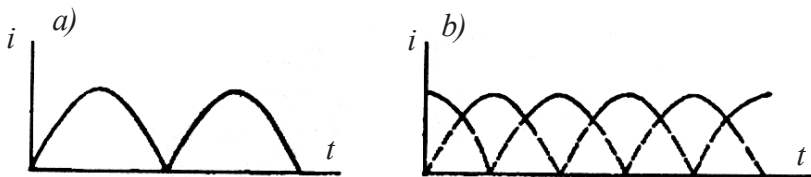
2.3-rasm. O'zgarmas tok generatorining ishlash prinsipi:

_____ yakor chulg'amidagi EYK va tok;

----- generatorning cho'tkalaridagi va tashqi zanjirlardagi EYK va tok.



2.4-rasm. Yakori ikki o'ramli o'zgarmas tok mashinasining modeli.



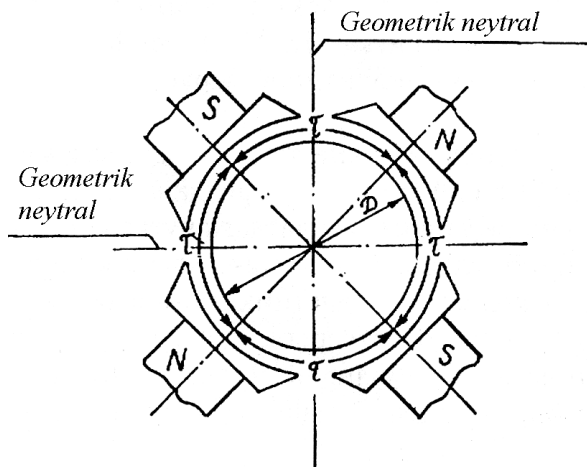
2.5-rasm. 2.4-rasmda ko'rsatilgan generator to'g'rilangan tokining grafi.

Yakor chulg'amida o'ranmalr soni ko'p bo'lganda tokning pulsatsiyalanishi yanada kamayadi. Amalda chulg'amda 16 o'ram (kollektorda 16 plastinka) bo'lgandayoq tokning pulsatsiyasi sezilmay qoladi va generatorning tashqi zanjiridagi (yuklamadagi) tokni faqat yo'nalishi bo'yicha emas, balki kattaligi bo'yicha ham o'zgarmas deyish mumkin bo'ladi.

2.2. O'zgarmas tok mashinalari yakorlarining chulg'amlari

O'zgarmas tok kollektorli mashinalarining ishlash prinsipi va tuzilishiga doyr biz o'rganib chiqqan masalalar mashinaning ishlashi uchun unda ikkita chulg'am: qo'zg'atish chulg'ami va yakor chulg'amining bo'lishi zarur ekanligini aniqlashga imkon beradi. Qo'zg'atish chulg'ami mashinada magnit maydon hosil qilishga, ya'ni uni qo'zg'atishga xizmat qiladi, yakor chulg'ami yordamida esa energiya bir turdan ikkinchi turga aylantiriladi. O'zgarmas tok magnitoelektr sistema mashinalari bundan mustasno, ularda faqat bitta chulg'am (yakor chulg'ami) bo'ladi, chunki bunday mashinalarda **magnit maydonni (qo'zg'atish) doimiy magnitlar ho-sil qiladi.**

O'zgarmas tok mashinasi yakorining chulg'ami yakor o'zagi-da ma'lum tarzda joylashtirilgan va kollektorga ulangan o'tkaz-gichlarning yopiq sistemasidan iborat.



2.6-rasm. Qutbiy bo'linma.

Yakor chulg'aminging elementi bitta yoki bir necha o'ramga ega bo'lgan hamda kollektor plastinkalarining ikkitasiga ulangan seksiyadir. Seksiya yakor o'zagining pazlariga joylashtiriladigan aktiv tomonlardan va shu tomonlarni birlashtiruvchi old qismlardan iborat. Yakor aylanganida aktiv tomonlarning har birida EYK induksiyanadi. Seksiyaning old stismlarida esa EYK induksiyanmaydi.

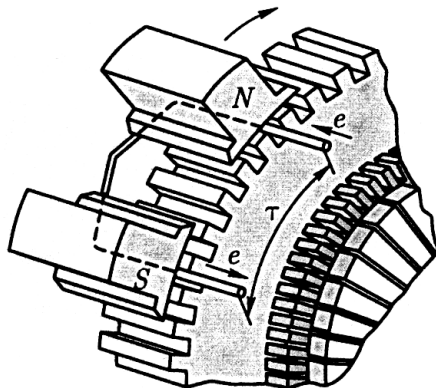
Yakor yuzasining bitta qutbga to'g'ri keladigan qismi *qutbiy bo'linma* deb ataladi (2.6-rasm) va quyidagi formula bilan ifodalanadi:

$$\tau = \frac{\pi D}{2p}, \quad (2.2)$$

bunda: τ – qutbiy bo'linma;

D – yakorning diametri;

$2p$ – mashinadagi asosiy qutblar soni.

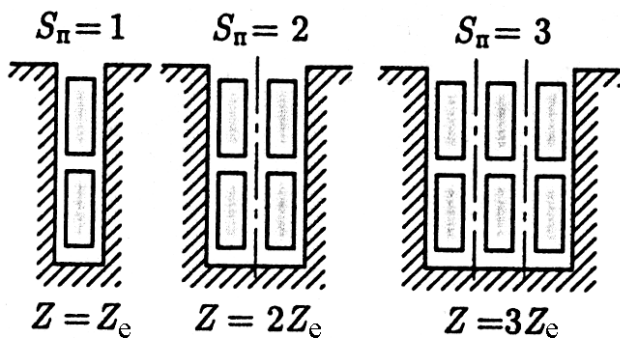


2.7-rasm. Yakor o'zagida seksiya aktiv tomonlarining joylashuvi.

Seksiyaning aktiv tomonlarida induksiyalanadigan EYK lar qo'shilishi, ya'ni bir tomonga yo'nalishi uchun seksiyani yakor o'zagining pazlarida shunday joylashtirish kerakki, bunda seksiyaning kengligi qutbiy bo'linmaga teng yoki undan salgina farq qiladigan bo'lsin (2.7-rasm).

Seksiyalar yakor o'zagining pazlarida ikki qavat qilib joylashtiriladi. Bunda agar seksiyaning aktiv tomonlaridan biri bitta pazning ostki qismida bo'lsa, uning ikkinchi tomoni boshqa pazning ustki qismida bo'ladi. Bitta pazga joylashtirilgan bir seksiyaning ustki tomoni bilan ikkinchi seksiyaning ostki tomoni *elementar paz* (Z_e) ni hosil qiladi. Real pazda ikkitadan ortiq, masalan, to'rtta, oltita, sakkizta va hokazo aktiv tomonlar bo'lishi mumkin emas. Bu holda real paz bir necha elementar pazlardan iborat bo'ladi (2.8-rasm).

Seksiyaning ikkita aktiv tomoni bo'lganligi sababli har qaysi seksiyaga bitta elementar paz to'g'ri keladi. Seksiyaning uchlari kollektor plastinkalariga ulanadi, bunda har qaysi plastinkaga bir seksiyaning boshi va ikkinchi seksiyaning oxiri ulanadi; ya'ni har qaysi seksiyaga bitta kollektor plastinkasi tog'ri keladi. Shunday qilib, yakor chulg'ami uchun quyidagi tenglikni yozish mumkin:



2.8-rasm. Elementar pazlar:

a – bitta elementar paz; b – ikkita elementar paz; d – uchta elementar paz.

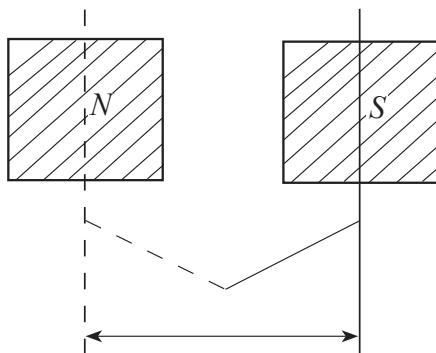
$$S = Z_e = K,$$

bunda: S – yakor chulgʻamidagi seksiyalar soni;

Z_e – elementar pazlar soni;

K – kollektor plastinkalari soni.

Yakor chulgʻamlarining sxemalarini eng qulay koʻrinishda va yaqqol tasvirlash uchun yakorning silindrsimon yuzasi chulgʻam bilan birgalikda shartli ravishda tekislikda yoyiladi va oʻtkazgichlarning barcha tutashmalari chizma tekisligida toʻgʻri chiziqlar bilan tasvirlanadi (2.9-rasm). Chulgʻamning ana shu koʻrinishda chizilgan sxemasi *yoyilgan sxema* deyiladi.



2.9-rasm. Seksiyaning yoyilgan sxemada tasvirlanishi.

Seksiyalarning shakliga va ularning kollektorga ulanish usuliga qarab, yakor chulg'amlar quyidagi tiplarga bo'linadi: oddiy kalava chulg'am, murakkab kalava chulg'am, oddiy to'lqinsimon chulg'am, murakkab to'lqinsimon chulg'am va aralash chulg'am.

2.3. Oddiy kalava chulg'am

2.10-rasmda oddiy kalava chulg'amning bir qismi tasvirlangan, unda chulg'am odimi – yakordagi seksiyalarning aktiv tomonlari orasidagi masofa ko'rsatilgan. Yakor yuzasida bitta seksiyaning aktiv tomonlari orasidagi eng yaqin masofa *chulg'amning yakor bo'ylab birinchi qisman odimi* deyiladi va y_1 bilan belgilanadi. Bu masofa elementar pazlar bilan o'lchanadi va ilgari aytib o'tilganidek qutbiy bo'linmaga teng bo'lishi yoki undan juda oz farq qilishi kerak.

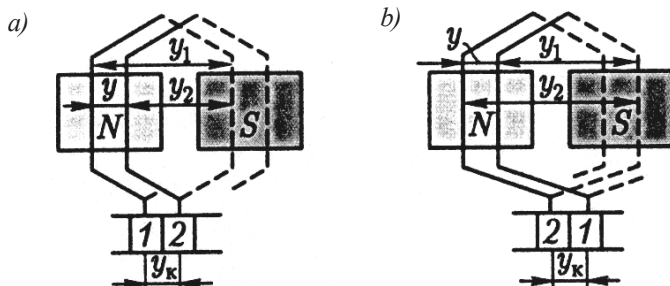
Birinchi seksiya pastki qatlamining aktiv tomoni bilan ikkinchi seksiya yuqori qatlamining aktiv tomoni orasidagi masofa chulg'amning *yakor bo'yicha ikkinchi qisman odimi* deyiladi, y_2 bilan belgilanadi va elementar pazlarda o'lchanadi.

Chulg'am odimlari y_1 va y_2 ni bilish chulg'amning yakor bo'yicha umumiy odimi y ni, ya'ni ketma-ket keluvchi ikkita seksiyaning bir qavatda joylashgan aktiv tomonlari orasidagi masofani aniqlashga imkon beradi.

2. 10-a rasmdan ko'rinib turibdiki,

$$y = y_1 + y_2. \quad (2.3)$$

Chulg'am seksiyalarini joylashtirib borishda biz faqat yakor o'zagi bo'ylab emas, balki go'yo kollektor bo'ylab ham siljib boramiz. Bitta seksiyaning boshlangich va oxirgi uchlari tutashtirilgan ikkita kollektor plastinkalari orasidagi masofa chulg'amning *kollektor bo'ylab odimi* deyiladi va y_k bilan belgilanadi.



2.10-rasm. Kalava chulg'am odimlari:

a) o'ngga o'ralgan chulg'am; b) chapga o'ralgan chulg'am.

Chulg'amning yakor bo'yicha odimlari elementar pazlar bilan, kollektor bo'yicha odimi esa kollektor bo'linmalari (plastinkalari) bilan o'lchanadi. Bir qismi 2.10-a rasmda ko'rsatilgan chulg'am *o'ng tomonga o'raladigan chulg'am* deyiladi, chunki bu chulg'amning seksiyalari yakor bo'ylab chapdan o'ngga qarab joylashtiriladi; chap tomonga o'raladigan chulg'amda (2.10-b rasm) esa chulg'am seksiyalari yakor bo'yicha o'ngdan chapga qarab joylashtirib boriladi.

Ta'rifida aytilganidek, oddiy kalava chulg'am har qaysi seksiyasining boshlang'ich va oxirgi uchlari yonma-yon joylashgan kollektor plastinkalariga ulanadi, binobarin,

$$y = y_k - 1.$$

Bu ifodada «plus» ishora o'ng tomonga o'raladigan, «minus» ishora esa chap tomonga o'raladigan chulg'amga tegishli.

Oddiy kalava chulg'amning barcha odimlarini aniqlash uchun yakor bo'ylab birinchi qisman odimini hisoblab topish yetarlidir:

$$y_1 = \frac{Z_e}{2p} \pm \varepsilon_e,$$

bunda: ε – ayirish yoki qo'shish yo'li bilan odim y_1 ni butun son holiga keltirish uchun kerak bo'lgan birdan kichik son.

(2.3) formula asosida chulg'amning ikkinchi qisman odimini aniqlaymiz:

$$y_2 = y_1 \pm y = y_1 \pm 1.$$

Yakor chulg'amlarining sxemalarini yasash masalalarini yaxshiroq tushunib olish uchun oddiy kalava chulg'amning yoyilgan sxemasini yasashga doir misol ko'rib chiqamiz.

Misol. To'rt qutbli ($2p=4$) o'zgarmas tok mashinasi uchun yakor oddiy kalava chulg'amining yoyilgan sxemasini yasang. Chulg'am o'ng tomonga o'raladigan seksiyalar bir o'ramli. Yakor o'zagida $Z=12$ ta paz bor, har bir pazda ikkitadan aktiv tomon joylashgan, ya'ni $Z=Z_e$.

Yechilishi. Chulg'am odimlarini aniqlaymiz:

yakor bo'ylab birinchi qisman odimi:

$$y_1 = \frac{Z_e}{2p} \pm \varepsilon_e = \frac{12}{4} = 3,$$

yakor bo'ylab ikkinchi qisman odimi,

$$y_2 = y_1 - y = 3 - 1 = 2.$$

Sxemani yasashga kirishishdan oldin quyidagilarni ta'kidlab o'tish zarur:

1. Yakor o'zagining barcha pazlari va chulg'am seksiyalari nomerlab chiqiladi. Bunda seksiyaning aktiv tomonlaridan biri qaysi pazning yuqori qismida joylashgan bo'lsa, seksiyaga shu pazning nomeri qo'yiladi.

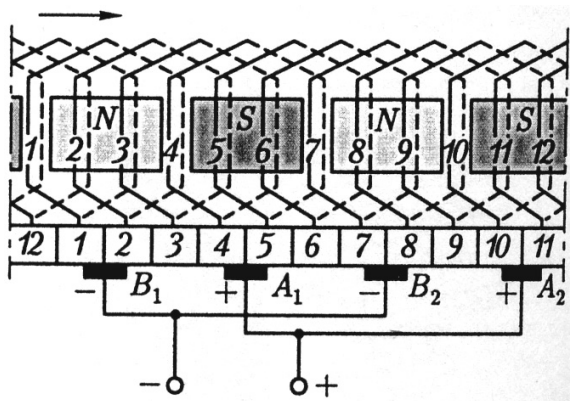
2. Yuqori qatlamning aktiv tomonlari sxemada tutash chiziqlar bilan, pastki qatlamning tomonlari esa punktir chiziqlar bilan shunday tasvirlanadiki, seksiyaning ustki qatlamga tegishli yarim qismi sxemada tutash chiziqlar bilan, ostki qatlamga tegishli boshqa yarim qismi esa punktir chiziqlar bilan ko'rsatiladi.

Sxema chizishni qulaylashtirish uchun avvalo ulanishlar jadvalini tuzish lozim. Bu jadvalda gorizontal chizilar seksiya-

larni, ogʻma chiziqlar esa seksiyalarning kollektor tomondan ulanish tartibini koʻrsatadi. Odimlar toʻgʻri hisoblangan boʻlsa, jadval chulgʻamning ustki va ostki qatlamlaridagi barcha aktiv tomonlarini oʻz ichiga oladi.

Chulgʻamning yoyiq sxemasi (2.11-rasm) quyidagi tartibda chiziladi. Bir varaq qogʻozda pazlar belgilab olinadi va qutblarning konturlari chiziladi. Bunda shuni eʼtiborga olish kerakki, sxemada tasvirlangan qutb yakor ustidagi qutbning goʻyo koʻzgudagi aksini ifodalaydi. Chulgʻam sxemasini chizishda qutbning kengligini taxminan $0,8 \tau$ ga teng deb olish kerak. Qutblarning qutbliligi (ishorasi) navbatma-navbat qoʻyiladi: $N-S-N-S$. Soʻngra kollektor plastinkalari tasvirlanadi va sxemaga aktiv tomonlari 1 va 4 pazlarda joylashgan birinchi seksiya chiziladi. Birinchi seksiyaning uchlari tutashtirilgan kollektor plastinkalari 1 va 2 raqamlar bilan belgilanadi.

Shundan keyin kollektorning qolgan plastinkalari nomerlanadi va sxemaga birin-ketin boshqa seksiyalar (2, 3 va hokazo) chiziladi. Oxirgi seksiya (12) chulgʻamni yopishi kerak, bu sxema toʻgʻri chizilganligidan dalolat beradi.

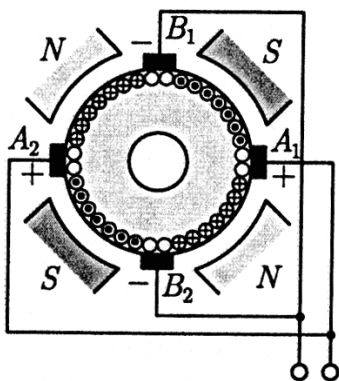


2.11-rasm. Oddiy kalava chulgʻamning yoyiq sxemasi:

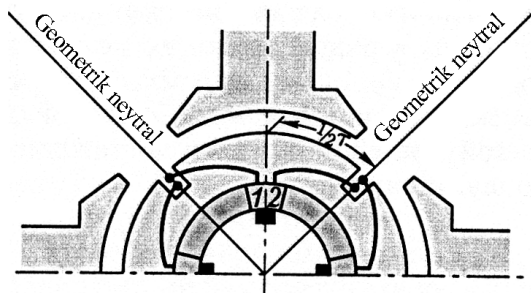
$$2p = 4; Z_c = 12.$$

Shundan keyin sxemada choʻtkalar tasvirlanadi. A va B choʻtkalar orasidagi masofa qutb boʻlinmasiga mos kelishi, yaʼni kollektor boʻlinmalarining $\frac{K}{2p}$ qismini tashkil etishi kerak. Bizning misolimizda bu masofa $\frac{12}{4} = 3$ kollektor boʻlinmasiga teng. Choʻtkalarning kollektorda joylashuviga kelsak, bunda quyidagilarga asoslanish lozim.

Yakor chulgʻaming tashqi zanjir bilan elektr kontaktda kollektor va choʻtkalar orqali emas, balki yakor sirtida joylashgan shartli choʻtkalar (2.12-rasm) yordamida hosil qilinadi, deb faraz qilaylik, bu holda mashina EYK ning eng katta qiymati shartli choʻtkalarning geometrik neytraldagi holatiga mos keladi. Lekin seksiyalar ulangan kollektor plastinkalari aktiv tomonlarga nisbatan $\frac{1}{2\tau}$ ga surilganligi uchun (2.13-rasmga qarang) shartli choʻtkalardan real choʻtkalarga oʻtishda ularni kollektorda 2.10-rasmga koʻrsatilganidek mashina asosiy qutblarining usti boʻylab joylashtirish kerak. Mashina generator rejimida ishlaydi va uning yakori chapdan oʻngga tomon aylanadi, deb faraz qilaylik. «Oʻng qoʻl» qoidasidan foydalanib, seksiyaning aktiv tomonlarida induksiyanadigan EYK (tok)ning yoʻnalishini aniqlaymiz.



2.12-rasm. Yakorda shartli choʻtkalarning joylashuvi.



2.13-rasm. Kollektorda choʻtkalarning asosiy qutblarning oʻqlari boʻylab joylashuvi.

Bu choʻtkalarning qanday qutbliligini aniqlashimizga imkon beradi: tashqi zanjirga tok olinadigan A_1 va A_2 choʻtkalar musbat, B_1 va B_2 choʻtkalar esa manfiy qutbli boʻladi. Bir xil qutbli choʻtkalar parallel tutashtiriladi va mashinaning tegishli klemmalariga ulanadi.

2.4. Yakor chulgʻaming parallel shoxobchalari

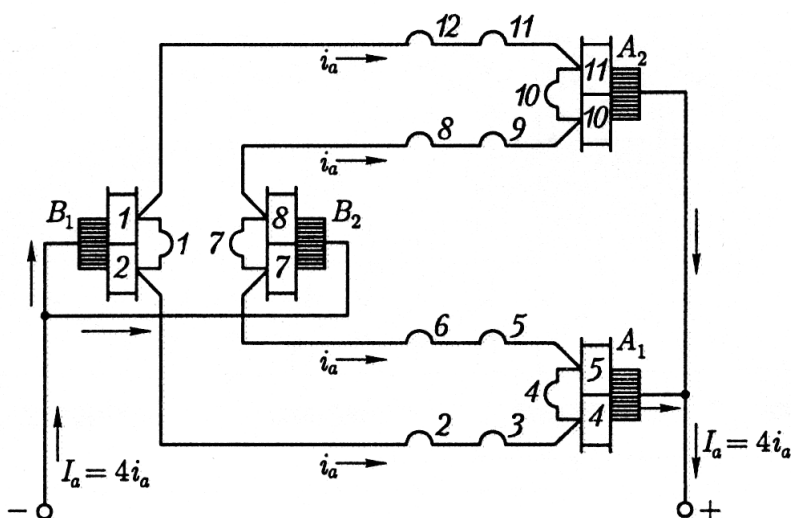
Oddiy kalava chulgʻam sxemasi diqqat bilan koʻzdan kechirilsa, bu chulgʻam toʻrt qismdan iborat ekanligini, qismlardan har biri chulgʻamning parallel shoxobchasini hosil qilishini va tokning yoʻnalishi bir xil boʻlgan, ketma-ket ulangan bir necha seksiyalardan tashkil topganligini payqash qiyin emas. Parallel shoxobchalarda seksiyalarning taqsimlanishi chulgʻamning elektr sxemasida (2.14-rasm) koʻrsatilgan. Bu sxema yoyiq sxema (2.11-rasm) asosida quyidagi tartibda chiziladi. Bir varaq qogʻozda choʻtkalar va ular bilan kontaktda boʻlgan kollektor plastinkalari tasvirlanadi. Bunda musbat qutblangan choʻtkalar manfiy qutblangan choʻtkalar qarshisiga chiziladi. Soʻngra birinchi seksiyadan boshlab chulgʻam seksiyalari tasvirlab chiqiladi. Keyin bitta parallel shoxobchani hosil qiladigan 2 va 3 seksiyalar keladi. Bunda birinchi seksiya V_x

choʻtka orqali qisqa tutashgan boʻlib qoladi. Shu usul bilan butun chulgʻam chizib chiqiladi. Natijada chulgʻamning toʻrtta parallel shoxobchali elektr sxemasiga ega boʻlamiz. Bunda har qaysi parallel shoxobcha ketma-ket ulangan ikkita seksiyani oʻz ichiga oladi.

Har bir parallel shoxobcha ichidagi seksiyalarning EYK lari oʻzaro qoʻshiladi. Barcha shoxobchalar parallel ulangani uchun butun yakor chulgʻamining EYKi bitta parallel shoxobchaning EYK kattaligi bilan aniqlanadi, yakor chulgʻamidagi tokning kattaligi esa chulgʻamning barcha shoxobchalaridagi toklar yigʻindisiga teng:

$$I_a = 2 \cdot a \cdot i_a.$$

Bunda: I_a — yakor chulgʻamidagi tok kattaligi;
 i_a — bitta parallel shoxobchadagi tok kattaligi;
 $2a$ — chulgʻamdagi parallel shoxobchalar soni.



2.14-rasm. 2.13-rasmda tasvirlangan chulgʻamning elektr sxemasi.

O'rganilayotgan yakor chulg'amida to'rtta, ya'ni mashinadagi asosiy qutblar soniga teng parallel shoxobcha bor. Bu tasodifiy emas, chunki oddiy kalava chulg'amda parallel shoxobchalar soni doimo mashinaning asosiy qutblari soniga teng bo'ladi:

$$2a = 2p.$$

Yakor chulg'amidagi parallel shoxobchalar soni mashinaning asosiy ish parametrlarini, chunonchi: kuchlanishni va tok kattaligini belgilaydi.

Misol. Olti qutbli o'zgarmas tok mashinasi yakorining chulg'ami oddiy kalava chulg'am bo'lib, 36 seksiyadan iborat. Chulg'amning har qaysi seksiyasida induksiyanadigan EYKning ta'sir etuvchi qiymati 10 V bo'lib, seksiyalar bitta aktiv tomoni simining ko'ndalang kesim yuzasi esa ko'pi bilan 15 A tokka mo'ljallangan bo'lsa, mashinaning EYK ini va tok kattaligini aniqlang.

Yechilishi. Chulg'amdagi parallel shoxobchalar soni:

$$2a = 2p = 6,$$

bunda har bir parallel shoxobchada,

$$S_{NM} = \frac{s}{2a} = \frac{36}{6} = 6.$$

U holda bitta parallel shoxobchaning EYKi, va demak, mashinaning EYKi

$$E_a = 6 \cdot 10 = 60 \text{ V},$$

mashinaning ruxsat etiladigan toki esa

$$I_a = 6 \cdot 15 = 90 \text{ A}$$

bo'ladi.

Agar boshqa sharoitlar o'zgarmas bo'lganda mashinada sak-kizta qutb bo'lganda edi, uning EYKi 40 V ga qadar kamaygan, tok esa 120 A ga qadar ortgan bo'lar edi.

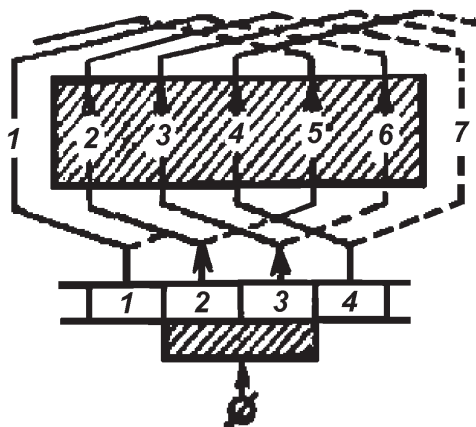
2.5. Murakkab kalava chulg'am

Oddiy kalava chulg'amda parallel shoxobchalar soni mashinaning asosiy qutblari soniga teng. Shuning uchun parallel shoxobchalari ko'p bo'lgan chulg'am olish talab etilganda (masalan, past kuchlanishli mashinalarda shunday qilish zarur bo'ladi) mashinani ko'p qutbli qilishga to'g'ri kelgan bo'lardi. Bu narsa mashinaning o'lchamlari va tannarxining ortib ketishiga olib kelar edi. Demak, parallel shoxobchalari ko'p chulg'am olish zarur bo'lganda murakkab kalava chulg'am ishlatiladi. Bunday chulg'am, odatda, bitta yakorga joylashtirilgan bir necha oddiy kalava chulg'amdan iborat bo'ladi. Murakkab kalava chulg'amda parallel shoxobchalar soni

$$2a = 2pm.$$

Bunda: m – murakkab chulg'amni tashkil qiluvchi oddiy kalava chulg'amlar sonini ko'rsatuvchi kararlilik koeffitsiyenti.

Murakkab kalava chulg'amli mashinada cho'tkalar kengligi shunday olinadiki, bunda har qaysi cho'tka bir vaqtning o'zida kamida bitta kollektor plastinkalarini, ya'ni murakkab chulg'amdagi oddiy chulg'amlar soniga teng plastinkalarni qoplasin. Bu holda oddiy chulg'amlar bir-biri bilan parallel ulangan bo'lib qoladi. 2.15-rasmda ikkita oddiy chulg'amdan tarkib topgan ($m=2$) murakkab kalava chulg'amning bir qismi ko'rsatilgan. Cho'tka bu chulg'amlarni parallel ulashi uchun bitta chulg'amning seksiya tomonlari va kollektor plastinkalarini surib, ular orasiga boshqa chulg'amning seksiya tomonlari va kollektor plastinkalarini joylashtirishga to'g'ri keldi. Shuning uchun murakkab chulg'amning kollektor bo'yicha odimi va yakor buo'yicha umumiy odimi oddiy kalava chulg'amning xuddi shu parametrlariga nisbatan t marta ortadi:



2.15-rasm. Murakkab kalava chulg'am seksiyalarining joylashuvi.

$$y_k = y = m.$$

Chulg'amning yakor bo'yicha birinchi qisman odimi bizga ma'lum bo'lgan quyidagi formula bo'yicha hisoblab topiladi:

$$y_1 = \frac{Z_e}{2p} \pm \varepsilon.$$

Murakkab kalava chulg'amning yoyiq sxemasini chizish tartibini misolda ko'rib chiqamiz.

Misol. To'rt kutbli o'zgarmas tok mashinasining yakori $S = 16$ seksiyali murakkab kalava chulg'amga ega. Karralilik koeffitsienti $m=2$ bo'lganda chulg'amning yoyiq sxemasini chizing.

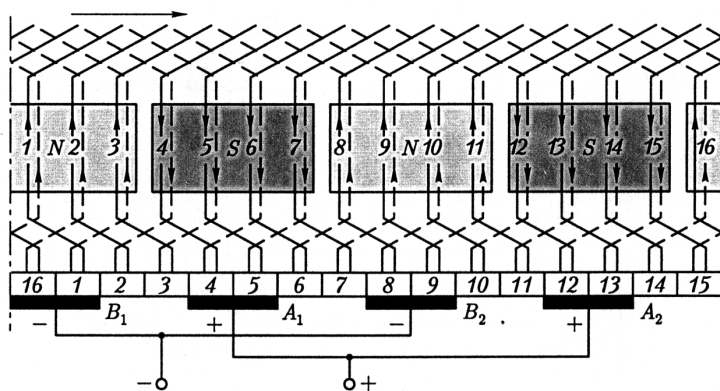
Yechilishi. Chulg'amning odimlarini aniqlaymiz:

$$y_1 = \frac{Z_e}{2p} \pm \varepsilon = \frac{16}{4} - 0 = 4,$$

$$y = y_k = m = 2; \quad y_a = y_1 - y = 4 - 2 = 2.$$

Chulg'am sxemasini chizishga kirishamiz. Avvalo bitta oddiy chulg'amning hamma seksiyalarini (toq nomerli seksiyalarni: 1, 3, 5 va hokazo) joylashtirib chiqamiz. Bu seksiyalarning uchlari kollektorning tok nomerli plastinkalariga tutashtiramiz (2.16-rasm). Shundan keyin yakorda boshqa oddiy chulg'amning seksiyalarini (juft nomerli seksiyalarni: 2, 4, 6 va hokazo) joylashtiramiz. Cho'tkalarni joylashtirish va ularning qutbliligini aniqlash oddiy kalava chulg'amda qilingan ketma-ketlikda bajariladi. Bunda cho'tkalarining kengligi kollektorning ikkilangan bo'linmasiga teng deb qabul qilinadi Chulg'amning parallel shoxobchalari soni:

$$2 \cdot a = 2 \cdot p \cdot m = 2 \cdot 4 = 8.$$



2.16-rasm. Murakkab kalava chulg'amning yoyiq sxemasi:

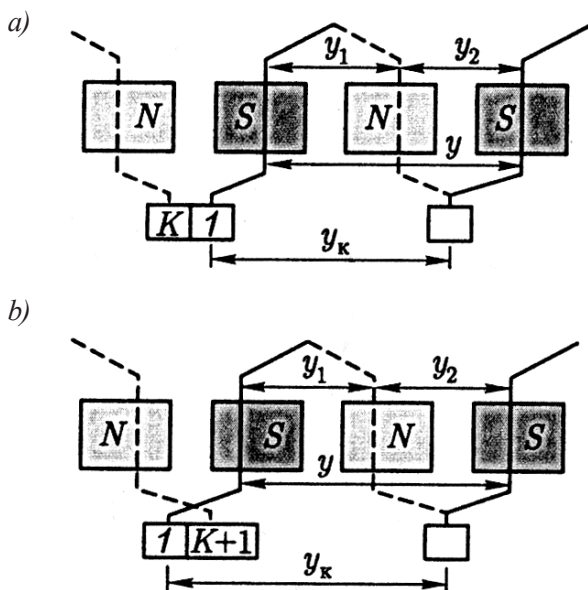
$$2p=4; Z_c=16; m=2.$$

2.6. Oddiy to'liqinsimon chulg'am

Qutblarning turli juftlari ostida joylashgan seksiyalar ketma-ket ulansa, oddiy to'liqinsimon chulg'am hosil bo'ladi (2.17-rasm). To'liqinsimon chulg'am seksiyalarining uchlari bir-biridan

chulg'amning kollektor bo'yicha odimi y_k -y qadar masofada joylashgan kollektor plastinkalariga ulangan bo'ladi. Yakorni bitta aylanib chiqilganda mashinaning qutb juftlari soniga teng miqdorda seksiyalar joylashadi, bunda eng keyin joylashtirilgan seksiyaning oxirgi uchi boshlang'ich plastinkaning yonidagi kollektor plastinkasiga ulanadi.

Agar yakor bo'ylab eng keyin joylashtirilgan seksiyaning oxirgi uchi boshlang'ich plastinkaning chap tomonidagi kollektor plastinkasiga ulansa, oddiy to'liqsimon chulg'am *chap tomonga o'raladigan* (2.17-a rasm) deyiladi. Agar shu plastinka boshlang'ich plastinkaning o'ng tomonida bo'lsa, chulg'am *o'ng tomonga o'raladigan* deyiladi (2.17-b rasm). To'liqsimon chulg'am seksiyalari bir o'ramli va ko'p o'ramli bo'lishi mumkin.



2.17-rasm. Oddiy to'liqsimon chulg'am sxemalari:

a) chapga o'raladigan; b) o'ngga o'raladigan.

Chulg'amning kollektor bo'yicha odimi y_k kollektor aylanasi uzunligining bir juft qutbga to'g'ri keladigan qismini egallaydi; shuning uchun biz kollektor bo'ylab bir marta aylanib chiqilganda kollektor bo'linmalarining $y_k p$ ga teng soniga siljigandek bo'lamiz va boshlangich plastinka bilan yonma-yon joylashgan plastinkaga o'tamiz. Shu aytilganlarga asosan quyidagini yozish mumkin:

$$y_k p = K \pm 1,$$

bundan chulg'amning kollektor bo'ylab odimi va binobarin, yakor bo'yicha umumiy odimi o'zaro teng bo'ladi, ya'ni:

$$y_k = y = \frac{K \pm 1}{p}. \quad (2.4)$$

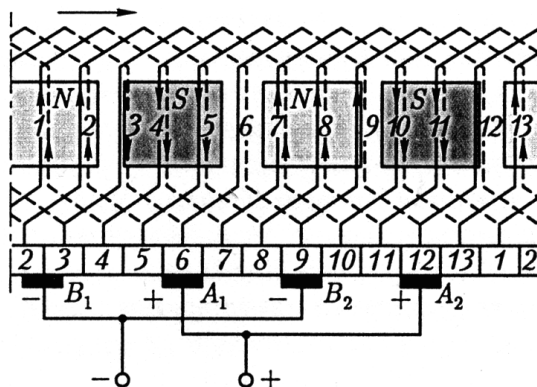
«Minus» ishora chap tomonga o'raladigan, «plus» ishora esa o'ng tomonga o'raladigan chulg'amga tegishlidir.

O'ng tomonga o'raladigan chulg'am tayyorlashda seksiyalarning old qismlari kesishganligi tufayli qo'shimcha mis sarf bo'ladi, shuning uchun bunday chulg'am amalda deyarli qo'llanilmaydi.

Chulg'amning yakor bo'yicha birinchi qisman odimi (2.3) formula, ikkinchi odimi esa:

$$y_2 = y - y_1$$

formula bo'yicha aniqlanadi.



2.18-rasm. Oddiy to'liqsimon chulg'amning yoyiq sxemasi:

$$2p=4; Z_c=13.$$

Oddiy to'liqsimon chulg'am sxemasini qurishga doir bitta misol ko'rib chiqamiz.

Misol. To'rt qutbli o'zgarmas tok mashinasining yakori $S=13$ seksiyadan iborat oddiy to'liqsimon chulg'amga ega. Shu chulg'amning yoyiq sxemasini ko'ring, shuningdek, uning elektr sxemasini chizing.

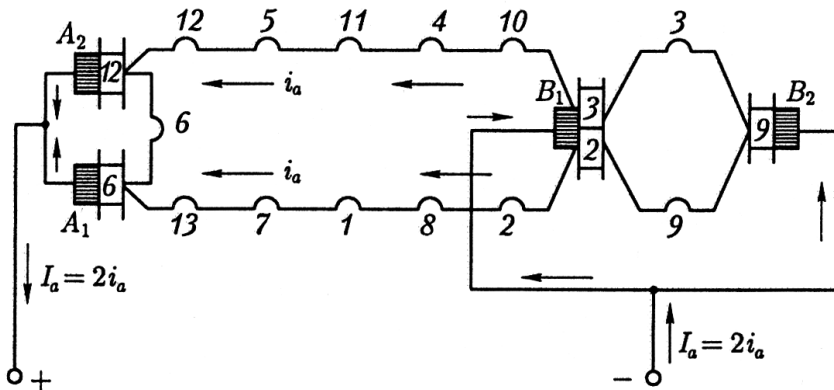
Yechilishi. Chulg'am odimlarini aniqlaymiz:

$$y_k = y = \frac{K \mp 1}{P} = \frac{13-1}{2} = 6,$$

$$y_1 = \frac{Z_c}{2P} \mp \varepsilon = \frac{13}{4} - \frac{1}{4} = 3,$$

$$y_2 = y - y_1 = 6 - 3 = 3.$$

Avvalo cho'tkalarining qutbliligini aniqlaymiz. So'ngra chulg'amning elektr sxemasini chizamiz (2.19-rasm). Bu sxemadan ko'rinib turibiki, chulg'am ikkita parallel shoxobchadan iborat. Bu hol oddiy to'liqsimon chulg'amga xos xususiyatdir: bunday chulg'amda *parallel shoxobchalar soni, mashinadagi qutblar sonidan qat'iy nazar, hamma vaqt ikkiga teng bo'ladi*.



2.19-rasm. 2.18-rasmda tasvirlangan chulg'amning elektr sxemasi.

Oddiy to'liqsimon chulg'amning keltirilgan sxemalaridan ko'rinib turibdiki, har qaysi parallel shoxobchanning seksiyalari mashinaning barcha qutblari ostida bir tekis taqsimlangan. Shuni ham ta'kidlash lozimki, bunday chulg'amda faqat ikkita, masalan B_2 va A_2 cho'tkalarini ishlatish bilan cheklanilsa ham bo'lar edi. Lekin bunda chulg'amning simmetriyasi buzilgan bo'lar edi, chunki parallel shoxobchalardagi seksiyalar soni bir xil bo'lmay qoladi. Bitta shoxobchada yettita seksiya, boshqasida oltita seksiya bo'ladi. Shuning uchun, odatda, asosiy qutblar qancha bo'lsa, mashinada shuncha cho'tka o'rnatiladi, xususan, bu narsa har qaysi cho'tkaga to'g'ri keladigan tok kattaligini kamaytirishga va kollektorning o'lchamlarini kichraytirishga imkon beradi.

2.7. Murakkab to'liqsimon chulg'am

Bitta yakorga joylashtirilgan bir necha oddiy to'liqsimon chulg'amlar murakkab to'liqsimon chulg'amni hosil qiladi.

Oddiy to'liqsimon chulg'am ikkita parallel shoxobchadan iborat bo'lgani sababli, murakkab to'liqsimon chulg'amdagi parallel shoxobchalar soni $2a=2m$ ga teng bo'ladi, bunda m – karralilik koeffitsiyenti, ya'ni murakkab to'liqsimon chulg'amni tashkil etuvchi oddiy chulg'amlar soni.

Murakkab to'liqsimon chulg'am ham oddiy chulg'am kabi hisob qilinadi, lekin chulg'amning kollektor bo'yicha odimini hisoblashda quyidagi formuladan foydalanish lozim:

$$y_k = \frac{k \pm m}{p}. \quad (2.5)$$

Murakkab chulg'amni hosil qiluvchi oddiy to'liqsimon chulg'amlar bir-biriga cho'tkalar vositasida parallel ulanadi; cho'tkalarining kengligi murakkab kalava chulg'amdagi kabi, ya'ni

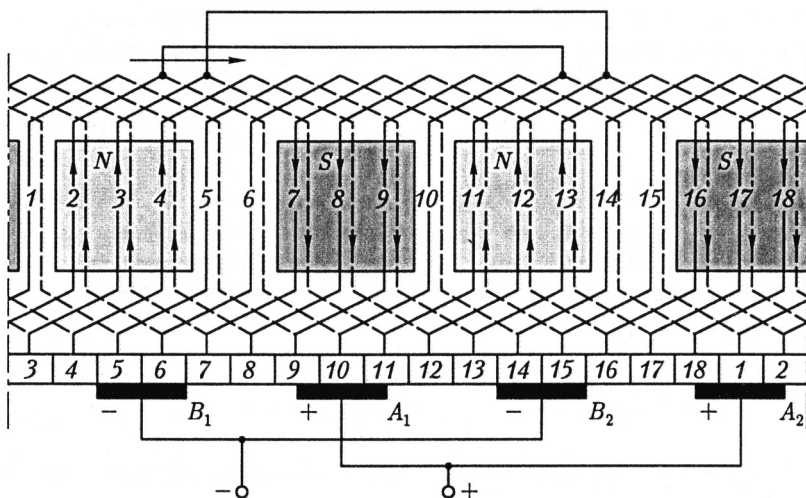
har qaysi cho'tka bir vaqtning o'zida kollektor plastinkalarining kamida t tasini qoplaydigan qilib olinadi.

Misol. To'rt qutbli o'zgarmas tok mashinasining yakorida ikkita oddiy chulg'amdan tashkil topgan ($m=2$) murakkab to'liqinsimon chulg'am bor. Chap tomonga o'raladigan chulg'am bir o'ramli 18 ta seksiyadan tuzilgan. Shu chulg'amning yoyiq sxemasini qurish talab etiladi.

$$y_k = y = \frac{K \mp 1}{P} = \frac{18}{4} - \frac{2}{4} = 4,$$

$$y_1 = \frac{Z_e}{2P} \mp \varepsilon = \frac{18-2}{2} = 8,$$

$$y_2 = y - y_1 = 8 - 4 = 4.$$



2.20-rasm. Murakkab to'liqinsimon chulg'amning yoyiq sxemasi:

$$2p=4; Z_e=18; m=2.$$

Chulg'am seksiyalarining ulanishlari jadvalini tuzib, sxemani qurishga kirishamiz, bunda avval bitta oddiy chulg'amning seksiyalarini, keyin esa ikkinchisining seksiyalarini joylashtiramiz (2.20-rasm). Chulg'amdagi parallel shoxobchalar soni

$$2a = 2m = 4.$$

2.8. «O'lik» seksiyali to'liqsimon chulg'am

Oddiy to'liqsimon chulg'amning kollektor bo'yicha odimi ifodasidan (2.4) qutb juftlarining soni juft bo'lganda oddiy to'liqsimon chulg'am yasash uchun kollektor plastinkalarining va binobarin, seksiyalarning soni toq bo'lishi kerak, degan xulosa kelib chiqadi. Haqiqatan ham, agar, masalan, to'rt qutbli mashina yakorining chulg'ami 18 seksiyadan tashkil topgan bo'lsa, ularni ulash uchun $K = 18$ ta kollektor plastinkalari kerak.

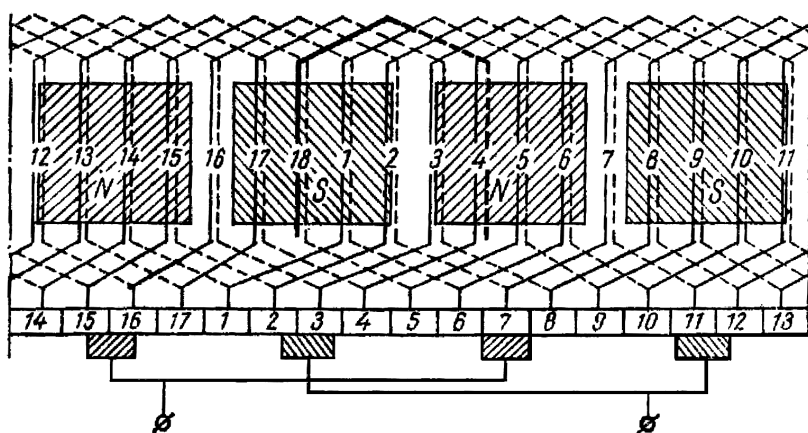
Bu holda oddiy to'liqsimon chulg'amning kollektor bo'yicha odimi

$$y_k = \frac{18-1}{2}$$

kasr son bo'lib qoladi va, demak, chulg'amni yasab bo'lmaydi. Agar shunday chulg'am yasash zarur bo'lsa, quyidagicha ish qilinadi: kollektor plastinkalarining soni bittaga kamaytiriladi ($K=17$), seksiyalardan biri esa «o'lik» qilinadi, ya'ni kollektorga ulamay qoldiriladi. Bu holda,

$$y_k = \frac{18-1}{2}.$$

Bunday chulg'am yasalganda yakor o'zagining pazlariga 18 ta seksiyaning hammasi joylashtiriladi. Shundan keyin bitta seksiyaning uchlari qirqiladi, qolgan 17 ta seksiya esa hisoblangan odim $y_k=8$ ga muvofiq holda kollektor plastinkalariga ulanadi. 2.21-rasmda bunday chulg'amning yoyiq sxemasi keltirilgan, unda «o'lik» seksiya yo'g'on chiziqlar bilan ko'rsatilgan.



2.21-rasm. «O'lik» seksiyali to'liqinsimon chulg'amning yoyiq sxemasi.

2.9. Sun'iy yo'l bilan tutashtirilgan to'liqinsimon chulg'am

Agar mashinada unga zaruriy parametrlarni ta'minlash uchun to'liqinsimon chulg'am ishlatish kerak bo'lib, yakor pazlarining va kollektor plastinkalarining soni bunday chulg'am yasashga imkon bermasa, bunday hollarda sun'iy yo'l bilan tutashtirilgan chulg'am yasaladi.

Masalan, agar to'rt qutbli mashinaning yakorida pazlar soni $Z=12$, kollektor esa mos ravishda $K=12$ plastinkadan iborat bo'lsa, oddiy to'liqinsimon chulg'am yasab bo'lmaydi, chunki

$$y_k = \frac{12-1}{2} \neq \text{b.c (butun son)}.$$

Agar oddiy to'liqinsimon chulg'am 13 seksiyadan iborat va kollektorda tegishli 13 ta plastinka bo'lsa, bunday chulg'amni yasash mumkin bo'ladi:

$$y_k = \frac{13-1}{2} = 6.$$

Lekin yakorda faqat 12 ta paz, kollektorda esa 12 ta plastinka bor, bu 12 ta seksiyani o'zakka joylashtirish va kollektorga ulashga imkon beradi. Xuddi ana shu holda 12 seksiyadan iborat, sun'iy yo'l bilan tutashtirilgan to'lqinsimon chulg'am ishlatiladi, yetishmaydigan bu uchinchi seksiya va kollektor plastinkasi o'rniga o'tkazgich (sim) olib, bu sim bilan chulg'am uchlari tutashtiriladi.

Sun'iy yo'l bilan tutashtirilgan to'lqinsimon chulg'am odimlarini hisoblashda yakor o'zagida haqiqiy sonidan bitta ortiq paz, kollektorda esa bitta ortiqcha plastinka bor deb olinadi. Demak, bizning misolimizda chulg'am odimlarini hisoblashda $Z=13$ va $K=13$ deb qabul qilish kerak. U holda chulg'am odimlari quyidagicha bo'ladi:

$$y_1 = \frac{13}{4} - 0,25 = 3,$$

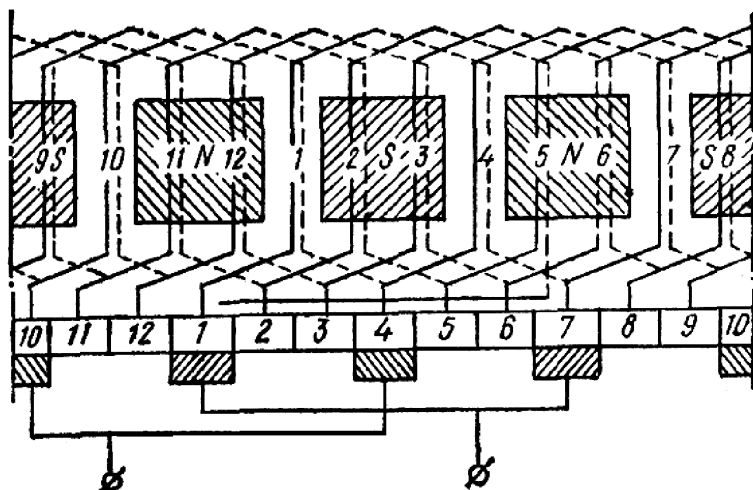
$$y_k = \frac{13-1}{2} = 6.$$

Bu chulg'am sxemasini chizishda (2.22-rasm) shuni esda tutish kerakki, har bir aylanib chiqishda, ya'ni p ta seksiyani joylashtirishda bu seksiyalarning kollektor bo'yicha odimlari navbatma-navbat keladi: bir seksiyaning odimi to'la qilinadi (y_k), ikkinchi seksiyaning odimi esa kollektorning bitta bo'linmasiga qisqartiriladi:

$$y = y_k - 1.$$

Bizning misolimizda $y_k = 6 - 1 = 5$.

Keyingi aylanib chiqishda seksiyalarning odimlari yana almashinib turadi. Oxirgi seksiya joylashtirilgandan keyin uning oxiri birinchi seksiyaning boshlanishi bilan o'tkazgich vositasida ulanadi.



2.22-rasm. Sun'iy yopilgan to'liqinsimon chulg'amning yoyiq sxemasi:

$$2p=4; S=12; K=12; y_1=3; y_k=6; k=5.$$

2.10. Chulg'amning simmetrik bo'lish shartlari

Agar yakor chulg'ami parallel shoxobchalarining elektr xossalari bir xil, ya'ni ularning elektr qarshiliklari bir xil bo'lib, ularda kattaligi jihatdan o'zaro teng EYK induksiyalansa, bunday chulg'am *simmetrik chulg'am* deyiladi.

Nosimmetrik chulg'amda yakor toki parallel shoxobchalarda notekis taqsimlanadi, natijada ba'zi shoxobchalarida tok kattaligi haddan tashqari ortib ketsa, boshqalarida esa kamayib ketadi. Buning natijasida yakor chulg'amida elektr isroflar ko'payadi, mashinaning foydali quvvati esa kamayadi.

Yakor chulg'ami *simmetriya shartlari* deyiladigan muayyan shartlarga rioya qilingandagina simmetrik bo'ladi.

Birinci yaqqol ko'rinib turgan shart shundan iboratki, chulg'am parallel shoxobchalarining har qaysi juftida seksiyalar soni bir xil bo'lishi kerak.

Bu shart chulg'amdagi parallel shoxobchalarning har qaysi juftiga seksiyalarning butun soni to'g'ri kelgandagina bajarilishi mumkin, ya'ni

$$\frac{s}{a} = b.c. \quad (2.6)$$

Bu shart bajarilmaganda parallel shoxobchalarning elektr qarshiligi, shuningdek, ularning EYKi bir xil bo'lmay qolishiga ishonch hosil qilish qiyin emas. Bu hol tokning parallel shoxobchalarda notekis taqsimlanishiga va shundan kelib chiqadigan yomon oqibatlarga olib kelgan bo'lar edi.

Keyingi shart shundan iboratki, yakorda har qaysi parallel shoxobchalar juftining seksiyalari egallagan pazlarning soni ham teng, ya'ni

$$\frac{Z}{a} = b.c. \quad (2.7)$$

bo'lishi kerak, bunda Z – yakordagi real pazlar soni.

NAZORAT SAVOLLARI

1. Kollektorli o'zgarmas tok mashinasi qanday qismlardan iborat?
2. Generator chulg'amining bitta o'tkazgichi uchun EYK qaysi formula orqali aniqlanadi?
3. Qutbiy bo'linma nima?
4. Elementar paz qanday hosil qilinadi?
5. O'zgarmas tok mashinalari yakorlarining chulg'amlari tuzilishining necha xil ko'rinishi bor?
6. Yakor chulg'amining parallel shoxobchalari qanday o'rnatiladi?

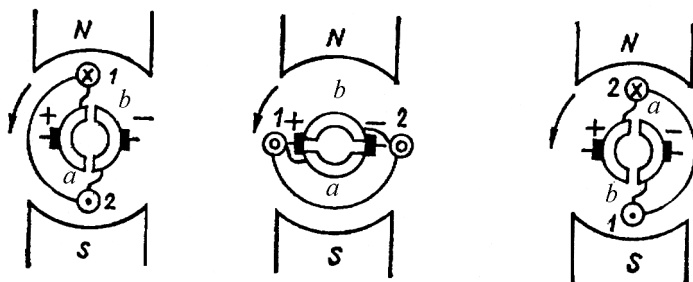
3-bo'lim. O'ZGARMAS TOK MOTORLARI

Elektr mashinalari generator va motor rejimida ishlashi mumkin. Agar qutblarida yetarli magnit oqim bo'lgan o'zgarmas tok mashinasining yakor chulg'amiga o'zgarmas tok berilsa, u holda yakor chulg'amidagi tokli o'tkazgichlarga ta'sir etuvchi elektromagnit moment hosil bo'ladi. Bunda elektr energiyasini mexanik energiyaga aylanib, elektr mashina motor rejimida ishlaydi. **Yakor chulg'ami sektsiyasi tomonlarining biri shimoliy, ikkinchisi esa janubiy qutb ostida joylashgan bo'ladi.** Shu sababli, yakorda hamma vaqt bir tomonga aylantiruvchi elektromagnit kuchlar hosil qilish uchun N va S qutblar ostidan o'tuvchi yakor o'tkazgichidagi tokning yo'nalishini o'zgartirib turish kerak.

Yakor o'tkazgichlariga beriladigan tokning yo'nalishi kollektor bilan o'zgartirilib turiladi (3.1-rasm). Demak, o'zgarmas tok mashinasining generator rejimida uning kollektori bilan yakor chulg'amidagi o'zgaruvchan tok o'zgarmas tokka aylantiriladi, motor rejimida esa kollektor bilan elektr tarmog'idan beriluvchi **o'zgarmas tok yakor chulg'amiga turli yo'nalishlarda beriladi.** Elektromagnit moment ta'sirida o'zgarmas chastota n bilan aylanuvchi motor yakoridan o'tkazgichlarida EYK hosil bo'ladi. Yo'nalishi esa o'ng qo'l qoidasi bilan aniqlanadi.

Generatorda tokning yo'nalishi EYK tomon bo'lsa, motor yakorida hosil bo'lgan EYK ning yo'nalishi esa teskaridir (3.1-rasm). Shu sababli bu EYK teskari EYK deb ham ataladi.

O'zgarmas tok motorining yakor zanjiri uchun EYK larning muvozanat tenglamasi quyidagicha ifodalanadi:



3.1-rasm. O'zgaras tok motorida yakorga berilgan tokning kollektor bilan o'zgaras tokka aylantirilishi.

$$U = E_Y + I_Y \cdot \Sigma R, \quad (3.1)$$

bunda: U – motorning yakor chulg'amiga beriladigan kuchlanish, V;

E_Y – yakor chulg'amida hosil bo'lgan EYK, V;

$I_Y \Sigma R$ – yakor zanjirida kuchlanishning tushuvi, V;

$\Sigma R = R_Y + R_T$ – yakor chulg'ami qarshiligi bilan tashqi qarshilik yig'indisi, Ω .

Yakor toki (3.1) tenglamaga binoan quyidagicha ifodalanadi:

$$I_Y = \frac{U - E_Y}{\Sigma R}. \quad (3.2)$$

EYK lar tenglamasining ikki tomonini I_Y ga ko'paytirib, quvvatlar tenglamasining quyidagi ifodasi olinadi:

$$U \cdot I_Y = E_Y I_Y + I_Y^2 \Sigma R,$$

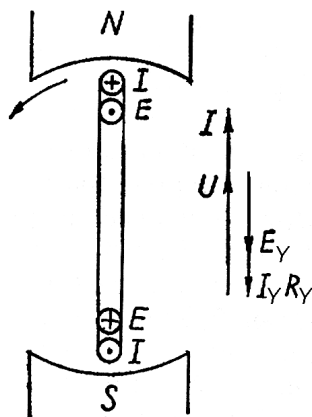
bunda: $U \cdot I_Y$ – elektr tarmog'idan motorga beriladigan quvvat, W;

$I_Y^2 \Sigma R$ – yakor zanjiridagi qarshiliklarning qizishiga sarflangan quvvat isrofi W;

$E_Y I_Y$ – motor yakorida hosil bo'ladigan quvvat, W.

Agar E_Y o'rniga uning $E_Y = \frac{pN}{60a} \Phi \cdot n$ qiymati qo'yilsa, u holda quyidagi hosil qilinadi:

$$E_Y = \frac{pN}{60 \cdot a} \Phi \cdot n \cdot I_Y = \frac{pN}{60 \cdot a} \Phi \frac{60 \cdot \omega}{2 \cdot \pi} I_Y = \frac{pN}{2 \cdot \pi \cdot a} \Phi \cdot I_Y \cdot \omega.$$



3.2-rasm. Motor yakorida hosil bo'lgan EYK va uning tokka teskari yo'nalishi.

$\frac{pN}{2 \cdot \pi \cdot a} \Phi \cdot I_Y = M_{em}$ tenglama elektromagnit momentini ifodalagani uchun yakorda hosil bo'ladigan quvvat elektromagnit quvvat deb ataladi va P_{em} bilan belgilanadi:

$$E_Y \cdot I_Y = M_{em} \cdot \omega = P_{em},$$

bunda: $\omega \left(\frac{\text{rad}}{\text{s}} \right) = \frac{2 \cdot \pi \cdot n}{60}$ – yakor aylanishining burchak chastotasi;

$n \left[\frac{\text{ayl}}{\text{min}} \right]$ – yakorning minutiga aylanish soni.

Demak, elektr motorga berilgan UI_Y quvvatning mexanik energiyaga o'tgan qismini elektromagnit quvvat tashkil etadi.

Elektromagnit quvvatning asosiy qismi motor validagi foydali mexanik quvvat P_2 ga aylanadi, qolgan kichik qismi P_0 esa aylanuvchi yakordagi mexanik ishqalanishlarni yengishga va motorning po'lat qismlarida sodir bo'luvchi quvvat isroflariga befoйда sarflanadi. Shunga binoan $P_{em} = P_2 + P_0$ bo'ladi.

3.1. O'zgaras tok motorlarining mexanik xarakteristikasi

Motor valiga ta'sir etuvchi qarshilik momentining ortishi bilan motorning aylantiruvchi momenti ortadi, kamayishi bilan esa kamayadi. Bunda motorning chastotasi ham o'zgaradi. Motor aylantiruvchi momentining o'zgarishi bilan uning chastotasi qay tarzda o'zgarishini ifodalovchi $n=f(M)$ bog'lanish elektr motorning *mexanik xarakteristikasi* deb ataladi.

O'zgaras tok motorlari uchun mexanik xarakteristika tenglamasi uning quyidagi asosiy ko'rsatkichlari, ya'ni:

$$I = \frac{U - E_Y}{\Sigma R},$$

$$E_Y = k_E \cdot n \cdot \Phi,$$

$$M = k_M \cdot \Phi \cdot I_Y$$

ifodalarni birgalikda yechishda aniqlanadi.

Bu tenglamalar sistemasidan $n=f(M)$ bog'lanishini topish uchun dastavval motorning η chastota bilan aylanishida hosil bo'lgan $E_Y = k_E \cdot n \cdot \Phi$ ifodasidan $n = \frac{E_Y}{k_E \cdot \Phi}$ olinadi. Chastotaning bu ifodasidan E_Y o'rniga uning tok formulasidan topilgan $E_Y = U - I_Y \Sigma R$ qiymatini qo'yib, quyidagi tenglama olinadi:

$$n = \frac{E_Y}{k_E \Phi} = \frac{U - I_Y \Sigma R}{k_E \Phi} = \frac{U}{k_E \Phi} - \frac{I_Y (R_Y + R_T)}{k_E \Phi}. \quad (3.3)$$

Bu ifodadan motor chastotasini o'zgartirish usullarini aniqlash mumkin. Shunga binoan, (3.3) ifoda motor chastota xarakteristikasi tenglamasi deyiladi. O'zgaras tok motorlarining mexanik xarakteristikasi tenglamasini topish uchun (3.3) ifodadagi I_Y o'rniga uning $M = k_M \cdot \Phi \cdot I_Y$ ifodasidan olingan $I_Y = \frac{M}{k_M \Phi}$ qiymatini qo'yish kifoya, ya'ni:

$$n = \frac{U}{k_E \Phi} - \frac{I_Y \Sigma R}{k_E \Phi} = \frac{U}{k_E \Phi} - \frac{\Sigma R}{k_E \cdot k_M \Phi^2} \cdot M_C. \quad (3.4)$$

Demak, o'zgarmas tok motorlarining (3.4) bilan ifodalangan mexanik xarakteristika tenglamasiga binoan ideal salt ish rejimida, ya'ni $M=M_C=0$ bo'lganda motorning turg'un (o'zgarmas) chastotasi $n = \frac{U}{k_E \Phi} = n_0$ bo'ladi. Motor valiga mexanizmning biror M_C qiymatli qarshilik momenti ta'sir etishi bilan uning chastotasi n_0 ga nisbatan $\frac{\Sigma R}{k_E \cdot k_M \Phi^2} \cdot M_C$ hisobiga kamayadi. Bunda motorning aylantiruvchi momenti M_C gacha ko'payib, ya'ni $M = M_C$ bo'lib, uning pasaygan turg'un chastotasi quyidagicha aniqlanadi:

$$n = n_0 - \frac{\Sigma R}{k_E \cdot k_M \Phi^2} \cdot M_C. \quad (3.5)$$

Haqiqatan, motor chastotasi kamayishi bilan uning yakoridagi EYK ham kamayib boradi. Bunda $I = \frac{U-E_Y}{\Sigma R_0}$ bo'lgani uchun motorning aylantiruvchi $M=k_M \Phi \cdot I_Y$ momenti qiymati ham momentlar muvozanati tiklanguncha, ya'ni $M=M_C$ bo'lguncha ko'payib boradi. $M=M_C$ bo'lishi bilan motor chastotasining yuklama sababli pasayishi tugaydi va motor yangi o'zgarmas chastota bilan turg'un rejimda ishlay boshlaydi. Qarshilik momentining o'zgarishi bilan elektr motorlarining chastotasi, demak, EYK qiymati ham o'zgarib, natijada ularning aylantiruvchi momenti ham momentlar muvozanati tiklanguncha o'z-o'zidan o'zgaradi. Elektr motorlarning bu xususiyati ularning asosiy afzalliklaridan biri hisoblanadi. Elektr motorlar tabiiy va sun'iy mexanik xarakteristikalariga ega bo'lishi mumkin.

Yakor yoki rotor chulg'amiga qo'shimcha tashqi qarshilik kiritilmay nominal kuchlanish va nominal magnit oqimda olinadigan $n=f(M)$ bog'lanish elektr motorning tabiiy mexanik

xarakteristikasi deyiladi. Yakor yoki rotor chulg'amiga biror tashqi qarshilik kiritilganda hamda kuchlanish yoki magnit oqimning nominaldan farq qilganda olinadigan $n=f(M)$ bog'lanish motorning sun'iy mexanik xarakteristikasi deyiladi. Aylantiruvchi moment o'zgarishi bilan motor chastotasining o'zgarish darajasiga qarab quyidagi mexanik xarakteristikalar bo'lishi mumkin:

1) mutlaqo qattiq xarakteristika. Aylantiruvchi momentning nominal qiymatgacha o'zgarishida chastotasi o'zgarmay qoladigan motor *mutlaqo qattiq xarakteristikaga ega motor* deyiladi. Bunday mexanik xarakteristikaga sinxron motorlar ega bo'ladi;

2) qattiq xarakteristika. Aylantiruvchi momentning nominal qiymatgacha o'zgarishida chastotasining qiymati birozgina, ya'ni 5–10 foizga o'zgaruvchi motor *qattiq xarakteristikaga ega motor* deyiladi. Bunday xarakteristikaga parallel qo'zg'atishli o'zgarmas tok va normal tuzilishdagi asinxron motorlar ega bo'ladi;

3) yumshoq xarakteristika. Aylantiruvchi momentning nominal qiymatgacha o'zgarishida chastotasi keskin o'zgaruvchi motor *yumshoq xarakteristikaga ega motor* deyiladi. Bunday xarakteristikaga ketma-ket qo'zg'atishli o'zgarmas tok va maxsus tuzilishdagi asinxron motorlar ega bo'ladi.

3.2. O'zgarmas tok motorlarini ishga tushirish

Agar tinch turgan motorni elektr tarmog'iga ulab, unda qarshilik momentidan katta bo'lgan aylantiruvchi moment hosil qilinsa, u aylana boshlaydi. Aylanish chastotasining ortib borishi bilan yakorda hosil bo'ladigan EYK ham ortib boradi, natijada, yakor toki va, demak, aylantiruvchi moment kamayib boradi.

Aylantiruvchi moment qiymati qarshilik momentigacha kamayganda, ya'ni $M=M_c$ bo'lib, momentlar muvozanati tiklanganda, chastotaning ortib borish jarayoni tugaydi va motor berilgan o'zgarmas chastotada ishlay boshlaydi. Tinch turgan motorni elektr tarmog'iga ulab, uning chastotasi $n=0$ dan $n=n_c$ const

gacha ortib borishidagi jarayon *motorni ishga tushirish jarayoni* deyiladi. Bu jarayon ishga tushirish toki $I_{ish.t}$, ishga tushirish momenti $M_{ish.t}$ va ishga tushirish vaqti $t_{ish.t}$ lar bilan xarakterlanadi.

Elektr tarmog'iga ulangan motorning tinch turgan yakori chulg'amida hosil bo'lgan tok uning *ishga tushirish toki* deb ataladi. Yakorning tinch holatida $n=0$ bo'lgani sababli $E_Y=0$ bo'ladi. Demak, ishga tushirish tokining qiymati quyidagicha ifodalanadi:

$$I_{ish.t} = \frac{U}{\Sigma R}, \quad (3.6)$$

bunda: $\Sigma R = R_Y + R_T$ – yakor zanjirining qarshiligi.

Yakor chulg'amining qarshiligi R_Y ning qiymati, odatda, juda kichik, ya'ni $R_Y \approx (0,1 \div 2) \Omega$ bo'ladi. Shunga binoan nominal tezlik va nominal tok $I_N = \frac{U_N - E_Y}{R_Y}$ bilan ishlayotgan motor yakoridagi

kuchlanishning tushuvi $I_Y R_Y \approx (3 \div 8) \% U_Y$ bo'ladi. Demak, nominal kuchlanishli elektr tarmog'iga yakor chulg'ami bevosita, ya'ni tashqi qarshiliksiz ulansa, u holda bu chulg'amdan o'tadigan yakor toki nominalga nisbatan 10–20 marta ortib ketadi. Natijada kollektor atrofida aylanuvchi olov va haddan tashqari katta aylantiruvchi moment hosil bo'lib, motordagi izolatsiya va aylanuvchi mexanik qismlar ishdan chiqishi mumkin. Ishga tushirish tokini kommutatsiya va aylanuvchi qismlarga xavfli bo'lmagan qiymat $I_{ish.t} \approx 2 \cdot I_N$ gacha va, demak, $M_{ish.t} \approx 2 \cdot M_N$ gacha kamaytirish uchun yakor chulg'amiga ketma-ket ulangan rezistor qarshiligi kiritiladi. Bu rezistor *ishga tushirish rezistori* deyiladi. Ishga tushirish tokini $2I_N$ gacha kamaytiruvchi rezistor qarshiligi $R_{ish.t}$ qiymatining $I_{ish.t}$ ifodasi orqali $I_{ish.t} \approx 2 \cdot I_N \frac{U_N}{R_Y + R_{ish.t}}$ dan topiladi, ya'ni

$$R_{ish.t} = R_T = \frac{U_N}{2 \cdot I_N} - R_Y. \quad (3.7)$$

(3.7) ifodadan $R_{\text{ish.t}}$ ning qiymatini topish uchun R_Y ni aniqlash kerak. O'zgarmas tok motorlari uchun yakor chulg'ami qarshiligini quyidagicha aniqlash mumkin:

$$R_Y \approx 0,5(1-\eta) \frac{U_N}{I_N} = 0,5(1-\eta)R_N, \quad (3.8)$$

bunda: – motor foydali ish koeffitsiyentining nominal qiymati:

$$\eta = \frac{P_N}{U_N I_N} - \text{motorning nominal qarshiligi.}$$

Yakorga kuchlanish berilganda undan o'tadigan ishga tushirish tokini nominal qiymatgacha kamaytiruvchi qarshilik o'zgarmas tok *motorining nominal qarshiligi* deb ataladi. Ishga tushirish rezistori odatda bir necha pog'onadan iborat qilib tayyorlanadi. Ishga tushirilgan motor chastotasining ortib borishi bilan uning yakor toki va, demak, aylantiruvchi momenti kamayib boradi. Motor chastotasining n_C qiymatgacha bir tekisda ortib borishini ta'minlash uchun aylantiruvchi momentning o'rtacha qiymatini o'zgarmas qilib saqlash kerak. Buning uchun ishga tushiruvchi momentning qiymati o'zining $M_{\text{max}} \approx 2M_N = M_{\text{ish.t}}$ qiymatidan $M_{\text{min}} \approx (1,1 \div 1,2)M_N$ gacha kamayganida $R_{\text{ish.t}}$ qarshiligining bir pog'onasi shuntlanadi. Bunda tok va, demak, aylantiruvchi moment nominalga nisbatan yana ikki marta ko'payishi darkor. Shu singari chastota ortib borishi bilan ishga tushiruvchi rezistorning qarshiligi kamayib boriladi ba $R_{\text{ish.t}}$ ning oxirgi pog'onasi shuntlanganda (rezistor qarshiligi nolga tenglashtirilganda) chastotaning qiymati n_C gacha ortib boradi. Momentlar muvozanati tiklanib, ya'ni $M = M_C$ va $n = n_C$, bo'lishi bilan ishga tushirish jarayoni ham tugaydi.

Ishga tushirish jarayonining davri bir necha sekunda tugashi sababli $I_{\text{ish.t}}$ va $M_{\text{ish.t}}$ qiymatlarining nominalga nisbatan 2–2,5 marta katta bo'lishi motor uchun xavfli bo'lmaydi (o'tkinchi rejim bobiga qarang).

3.3. Elektr motorning tormoz rejimlari

Mashina va mexanizmlarning ba'zi rejimlarida elektr motor tormoz vazifasini bajarib, turli xil tormoz rejimlarida ishlaydi. Mashina va mexanizmlarni tez va aniq to'xtatish hamda ularning harakat yo'nalishini teskariga o'zgartirish uchun ham elektr motor turli xil tormoz rejimlarida ishlatiladi. Bu rejimlarda hosil bo'lgan elektromagnit moment motor valining harakatiga teskari yo'nalgan bo'ladi. Motorning tormoz rejimida ishlani-shi, masalan, pastlikka tomon harakat qilayotgan elektr poezdi misolida ko'rsatish mumkin. Bunda motor valiga potentsial energiyadan olingan kuchlar ta'sir etib, uning chastotasini bor-gan sari orttirib boradi. Chastotaning qiymati chegaraviy, ya'ni ideal salt ish rejimidagi n_0 dan ham ortib ketsa, u holda elektr motori tormoz rejimida ishlaydi. Bunda EYKning qiymati elektr tarmog'idagi kuchlanishdan katta, ya'ni $E_y \succ U$ bo'lib, yakor yoki rotor chulg'amidagi tok va, demak, elektromagnit moment o'z yo'nalishini o'zgartiradi. Shunday qilib, motorning bu rejimida hosil bo'lgan elektromagnit moment uning validagi harakatga teskari yo'naladi. Buning natijasida poezdning tezligi xavfli da-rajagacha ko'tarila olmaydi. Elektr motorining bunday tormoz rejimi uning *generator rejimi* deyiladi. Haqiqatdan, bu rejimda motor valining harakatini tezlashtiruvchi tashqi mexanik kuchlar uni generator rejimida ishlashga majbur etadi. Bu tashqi mexanik kuchlar elektr energiyasiga aylanib, motor ulangan elektr tarmog'iga uzatilib, ya'ni rekuperatsiyalanib turiladi. Bunda elektr tarmog'ida motorning qo'zg'atish uchun kerak bo'lgan tok-kina olinadi. Motorning bunday rejimi *rekuperativ tormozlanish rejimi* deb ham ataladi. Elektr motorning rekuperativ tormozlash rejimidan traktor va avtomashina motorlarini chiniqtirish (ob-katka etish) da ham foydalanilladi. Rekuperativ tormozlash bilan motor chastotasini n_0 ga nisbatan pasaytirish mumkin emas.

Nominal chastota bilan ishlab turgan mashina yoki mexanizmni tez, aniq va ravon to'xtatish uchun motorni elektrodinamik usul bilan tormozlash kifoya. Buning uchun nominal chastota bilan aylanib turgan motor yakori yoki stator chulg'ami elektr tarmog'idan ajratiladi, ularning qo'zg'atuvchi chulg'amlari esa elektr tarmog'idan motor to'xtagunga qadar ajratilmaydi. Bunda motorning yakori yoki rotor chulg'amlari biror tashqi qarshilikka yoki o'z-o'ziga qisqa tutashtiriladi, natijada inersiya kuchlari ta'sirida motorning aylanuvchi qismi o'z harakatini davom ettirib, tormoz rejimida ishlay boshlaydi. Haqiqatan, bu rejimning dastlabki paytida $I_Y = \frac{-E_Y}{R_Y + R_{\text{din}}}$ bo'lib, bunda teskari ishorali yakor

tokidan tormozlash momenti $M_T = \frac{E_Y}{R_Y + R_{\text{din}}} \Phi \cdot k_M$ hosil bo'ladi.

Tormozlash momenti ta'sirida motor valining inertsia tufayli aylanish chastotasi tezda pasayib, u to'xtatiladi. Elektr motorlar teskari ulanish deb ataluvchi tormoz rejimida ham ishlashi mumkin. Motorning bunday rejimi, masalan, kran bilan og'ir yukni ko'tarish tomoniga ulansa ham, ammo uning og'irligi natijasida motor vali teskari tomonga aylana boshlaydi. Bunda motorning aylantiruvchi momenti bilan yukning qarshilik momenti berilgan chastotada tenglashib, yukning o'zgarmas chastotada tushirilishi ta'minlanadi.

Elektr motorlarning teskarilanish rejimidan ularni tez to'xtatish yoki aylanish yo'nalishini o'zgartirishda ham foydalaniladi. Nominal chastota bilan ishlab turgan motorni bu usulda tez to'xtatish uchun yakor elektr tarmog'idan ajratilib, so'ngra yakor qismlarini shu tarmoqqa qaytadan teskari ulash kerak. Bunda qo'zg'atuvchi chulg'am elektr tarmog'idan ajratilmaydi, yakor zanjiriga esa katta qarshilik R_{TY} kiritilishi zarur. Bu rejimda $I_Y = \frac{-U - E_Y}{R_Y + R_{\text{din}}}$ bo'lib, tormozlash momenti hosil bo'ladi.

Tormozlash momenti ta'sirida motor tezda to'xtatilib, so'ngra aylantiruvchi moment ta'sirida u teskari tomonga motor rejimida ay-

lana boshlaydi. Agar maqsad to'xtatish bo'lsa, u holda motor tormozlash momenti ta'sirida to'xtashi bilan, uni elektr tarmog'idan ajratish lozim. Demak, reversiv motorlarni teskari ulanish usulida, reversivmaslarni esa elektrodinamik usulda tormozlab to'xtatish maqsadga muvofiq natijalar beradi.

3.4. Elektr motorlar chastotasini rostdash

Elektr motor yoki uni ta'minlovchi tok manbai parametrlarini o'zgartirib, motor chastotasini majburiy ravishda o'zgartirish *chastotani rostdash* deyiladi. Qarshilik momentining o'zgarishida esa elektr motorning chastotasi mexanik xarakteristikaga (hususiyatga) binoan tabiiy ravishda o'zgaradi, xolos. Ishlab chiqarish jarayonida mashina va mexanizmlar turli chastotalar bilan ishlashi mumkin. Masalan, metall qirqish dastgohlarida bir xil buyumni turli materiallar (po'lat, mis, jez h.k.) dan tayyorlash uchun turli qirqish chastotalari talab qilinadi. Bundan tashqari, bir xil materialdan tayyorlanadigan buyumni turlicha qirqish operatsiyalari uchun ham turli chastotalar kerak, masalan, jilo berish operatsiyasi uchun talab qilinadigan qirqish chastotasi $30 \div 50 \frac{\text{m}}{\text{s}}$. Mashina va mexanizmlar validagi chastotani mexanik usul bilan ham rostdash mumkin. Ammo ilgari qo'llanib kelgan bu usul ko'p kamchiliklarga ega. Mashina va mexanizmlar uchun zarur bo'lgan chastotalarni elektr usullar bilan motor chastotasini rostdab hosil qilish ko'p afzalliklarga ega.

Chastotani rostdash usullari quyidagi ko'rsatkichlar bilan xarakterlanadi: 1) rostdash diapazoni; 2) rostdash silliqiligi; 3) rostdash tejamligi va 4) rostdash mo'tadilligi.

Rostdash diapazoni D harfi bilan belgilanib, u quyidagi nisbatdan aniqlanadi:

$$D = \frac{n_{\max}}{n_{\min}}, \quad (3.9)$$

bunda: $n_{\max}, n_{\min}$ – rostdash jarayonida nominal yuklamali motorda hosil qilinuvchi maksimal va minimal aylanish chastotalari.

Demak, rostdash diapazoni bilan chastotaning necha marta o'zgartirilishi aniqlanadi.

Rostdash diapazonidagi turli qiymatga ega chastotalar soni bilan esa rostdash silliqiligi φ aniqlanib, uni quyidagi nisbatdan topiladi:

$$\varphi = \frac{n_i}{n_i - 1}; \quad (3.10)$$

bunda: n_i – turli tezliklarning tartib raqami; i – tartib raqami.

Demak, rostdash silliqiligining qiymati ikki qo'shni chastotalarning nisbatidan topilishi mumkin. Rostdash diapazonidagi turli qiymatdagi chastotalar soni ortib borishi bilan φ ning qiymati 1 ga yaqinlashadi. Rostdash tejamliligi chastotani turli usullarga binoan rostdashda qo'llanilgan apparat – uskunalar narxi va hosil bo'ladigan quvvat isrofining qiymatlari bilan aniqlanadi.

Chastotaning rostlanishida elektr motorlar o'zlarining sun'iy xarakteristikalarida ishlaydi. Bunda sun'iy xarakteristikaning qattiqligi tabiiynikiga nisbatan o'zgarishi mumkin. Chastotaning rostlanishidan olingan sun'iy xarakteristikalarining qattiqligi qancha yuqori bo'lsa, rostdashdagi mo'tadillik ham shuncha yuqori bo'ladi. Demak, **chastota yuqori mo'tadillik bilan rostlansa**, u holda aylantiruvchi momentning o'zgarishi bilan motor chastotasi turg'un qiymatda saqlanadi yoki bir ozgina o'zgaradi.

O'zgarmas tok motorlari chastotasi $n = \frac{U}{k_E \Phi} - \frac{(R_Y + R_T)}{k_E \Phi} I_Y$ ifodaga binoan uch xil usulda, ya'ni kuchlanish U , yakor zanjiriga kiritilgan tashqi qarshilik va magnit oqim Φ ning qiymatlarini o'zgartirish bilan rostlanadi. Kuchlanishni o'zgartirish bilan motorning chastotasini rostdashda yakor zanjirida tashqi qarshilik R_T bo'lmasligi hamda motor qutblarida magnit oqim $\Phi = \Phi_n$ o'zgarmasligi lozim.

Chastotani rostlash uchun ishlatilgan rezistorning qarshiligi uzoq vaqt davom etadigan nominal tokka hisoblanadi. Demak, chastotani rostlash uchun qisqa vatq ishlashga hisoblangan ishga tushirish rezistoridan foydalanish mumkin emas. Yakor zanjiriga kiritilgan tashqi qarshilik qiymatini ko'paytirish bilan motor chastotasini nominalga nisbatan faqat pasaytirish mumkin.

Qutblardagi magnit oqim Φ ning qiymatini o'zgartirish yo'li bilan motorning chastotasini rostlashda $U=U_n = \text{const}$ va $R_T=0$ bo'lishi lozim.

Nominal rejimda ishlab turgan motorning magnit oqimini o'zgartirish bilan uning chastotasini rostlash uchun magnit oqimini hosil qiladigan qo'zg'atuvchi chulg'am zanjiridagi tok qiymatini rostlash kifoya. Magnit oqimi nominalga nisbatan faqat kamaytirish imkoni bo'lgani uchun bu usul bilan motor chastotasini nominalga nisbatan faqat yuqori tomonga rostlash mumkin.

Qo'zg'atuvchi chulg'amning ulanish sxemasiga binoan o'zgar-mas tok motorlari (generator singari) mustaqil, parallel, ketma-ket va aralash qo'zg'atishli motorlarga bo'linadi. Qo'zg'atuvchi va yakor chulg'amlari turli tok manbalaridan ta'minlanuvchi motor mustaqil qo'zg'atishli motordan ko'pincha chastotasi kuchlanishni o'zgartirish bilan rostlanadigan sistemalarda foydalaniladi.

Parallel qo'zg'atishli motor chastotasini rostlash usullari

Parallel qo'zg'atishli motorning chastotasi ham uch xil usulda rostlanadi. Yakor zanjiriga kiritiladigan tashqi qarshilik R_t ning qiymatini ko'paytirish bilan motorning chastotasini rostlashda quvvat isrofining qiymati $I_Y^2(R_Y + R_T)$ bo'ladi. Shunga binoan, qarshilikni kiritish bilan motor chastotasini nominalga nisbatan 25–30% past tomonga rostlash tavsiya qilinadi.

Rostlash diapazoni bundan ham ko'paytirilsa, rostlashdagi tejamlilik juda ham pasayib ketadi. Bundan tashqari, R_t qiymatining ortib borishi bilan rezistorli xarakteristikalarining

qattiqligi va, demak, rostlash mo'tadilligi pasayib boradi. Yakor zanjiriga ketma-ket ulangan R_K qarshilikdan tashqari, parallel ulangan R_{Sh} qarshiligi ham kiritilsa, ya'ni yakor R_{Sh} bilan shuntlansa, u holda n_0 qiymati ham o'zgarib, rezistorli xarakteristikalar qattiqligi birmuncha yuqorilashadi. Bunda mexanik xarakteristika tenglamasi quyidagicha ifodalanadi:

$$n = n_0 \frac{R_{Sh}}{R_E + R_{Sh}} - \frac{n_0 I_N}{M_N U_N} = \left(R_Y + \frac{R_K \cdot R_{Sh}}{R_K + R_{Sh}} \right) M, \quad (3.11)$$

bunda: $n_0 \frac{R_{Sh}}{R_E + R_{Sh}} = n_{0Sh}$ – shuntlash natijasida olingan salt ish rejimidagi chastota.

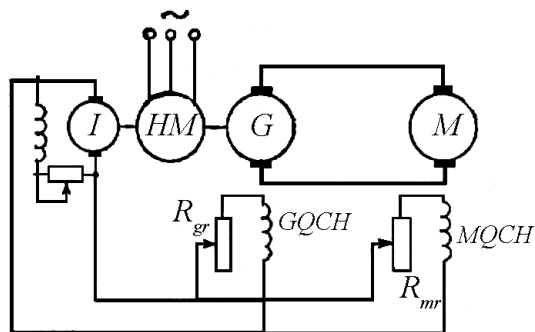
Demak, motor yakorini shuntlash bilan n_0 ning qiymati ham rostlanib, natijada rostlash diapazonini $D=4-5$ gacha kengaytirish imkoni olinadi. Chastotani bunday usul bilan rostlash faqat qisqa vaqtli ish rejimlarida, masalan, motor valini aniq holatda to'xtatish uchun zarur bo'lgan past chastotani olishda qo'llaniladi.

Magnit oqimni o'zgartirish bilan parallel qo'zg'atishli motorning chastotasini rostlash

Magnit oqimni o'zgartirish, ya'ni uni nominal Φ_n ga nisbatan kamaytirish bilan motorning chastotasini 1,5–2 marta oshirish mumkin. Bu usul bilan ba'zi tipdagi motorlar chastotasini to'rt martagacha ham ko'paytirish imkoni bo'ladi. Magnit oqim qiymati qo'zg'atuvchi zanjirdagi tok bilan o'zgartirilganligi sababli bu usul bilan chastotani rostlash juda ham tejamli bo'ladi. O'zgarmas tok motorlaridagi qo'zg'atish toki yakor tokining faqat 1–5 foiziga teng bo'lgani uchun chastotani bu usulda katta tejamlilik bilan rostlash imkoni olinadi. Magnit oqimni kamay-

tirish bilan olinadigan sun'iy xarakteristikalar qattiqligi tabiiyga nisbatan past bo'ladi, ammo chastotasi qiymati yuqorilashgani uchun ishlashdagi mo'tadillik deyarli pasaymaydi. Chastotani bu usul bilan rostlashda magnit oqim qiymatini qutblardagi qoldiq magnitizm qiymatigacha kamaytirish mumkin. Amalda esa Φ ning qiymatini Φ_n ga nisbatan 1,5–2 martadan ortiqroq kamaytirilsa, yakorning aylanish chastotasi ham proporsional ravishda ortib, kommutatsiya sharoiti yomonlashadi. Bunda magnit oqimning kamayishi bilan $M = k_m \Phi I_n$ ning qiymati ham kamayishi sababli motorning ishlashdagi mo'tadilligi (turg'unligi) pasayadi.

Kuchlanishni o'zgartirish bilan mustaqil qo'zg'atishli motor chastotasini rostlash. Kuchlanishni o'zgartirish yo'li bilan olinadigan sun'iy xarakteristikalarining qattiqligi o'zgarmaydi, ya'ni sun'iy xarakteristikalar tabiiy xarakteristikaga parallel bo'ladi. Shu sababli, yakorga beriladigan kuchlanishni o'zgartirish bilan mustaqil qo'zg'atishli motorning chastotasini keng miqyosda (diapazonda) rostlash mumkin. Bu usulda olinadigan rostlash diapazoni qiymati tok manbayidagi kuchlanishning o'zgarish diapazoni bilan aniqlanadi. Mustaqil qo'zg'atishli motornning chastotasini bu usulda rostlash uchun kuchlanishni o'zgartirib beruvchi tok manbayi sifatida, ko'pincha, mustaqil qo'zg'atishli generatordan foydalaniladi. Bunda generator va motorning yakor chulg'amlari bir-biriga bevosita ulanadi, qo'zg'atuvchi chulg'amlari esa qo'zg'atkich deb ataluvchi kichik quvvatli parallel qo'zg'atishli generatorni harakatga keltiruvchi motor vali bilan aylantiriladi. Motor chastotasini bunday sistema bilan rostlash amalda juda keng tarqalgan bo'lib, uni *generator – motor* ($G - M$) sistemi deyiladi. 3.3-rasmda $G - M$ sistemasining ulanish sxemasi ko'rsatilgan.



3.3-rasm. Generator – motor sistemasining ulanish sxemasi.

bunda: M – chastotasi rostlanadigan motor;

G – kuchlanishi o'zgartiriladigan generator;

B – qo'zg'atgich;

HM – generator va qo'zg'atgichni harakatga keltiradigan motor;

$GQCH$ – tegishlixa generator va motorning qo'zg'atuvchi chulq'amlari;

R_{gr} ; R_{mr} – tegishlixa generator va motorning qo'zg'atish zanjirlariga kiritilgan rostlash reostatlarining qarshiliklari.

Generator – motor sistemasini ishga tushirish uchun dastavval HM sifatida qo'llanilgan asinxron yoki sinxron motor ishga tushiriladi. Bunda G va B lar o'zgarmas chastota bilan aylantiriladi. Chastotasi rostlanadigan motorni ishga tushirish uchun uning magnit oqimini $\Phi = \Phi_N$, generatornikini esa $\Phi_r = \Phi_{min} \approx \Phi_{qol}$ ga tenglashtirish lozim. Buning uchun $MQCH$ dagi R_{rm} qarshiligi nol, $GQCH$ dagi R_{gr} qarshiligi esa maksimum qiymatlarga ega bo'lishi kerak. Bunda $GQCH$ ni tok manbayiga ulash bilan generator yakorida qoldiq EYK ga yaqin, ya'ni kichik qiymatga ega bo'lgan EYK $E_{qol} = E_{gmin}$ hosil bo'ladi.

Natijada, motor yakori zanjiridan quyidagi tok o'ta boshlaydi:

$$I_{ish.t} = \frac{E_{g \min}}{R_{YT} + R_{YG}}. \quad (3.12)$$

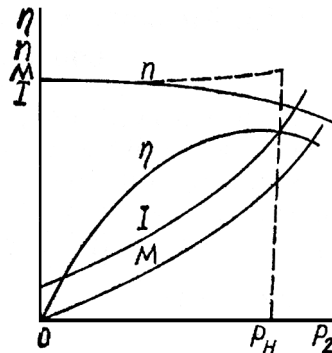
Bu tokdan motor hosil bo'lgan aylantiruvchi moment $M = k_M \Phi I_{ish.t}$ qiymati M_s dan katta bo'lsa, motor aylana boshlaydi, aks holda u qo'zg'almay qolaveradi. Motorni harakatga keltirish yoki uning aylanish chastotasini ko'paytirish uchun R_{gr} ni kamaytirish bilan generator qo'zg'atish tokini ko'paytirish kifoya. Chastotaning ortib borishida yakor quyidagicha aniqlanadi:

$$I_Y = \frac{E_G + E_M}{R_{YT} + R_{YG}}. \quad (3.13)$$

Motorning minimal chastotasi generatorning qoldiq magnetizmi va, demak, uning qoldiq EYK E_{qol} bilan aniqlanadi. Haqiqatan, generatorning qutblarida kichik qiymatli qoldiq magnet oqim Φ_{qol} bo'lgani uchun qo'zg'atish chulg'amida tok bo'lmasa ham $E_{qol} = k_E n \Phi$ hosil bo'ladi. E_{qol} ning qiymati generator nominal kuchlanishining foizini tashkil qiladi. EYK ning bu qiymatida ham kichik yuklamali motor «sudralish» deb ataluvchi kichik chastotada aylanib turishi mumkin.

R_{gr} qarshilikni bir tekisda kamaytirish bilan motor chastotasini nominal qiymatgacha silliq va tejamli ravishda rostlash imkoni olinadi. Bu sistema bilan olinadigan rostlash diapazoni $D = 4 \div 6$ bo'ladi.

Motor magnet oqimini o'zgartirish bilan $G - M$ sistemadan olinadigan rostlash diapazoni $D = 8 \div 12$ gacha kengaytirish mumkin. Qo'zg'atish chulg'amlaridagi tokni o'zgartirish bilan chastotaning rostlanishi sababli $G - M$ sistemasi ham tejam-



3.4-rasm. Parallel qo'zg'atishli motorning ish xarakteristikallari.

li hisoblanadi. Ammo bu sistemani yaratish uchun to'rtta elektr mashinadan foydalaniladi. Shu sababli $G - M$ sistemasining narxi yuqori, foydalanish koeffitsiyenti esa past bo'ladi. Bu kamchiliklarga qaramay, chastotani keng miqyosda silliq va tejamli rostlash kabi afzalliklari uchun generator – motor sistemasidan hozirgi paytda ham foydalaniladi. Kuchlanishni keng diapazonda silliq va tejamli ravishda o'zgartirib beruvchi turli statik o'zgartgichlardan iborat sistemalar bilan ham, motor chastotasini rostlovchi avtomatik sistemalar ishi bilan ham kitobning ikkinchi qismida tanishtiriladi.

Parallel qo'zg'atishli motorning ish xarakteristikalar

Elektr motorning aylanish chastotasi n , yuklama toki I , aylantiruvchi moment M va foydali ish koeffitsiyenti η ning motor validagi foydali quvvat P_2 ga bog'lanishini ifodalovchi egri chiziqlarini uning ish xarakteristikalar deb ataladi. Bu xarakteristikalarni olishda elektr tarmog'idagi kuchlanish va motorning qo'zg'atish zanjiridagi tok qiymatlari o'zgarmay turishi lozim.

3.4-rasmda parallel qo'zg'atishli motorning ish xarakteristikalar ko'rsatilgan. Bunda ifodaga ko'ra motor validagi foydali yuklamaning ortib borishi bilan I_y ning qiymati ham ortib boradi. Mexanik xarakteristikaga binoan yuklamaning ko'payishi bilan chastota kamaysa, yakor reaksiyasining magnitsizlantirish ta'sirida esa Φ ning qiymati kamayib, chastota ortadi. Agar yakor reaksiyasining magnitsizlantiruvchi ta'sirida yuklamaning ortib borishi bilan chastota ham ko'payib borsa (3.4-rasm, punktir chiziq), u holda motor turg'un bo'lmagan rejimda ishlay boshlaydi. Yakor reaksiyasi ta'sirini kamaytirish yoki butunlay yo'qotish uchun, odatda, motor qutblariga bir necha o'ramdan iborat chulg'am o'rnatiladi. Bu chulg'am yakor zanjiriga ketma-ket ulanib, yakor reaksiyasi ta'sirini avtomatik ravishda mo'tadillashtiruvchi chulg'am deb ham ataladi. Mo'tadillashtiruvchi chulg'ami bo'lgan motor yuklamasining or-

tib borishi bilan uning chastotasi faqat $I_y R_y$ hisobiga kamayib boradi. Motor yakoridagi tok va elektromagnit moment qiymatlari yuklamaga proporsional ravishda o'zgarib boradi. Ammo yuklama ko'payishi bilan chastota qiymatining 3–8 foizga kamayishi sababli moment qiymati yuqori tomonga bir oz qayrilgan chiziqli bo'yicha o'zgaradi. Yuklamaning taxminan 50 foizida foydali ish koeffitsiyenti maksimal qiymatiga yetadi, yuklamaning nominalgacha ortib borishida esa uning qiymati deyarli o'zgarmaydi. Nominalga yaqin va undan katta yuklamalarda foydali ish koeffitsiyenti biroz kamayib boshlaydi.

Ketma-ket qo'zg'atishli motor chastotasini rostlash usullari

Ketma-ket qo'zg'atishli motor chastotasini ham parallel qo'zg'atishli motorniki singari uch xil usul, ya'ni: 1) yakor zanjiriga kiritilgan tashqi qarshilikni o'zgartirib, 2) yakorga berilgan kuchlanishni o'zgartirib va 3) motor magnit oqimini o'zgartirib rostlash mumkin. Tashqi qarshilikni yakor zanjiriga ketma-ket ulab, motor chastotasini nominaldan past tomonga rostlanadi. Bunda tashqi qarshilikning ortib borishi bilan rezistorli xarakteristikalarining yumshoqligi ham ortib boradi. Shunga binoan chastotani rostlash diapazoni $D=2\div 3$ gacha borib yetadi. Bunday usulda chastotani rostlash, tashqi qarshilikni qizdirishga sarflanadigan katta quvvat isrofiga qaramay, o'zining soddaligi tufayli, ba'zi kranlarda, elektr transport mashinalarida va shu kabilarda qo'llaniladi. Motorni ishga tushirish va uning chastotasini rostlash uchun uzoq muddatli yuklama tokiga hisoblangan umumiy resistor ishlatiladi. Ketma-ket qo'zg'atish chulg'amli motor yakoriga ketma-ket ulangan R_k dan tashqari, parallel ulangan tashqi qarshilik R_{sh} lar kiritilsa, uning rezistorli xarakteristikalarining qattiqligi ham ancha ko'tariladi. Buning natijasida, motorning salt ish rejimida ham uncha xavfli bo'lmagan n_{osh} chastotalrni olish mumkin. Shunt qarshiligi qancha kichik bo'lsa, ideal chastota n_{osh} ham shuncha past bo'ladi.

Shunday qilib, yakorni shuntlab, chastotaning rostdlanish diapazoni $D=3\div 5$ gacha ko'tarish mumkin. Agar motorning qo'zg'atish chulg'ami shuntlansa, u holda magnit oqim kamayib, uning chastotasi nominalga nisbatan yuqori bo'ladi. Bunda chastotani $D\leq 2$ diapazonida rostlash mumkin.

Kuchlanishni o'zgartirib, ketma-ket qo'zg'atishli motor chastotasini rostlash usuli ko'pincha ikki motorli, ya'ni bitta valga o'rnatilgan ikkita motor orqali harakatlantiriladigan mexanizmlada qo'llaniladi. Bitta motor o'rniga uning quvvatining yarmisiga mo'ljallangan ikkita motor ishlatish bilan chastotani rostlashdan tashqari, motorni ishga tushirish va tormozlab to'xtatish vaqtini tejash imkoni olinadi. Katta gabaritli motor o'rniga kichik gabaritli motorlarni o'rnatish ancha qulaylik tug'diradi va ularning ishlashdagi ishonchliligi ancha yuqori bo'ladi (bitta motor ishdan chiqsa, ikkinchisi bilan vaqtincha ishlash imkoni bo'ladi). Bunday motorlar chastotasini rostlash uchun ularning o'zaro parallel ulangan yakor chulg'amlari ketma-ket ulanadi yoki ketma-ket ulangani parallel ulashga o'tkaziladi. Natijada ketma-ket qo'zg'atishli motorlarning har biriga beriladigan kuchlanish qiymati elektr tarmog'idagi kuchlanishga nisbatan ikki marta o'zgartiriladi. Demak, chastotaning rostdlanish diapazoni $D=2$ bo'ladi. Chastotani bunday usul bilan rostlashdan katta quvvatli kran, tramvay va shu kabi transport mexanizmlarida foydalaniladi.

NAZORAT SAVOLLARI

1. O'zgarmas tok motorlarining yakor o'tkazgichlariga beriladigan tokining yo'nalishi nima yordamida o'zgartiriladi?
2. O'zgarmas tok motorining yakor zanjiri uchun EYK larning muvozanat tenglamasi qanday ifodalanadi?
3. Elektromagnit quvvat nima?
4. Aylantiruvchi moment o'zgarishi bilan motor chastotasining o'zgarish darajasiga qarab mexanik xarakteristikalar nechaga bo'lish mumkin?
5. Nega o'zgarmas tok motorlari to'g'ridan to'g'ri ishga tushurilmaydi?
6. Elektr motorning tormoz rejimlari haqida garipib bering.
7. Elektr motorlarning chastotasi qanday rostlanadi?

4.1. Transformatorlarning ishlash prinsipi va tuzilishi

O'zgaruvchan tokning bir (birlamchi) sistemasini harakteristikalari boshqacha bo'lgan ikkinchi (ikkilamchi) sistemaga aylantirish uchun mo'ljallangan statik elektromagnit apparat *transformator* deyiladi.

Transformatorlar asosan elektr energiyasini elektr stansiyalardan sanoat korxonalariga uzatib berish sistemalarida kuchlanishni o'zgartirish uchun ishlatiladi. Ma'lumki elektr energiyasi uzoq masofalarga yuqori kuchlanishda uzatiladi, shuning uchun liniyada energiya isroflari ancha kamayadi.

Lekin elektr generatorlarning bevosita chiqish klemmalarida kuchlanish odatda 20 kV dan oshmaganligi sababli elektr uzatish liniyasining bosh qismida kuchaytiruvchi transformatorlar o'rnatiladi, ular o'zgaruvchan tok kuchlanishini kerakli qiymatgacha kuchaytirib beradi. Elektr uzatish liniyasining uzunligi va uzatiladigan quvvat qanchalik katta bo'lsa, bu kuchlanish ham shunchalik katta bo'lishi kerak. Masalan, taxminan 103 MW quvvatni 1000 km masofaga uzatib berish uchun 500 kV ga yaqin kuchlanish zarur.

Elektr energiyasi iste'molchilar orasida taqsimlanadigan joylarda pasaytiruvchi transformatorlar o'rnatiladi; ular kuchlanishni talab qilinadigan darajagacha, masalan, 6 kV gacha pasaytirib beradi va, nihoyat, elektr energiyasi iste'mol qilinadigan joylarda kuchlanish pasaytiruvchi transformatorlar vositasida yana 127, 220 va 380 V gacha kamaytiriladi va bevosita korxonalarning iste'molchilariga hamda turar joy binolariga beriladi.

Bu asosan ishlatishdan tashqari, transformatorlar turli xil elektr qurilmalarda (isitish, payvandlash qurilmalarida va boshqalar), radio, aloqa, avtomatika qurilmalarda va hokazalarda foydalaniladi.

Transformatorlar ishlatilish joyiga qarab umumiy maqsadlar uchun ishlatiladigan kuch transformatorlari bilan maxsus kuch transformatorlariga bo'linadi. Umumiy maqsadlarda ishlatiladigan kuch transformatorlaridan elektr energiyasini uzatish va taqsimlash sistemalarida kuchaytiruvchi yoki pasaytiruvchi transformator sifatida foydalaniladi.

Maxsus transformatorlarga maxsus maqsadlarda ishlatiladigan kuch transformatorlari (pech transformatorlari, to'g'rilagich transformatorlari, payvandlash transformatorlari, radiotransformatorlar), avtotransformatorlar, o'lchov va sinov transformatorlari, chastotani o'zgartirish uchun ishlatiladigan transformatorlar va boshqalar kiradi.

Transformatorlar bir fazali va ko'p fazali bo'ladi. Ko'p fazali transformatorlar orasida uch fazali transformatorlar eng ko'p ishlatiladi.

Bundan tashqari, transformator ikki chulg'amli (har qaysi fazasida ikkita chulg'am bo'ladi) va ko'p chulg'amli (har qaysi fazasida ikkitadan ortiq chulg'am bo'ladi) bo'lishi mumkin.

Sovitilish usuliga qarab transformatorlar moyli (moyga botirilgan) va quruq (havo bilan sovitiladigan) transformatorlarga bo'linadi.

Lekin transformatorlarning tiplari juda turli-tuman bo'lishiga qaramasdan, ishlash prinsipi va ularda sodir bo'ladigan fizik jarayon asosan bir xil bo'ladi. Shuning uchun transformatorning ishlashini transformatorning asosiy tipi misolida ko'rib chiqish lozim; asosiy tip sifatida ikki chulg'amli kuch transformatori qabul qilingan.

4.2. Transformatorning ishlash prinsipi

Transformatorning ishlash prinsipini bir fazali ikki chulg'amli transformator misolida ko'rib chiqamiz, uning konstruktiv sxemasi 4.1-rasmda keltirilgan. Bu transformator magnit o'tkazgich va unga o'ralgan ikkita chulg'amdan tarkib topgan. Chulg'amlardan biri U_1 kuchlanishli o'zgaruvchan tok manbagyi G ga ulanadi; bu chulg'am *birlamchi* chulg'am deyiladi. Ikkinchi chulg'amga iste'molchi Z_n ulanadi, bu chulg'am *ikkilamchi* chulg'am deyiladi.

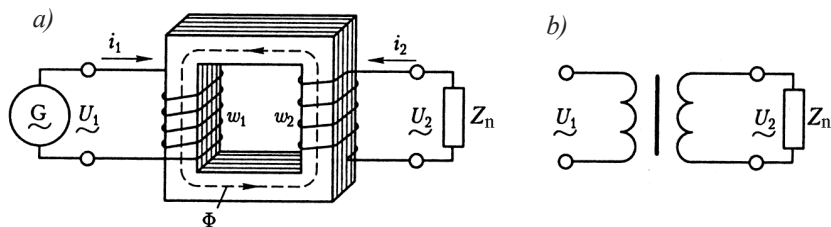
Transformatorning ishlashi elektromagnit induksiya hodisasiga asoslangan. Birlamchi chulg'am o'zgaruvchan tok manbayiga ulanganda shu chulg'amning o'ramlaridan o'zgaruvchan tok i_1 o'tadi, bu tok magnit o'tkazgichda tutashib, ikkala chulg'amda EYK hosil qiladi; birlamchi chulg'amda

$$e_1 = -\omega_1 \frac{d\Phi}{dt}, \quad (4.1)$$

ikkilamchi chulg'amda

$$e_2 = -\omega_2 \frac{d\Phi}{dt}, \quad (4.2)$$

bunda: ω_1 va ω_2 – transformatorning birlamchi va ikkilamchi chulg'amlaridagi o'ramlar soni.



4.1-rasm. Bir fazali ikki chulg'amli transformator:

a) konstruktiv sxemasi; b) prinsipial sxemasi.

Transformator ikkilamchi chulgʻaming chiqish uchiga yuklama Z_n ulanganda e_2 taʼsirida shu chulgʻam zanjirda tok i_2 paydo boʻladi. Bunda ikkilamchi chulgʻamning chiqish uchlari kuchlanish U_2 hosil boʻladi.

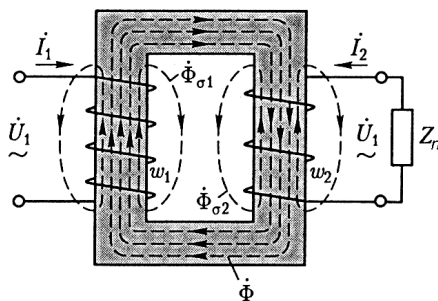
Kuchaytiruvchi transformatorlarda $U_2 > U_1$, pasaytiruvchilarda esa $U_2 < U_1$ boʻladi. (4.1) va (4.2) formulalardan koʻrinib turibdiki, chulgʻamlardagi oʻramlar soniga qarab e_1 va e_2 lar bir-biridan farq qilishi mumkin. Shuning uchun oʻramlarning nisbati kerakli qilib tanlangan chulgʻamlar ishlatib, kuchlanishlar nisbati istalgancha boʻlgan transformator tayyorlash mumkin.

Transformatorning yuqoriroq kuchlanishli tarmoqqa ulangan chulgʻami *yuqori kuchlanish* (YK) *chulgʻami* deyiladi; pastroq kuchlanishli tarmoqqa ulangan chulgʻami esa *past kuchlanish* (PK) *chulgʻami* deyiladi.

Transformatorlarning qaytarlik xossasi bor; bitta transformatorning oʻzidan kuchaytiruvchi sifatida ham, pasaytiruvchi transformator sifatida ham foydalanish mumkin. Lekin, odatda, transformatorning muayyan vazifasi boʻladi; u yoki kuchaytiruvchi, yoki pasaytiruvchi boʻladi.

4.3. Elektr yurituvchi kuchlar tenglamasi

Transformatorlarning magnit oʻtkazgichida asosiy magnit oqim Φ w_1 hamda w_2 chulgʻamlarning oʻramlari bilan ilashgan boʻladi (5.1-rasm), shu tufayli ularda EYK hosil boʻladi:



4.2-rasm. Bir fazali ikki chulgʻamli transformator magnit oqimining sochilishi.

$$e_1 = -\omega_1 \frac{d\Phi}{dt} \quad e_2 = -\omega_2 \frac{d\Phi}{dt}.$$

Magnit oqim Φ vaqtining sinusoidal funksiyasi, yani

$$\Phi = \Phi_{\max} \sin \omega t.$$

deb faraz qilaylik, bunda $\Phi_{\max}$ – oqimning maksimal qiymati. U holda (4.1) ifodani EYK e_1 ning formulasiga qo'yib, differensialansa, ushbu tenglama olinadi:

$$e_1 = -\omega \omega_1 \Phi_{\max} \cos \omega t. \quad (4.3)$$

Lekin

$$\cos \omega t = -\sin \left(\omega t - \frac{\pi}{2} \right)$$

bo'lgani uchun

$$e_1 = \omega \omega_1 \Phi_{\max} \sin \left(\omega t - \frac{\pi}{2} \right).$$

Shunga o'hshash

$$e_2 = \omega \omega_2 \Phi_{\max} \sin \left(\omega t - \frac{\pi}{2} \right). \quad (4.4)$$

Olingan (4.3) va (4.4) formulardan e_1 va e_2 EYK lar oqim Φ dan $\pi/2$ burchakka kechikishi ko'rinib turibdi. EYK e_1 ning maksimal qiymati quyidagiga teng:

$$E_{1\max} = \omega \omega_1 \Phi_{\max}. \quad (4.5)$$

$E_{1\max}$ qiymatni $\sqrt{2}$ ga bo'lib va unga $\omega = 2 \cdot \pi \cdot f$ ni qo'yib, EYK e_1 ning *ta'sir etuvchi* qiymati formulasini olamiz:

$$E_1 = \frac{E_{1\max}}{\sqrt{2}} = \frac{2}{\sqrt{2}} \omega_1 f \Phi_{\max} = 4,44 \omega_1 f \Phi_{\max}, \quad (4.6)$$

bunda: $\Phi_{\max}$ veberlarda, E_1 esa voltlarda ifodalangan.

Xuddi shunga o'xshash ikkilamchi EYK uchun

$$E_2 = 4,44 w_2 f \Phi_{\max}. \quad (4.7)$$

Yuqori kuchlanish chulg'amidagi EYK ning past kuchlanish chulg'amidagi EYK ga nisbati *transformatsiya koeffitsiyenti* deyiladi:

$$K = \frac{E_1}{E_2}.$$

E_1 va E_2 EYK lar o'rniga ularning (4.6) va (4.7) formulalardagi qiymatlarini qo'ysak, quyidagicha bo'ladi:

$$K = \frac{E_1}{E_2} = \frac{w_1}{w_2}. \quad (4.8)$$

I_1 va I_2 toklar transformator chulg'amlarida, asosiy oqim Φ dan tashqari, *sochilish magnit oqimlari* (F_{s1} va F_{s2}) ni hosil qiladi.

Bu oqimlardan har biri faqat o'z chulg'aming o'ramlari bilan ilashadi va unda sochilish EYK lari birlamchi chulg'amda e_{s1} , ikkilamchi chulg'amda esa e_{s2} hosil qiladi. Shu EYKlarning ta'sir etuvchi qiymatlari chulg'amlardagi tegishli toklarga proporsionaldir:

$$-E_{s1} = I_1 j x_1, \quad -E_{s2} = I_2 j x_2, \quad (4.9)$$

bunda: x_1 va x_2 birlamchi va ikkilamchi chulg'amlarning sochilish induktiv qarshiliklari, Ω .

(4.9) ifodalardagi minus ishoralar sochilish EYK larining reaktiv harakterli ekanligini bildiradi. Shunday qilib, transformatorning har qaysi chulg'amida asosiy EYK lari induksiyalanadi.

Transformator chulg'amlarida shu EYK larning ta'sirini ko'rib chiqamiz.

Birlamchi chulg'amdagi EYK E_1 o'zinduksiya EYK idir, shu sababli u birlamchi kuchlanish U_1 ga qarshi yo'nalgan, ya'ni u bilan qarama-qarshi fazada bo'ladi. Shu munosabat bilan

birlamchi chulg'am uchun EYK tenglamasi quyidagi ko'inishda bo'ladi:

$$U_1 = (-E_{s1}) + (-E_{s2}) + I_1 r_r$$

yoki

$$U_1 = (-E_1) + I_1 j x_1 + I_1 r_1. \quad (4.10)$$

$I_1 r_1$ ko'paytma *birlamchi chulg'amda kuchlanishning aktiv tushishini* ko'rsatadi.

(4.10) ifoda EYK larning muvozanat tenglamasi bo'lib, shunga muvofiq kuchlanish U_1 teskari ta'sir etuvchi EYK lar yig'indisi bilan muvozanatlashadi.

Odatda, $I_1 j x_1$ va $I_1 r_1$ kuchlanishlar qiymatlari katta emas, shuning uchun transformatorga berilgan kuchlanish U_1 EYK E_1 bilan muvozanatlashadi desak, katta xato qilmagan bo'lamiz:

$$U_1 \approx (-E_1).$$

Ikkilamchi chulg'amda yopiq zanjir toki I_2 EYK E_2 ning qiymatiga bog'liq bo'ladi; bu EYK ning ko'p qismi ikkilamchi chulg'amining chiqish klemmlarida kuchlanish $U_2 = I_2 \cdot z_2$ hosil qilishga sarflanadi.

EYK E_2 ning qolgan qismi sochilish EYK bilan ikkilamchi chulg'amda kuchlanishning aktiv tushishi $I_2 r_2$ ni kompensatsiyalashga ketadi. Shunday qilib, ikkilamchi zanjir uchun EYK tenglamasi:

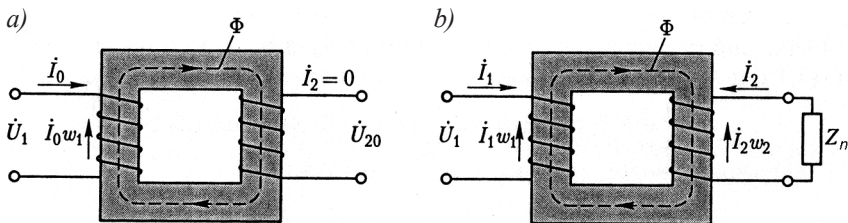
$$E_2 = U_2 + (-E_{s2}) + I_{21} r_{2r}$$

yoki

$$U_2 = E_2 - I_2 j x_2 - I_{21} r_{2r}. \quad (4.11)$$

4.4. Magnitlovchi kuchlar tenglamasi

Transformator salt ishlash rejimida (4.3-a rasm), ya'ni uning birlamchi chulg'ami klemmlariga U_1 kuchlanish berilgan, ikkilamchi chulg'ami esa uzilgan ($I_2 = 0$) deb faraz qilaylik.



4.3-rasm. Bir fazali transformator salt ishlash rejimida (a) va yuklama rejimida (b).

Bunday sharoitda birlamchi chulgʻamdagi tok I_0 *salt ishlash toki* deyiladi. Shu tok vujudga keltirgan magnitlovchi kuch $I_0 w_1$ transformatorning magnit oʻtkazgichida maksimal qiymati quyidagi ifodadan aniqlanadigan asosiy magnit oqim hosil qiladi:

$$\Phi_{\max} = \frac{I_0 w_1}{R_M} \sqrt{2}, \quad (4.12)$$

bunda: R_M – magnit oʻtkazgichning magnit qarshiligi.

Ikkilamchi chulgʻam yuklama Z_n ga ulanganda (4.3-b rasm) unda tok I_2 paydo boʻladi. Bunda birlamchi chulgʻamdagi tok qiymati I_1 gacha koʻpayadi.

Endi oqim $\Phi_{\max}$ ikkita m.k. $I_1 \omega_1$ va $I_2 \omega_2$ lar taʼsirida hosil boʻladi:

$$\Phi_{\max} = \frac{I_1 w_1 + I_2 w_2}{R_M} \sqrt{2}. \quad (4.13)$$

Lekin oqim $\Phi_{\max}$ ning qiymatini (10.6) ifodadan ham topish mumkin:

$$\Phi_{\max} = \frac{E_1}{4,44 w_1 f} \quad (4.14)$$

yoki $U_1 \approx (-E_1)$ ekanligini eʼtiborga olsak,

$$\Phi_{\max} = \frac{U_1}{4,44 w_1 f}.$$

(4.14) ifodadan ko‘rinib turiptiki, asosiy oqim $\Phi_{\max}$ transformatorning yuklamasiga bog‘liq emas, chunki kuchlanish U_1 transformatorga har qancha yuklama ulanganda ham o‘zgarmasdan qoladi. Bu xulosa (4.12) va (4.13) ifodalarni tenglashtirishga imkon beradi:

$$\frac{I_0 w_1}{R_M} \sqrt{2} = \frac{I_1 w_1 + I_2 w_2}{R_M} \sqrt{2} \quad (4.15)$$

yoki

$$I_0 w_1 = I_1 w_1 + I_2 w_2,$$

bu yerda: $I_0 w_1$ – transformatorning magnit o‘tkazgichida asosiy magnit oqim hosil qilish uchun zaruriy magnitlovchi kuch.

(4.15) ifoda transformatorning magnitlovchi kuchlari tenglamasidir. Bu tenglamadan ko‘rinib turiptiki, birlamchi $I_1 w_1$ va ikkilamchi $I_2 w_2$ chulg‘amlar magnitlovchi kuchlari ($I_1 w_1$ va $I_2 w_2$ lar) ning yig‘indisi o‘zgarmas kattalik – salt ishlashdagi magnitlovchi kuch $I_0 w_1$ ga teng.

Tenglikning ikkala qismini w_1 ga bo‘lib, ushbu ifodani hosil qilamiz:

$$I_1 + I_2 = \frac{w_1}{w_2} = I_0$$

yoki

$$I_1 + I_2 = I_0, \quad (4.16)$$

bunda: $I_2 = I_0 \frac{w_1}{w_2}$ – birlamchi chulg‘aming o‘ramlar soniga keltirilgan ikkilamchi tok, ya’ni ikkilamchi chulg‘amda tok I_2 qanday m.k. hosil qilsa, bu tok ham o‘ramlar soni w_1 bo‘lgan chulg‘amda shunday m.k. hosil qiladi ($I_a' w_1 = I_2 w_2$).

(4.16) dan transformatorning *toklar tenglamasi* deyiladigan quyidagi ifodani hosil qilamiz:

$$I_1 = I_0 + (-I_a'). \quad (4.17)$$

Bu tenglamadan ko'rinib turibdiki, birlamchi tokni ikkita tashkil etuvchining yig'indisi deb qarash mumkin; ulardan biri (I_0) asosiy magnit oqim hosil qiladi, ikkinchisi ($-I_2'$) esa ikkilamchi tokning magnitsizlovchi ta'sirini kompensatsiyalaydi.

Buni fizik jihatdan quyidagicha tushuntirish mumkin. Ikkilamchi chulg'am EYK i o'zaro induksiya EYK i bo'lganligi uchun yuklama ulanganda shu EYK hosil qilgan tok I_2 , Lens qoidasiga muvofiq, transformatorning magnit o'tgazgichga magnitsizlovchi ta'sir ko'rsatadi. Boshqacha aytganda, tok I_2 birlamchi chulg'amning m.k. i $I_2 w_2$ ga qarshi yo'nalgan m.k. $I_2 w_2$ ni hosil qiladi.

Lekin magnit o'tkazgichda asosiy magnit oqim amalda o'zgarmasligicha qolganligi sababli ikkilamchi tokning magnitsizlovchi ta'siri birlamchi tokning qiymatini I_1 gacha oshiradi; bu tokning qiymati tok I_0 dan ($-I_2'$) qiymat qadar, ya'ni ikkilamchi tokning magnitsizlovchi ta'siri

$$I_0 w_1 = I_1 w_1 + I_2 w_2 = I_0 w_1 + (-I_2') w_1 + I_2 w_2 = I_0 w_1$$

ni kompensatsiya qilishga zaruriy darajada katta bo'ladi.

Shunday qilib, transformatorning ikkilamchi zanjirida tok qiymatining har qanday o'zgarishi birlamchi tokning tegishli o'zgarishiga olib keladi.

Transformatorning magnit o'tkazgichida po'latning o'ta magnitlanishi natijasida gisterezis va uyurma toklar tufayli energiyaning magnit isroflari vujudga keladi. Quvvatning bu isroflari salt ishlash tokining aktiv tashkil etuvchisiga ekvivalent bo'ladi. Binobarin, salt ishlash tokining asosiy magnit oqim hosil qiluvchi reaktiv tashkil etuvchisi I_{0r} bilan bir qatorda aktiv tashkil etuvchisi I_{0a} ham bo'ladi;

$$I_0 = \sqrt{I_{0a}^2 + I_{0r}^2}. \quad (4.18)$$

Asosiy magnit oqim $\Phi_{\max}$ vektori faza bo'yicha salt ishlash toki I_0 dan orqada qoladigan δ burchak *magnit isroflar burchagi* deyiladi. Salt ishlash tokining aktiv tashkil etuvchisi I_{0a} ning ortishi, ya'ni magnit o'tkazgichda magnit isroflarining ko'payishi bilan bu burchak ham kattalashishini payqash qiyin emas.

Katta va o'rta quvvatli transformatorlarda salt ishlash toki-ning qiymati birlamchi nominal tokning tegishlicha 2–10% ini tashkil etadi. Shuning uchun nominalga yaqin yuklamada tok I_0 ning qiymatini (4.16) e'tiborga olmasak, quyidagicha yozish mumkin:

$$I_1 = -I_2 \frac{w_2}{w_1}$$

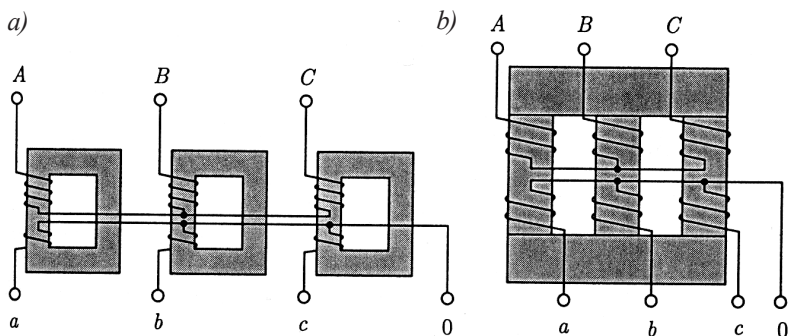
yoki

$$\frac{I_1}{I_2} = -\frac{w_2}{w_1}, \quad (4.19)$$

ya'ni transformatorning chulg'amlaridagi toklar shu chulg'am-larning o'ramlar soniga teskari proporsionaldir: o'ramlar soni kam bo'lgan chulg'amda tok qiymati katta bo'ladi va aksincha. Xuddi ana shuning uchun ham past kuchlanish chulg'amlari o'ramlar soni ko'p bo'lgan yuqori kuchlanish chulg'amlariga qaraganda kesimi kattaroq simdan tayyorlanadi.

4.5. Uch fazali transformator

Uch fazali kuchlanishlar sistemasini transformator guruhi tarzida birlashtirilgan uchta bir fazali transformatorlar (4.4-a rasm) bilan transformatsiyalash mumkin. Lekin nisbatan qo'polli, og'irligi va ancha qimmatligi transformator guruhi-ning kamchiliklaridir. Shuning uchun u katta quvvatli mashina-lardagina uskuna birligining gabaritlarini va og'irligini ka-maytirish maqsadida (bu hol uni montaj qilishda va tashishda ayniqsa muhimdir) ishlatiladi.

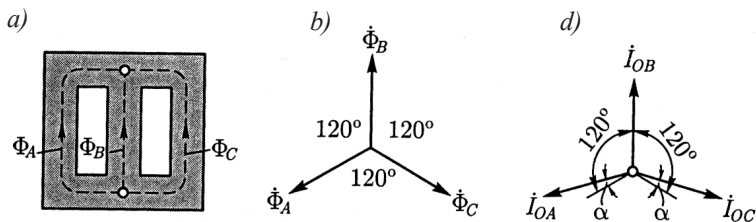


4.4-rasm. Transformatorlar guruhi (a) va uch fazali transformator (b).

Quvvati taxminan 60000 kV gacha bo'lgan qurilmalarda, odatda, uch fazali transformatorlar (4.5-b rasm) ishlatiladi; ularda chulg'amlar ikkita yarmo vositasida umumiy magnit o'tkazgichga birlashtirilgan uchta sterjenda joylashgan bo'ladi. Lekin shu yo'l bilan olingan magnit o'tkazgich nosimmetrik bo'ladi.

O'rta faza oqimi Φ_B ga bo'lgan magnit qarshilik chekka fazalar oqimlari Φ_A hamda Φ_C ga bo'lgan magnit qarshiliklardan kam bo'ladi (4.5-a rasm).

Uch fazali transformatorning birlamchi chulg'amlariga U_A , U_B hamda U_C kuchlanishlarning simmetrik sistemasi berilgani sababli transformatorning magnit o'tkazgichida magnit oqimlar Φ_A , Φ_B va Φ_C paydo bo'lib, ular ham simmetrik sistema hosil qiladi (4.5-b rasm). Lekin magnit o'tkazgichning magnit nosimmetrikligi tufayli ayrim faza chulg'amlarining magnitlovchi tokleri teng emas; chekka fazalarining magnitlovchi tokleri (I_{OA} va I_{OC}) o'rta faza toki (I_{OB}) dan katta bo'ladi. Bundan tashqari, chekka fazalarning tokleri I_{OA} va I_{OC} faza bo'yicha tegishli oqimlar Φ_A va Φ_C ga nisbatan α burchakga siljigan bo'ladi. Shunday qilib, transformatorga uch fazali kuchlanishning simmetrik sistemasi berilganda salt ishlash tokleri nosimmetrik sistema hosil qiladi (4.5-d rasm).



4.5-rasm. Uch sterjenli magnit o'tkazgich va vektor diagrammalar:

a) uch sterjenli magnit o'tkazgich; b) simmetrik hosil qiladigan magnit oqimlar; d) – nosimmetrik sistema hosil qiladigan salt ishlash toklari.

Uch sterjenli magnit o'tkazgichning magnit nosimmetrikligini kamaytirish, ya'ni chekka fazalar oqimlariga bo'lgan magnit qarshilikni kamaytirish uchun yarmolarning kesimi sterjenlarning kesimidan 10–15 % katta qilinadi, bu ularning magnit qarshiligini kamaytiradi.

Uch sterjenli transformator salt ishlash toklarining nosimmetrikligi amalda transformatorning ishiga ta'sir etmaydi, chunki xatto kichikroq yuklamada ham I_A , I_B va I_C toklarning qiymatlari orasida amalda deyarli farq bo'lmaydi.

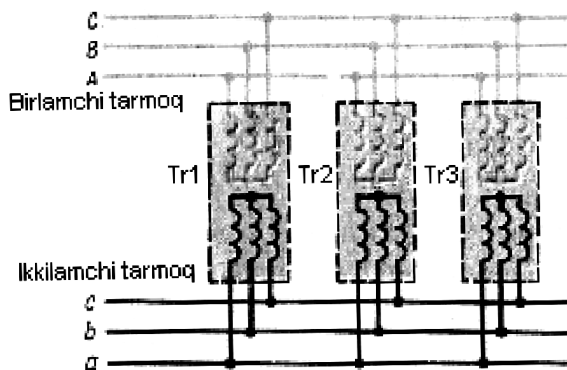
EYK lar magnitlovchi kuchlar va toklarning yuqorida ko'rib o'tilgan tenglamalari, shuningdek, almashtirish sxemasi hamda vektor diagrammalaridan uch fazali transformator har qaysi fazasining ishini tekshirishda foydalanish mumkin.

Uch fazali transformator fazalarining chulg'amlarini yulduz yoki uchburchak usulida ulash mumkin.

Masalan, 4.5-b rasmda ular yulduz usulida ulangan. Chulg'amlarni ulash masalasi keyingi paragroflarda ancha mukammal ko'rib chiqiladi.

4.6. Transformatorlarning parallel ishlashi

Stansiya va podstansiyalarda kuchlanish, odatda, bitta transformator bilan emas, balki alohida-alohida yoki parallel ishlaydigan bir necha transformatorlar bilan transformatsiyalanadi.



4.6-rasm. Transformatorlarni parallel ishlashga ulash.

Ikki yoki bir necha transformatorning birlamchi chulgʻamlari umumiy birlamchi tarmoqqa, ikkilamchi chulgʻamlari esa umumiy ikkilamchi tarmoqqa ulanganda transformatorlarning birgalikda ishlashi ularning *parallel ishlashi* deyiladi (4.6-rasm).

Katta quvvatli bitta transformator oʻrniga parallel ulangan bir necha transformatorni ishlatish biror transformatorida nosozlik sadir boʻlganda yoki uni taʼmirlash maqsadida uzib qoʻyilganda isteʼmolchilarni energiya bilan uzluksiz taʼminlash uchun zarurdir. Bundan tashqari, yuklama grafigi oʻzgarib turadigan, masalan, quvvati sutkaning turli soatlarida ancha oʻzgarib turadigan podstantsiyalarda ham parallel ulangan bir necha transformatorlar ishlatish maqsadga muvofiqdir. Bunda yuklama quvvati kamayganda bitta yoki bir necha transformatorni uzib, ulangan holda qolgan boshqa transformatorlarning yuklamasini nominal yuklamaga yaqin qilish mumkin. Natijada transformatorlar ishlashining ekspluatasion koʻrsatkichlari (FIK va $\cos\phi_2$) ancha yuqori boʻladi.

Faqat muayyan shartlarga rioya qilingandagina transformatorlarni parallel ishlashga ulash mumkin. Bunda chulgʻam-

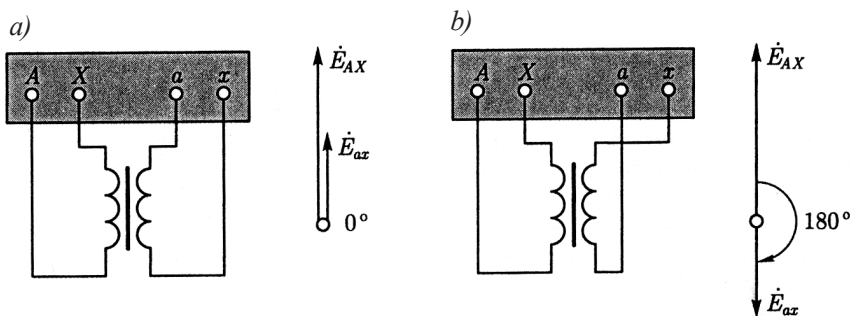
larning ulanish guruhi katta ahamiyatga ega bo'ladi, bular haqida quyida tushuncha berib o'tiladi.

4.7. Chulqamlarning ulanish sxemalari

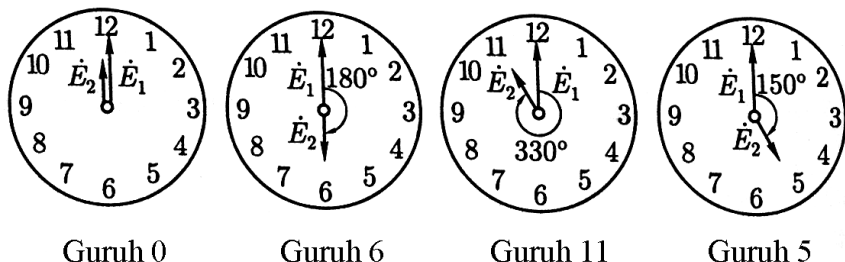
Shu vaqtga qadar biz vektor diagrammalar qurishda E_1 va E_2 EYK lar faza jihatidan bir-biriga mos, deb hisoblagan edik. Lekin bu hol burlamchi va ikkilamchi g'altaklar bir tomonga o'ralganda va bu g'altaklarning chiqish uchlari 4.7-a rasmda ko'rsatilgandek bir xil markalangandagina to'g'ri bo'ladi.

Agar transformatorlarda past kuchlanishli g'altakning o'ralish yo'nalishi o'zgartirilsa yoki uning chiqish uchining belgisi boshqa qo'yilsa, u holda EYK E_2 faza jihatidan EYK E_1 ga nisbatan 180° ga siljigan bo'lib qoladi (4.7-b rasm).

E_1 va E_2 EYK lar orasidagi faza siljishini tutashmalar guruhi orqali ifodalash qabul qilingan. Lekin fazalarning bunday siljishi 0 dan 360° gacha o'zgarishi mumkinligi, siljish karalliligi esa 30° ni tashkil etishi sababli tutashmalar guruhini belgilash uchun 1 dan 12 gacha bo'lgan bir qancha sonlar tanlab olinadi, unda har qaysi birlik 30° siljish burchagiga mos keladi.



4.7-rasm. Bir fazali transformatorlarni ulash guruhlari.



4.8-rasm. Ulash guruhlarining belgilanishi.

Bunday belgilashga E_1 va E_2 vektorlarning nisbiy holatini minut hamda soat millarining holati bilan taqqoslash asos qilib olingan. Bunda yuqori kuchlanish chulg'aming EYK vektori 12 raqamni ko'rsatib turuvchi minut mili, past kuchlanish chulg'aming EYK vektori esa soat mili deb faraz qilinadi (4.7-rasm). Soat milining minut miliga nisbatan holati PK chulg'ami EYK vektorining YK chulg'ami EYK vektoriga nisbatan tutgan holati bilan aniqlanadi. Masalan, chulg'amlarning 4.7-a rasmdagi ulanish sxemasi 12-guruhli, 4.7-b rasmdagi ulanish sxemasi esa 6-guruhli bo'ladi. Shunday qilib, bir fazali transformatorlarda ulanishlarning (tutashmalarining) faqat ikki guruhini; E_1 va E_2 lar faza jihatidan mos tushadigan 12-guruh bilan E_1 va E_2 orasida fazalar siljishi 180° ga mos keladigan 6-guruhni hosil qilish mumkin.

Bu guruhlardan 12-guruh standart hisoblanadi; u Y/Y-12 deb belgilanadi.

Uch fazali transformatorlarda E_1 va E_2 EYK larning liniyaviy qiymatlari orasidagi fazalar siljish burchagi ulanishlar guruhi bilan aniqlanadi.

Uch fazali transformatorlarda chulg'amlarni ulashning turli usullarini qo'llab, o'n ikkita turli xil ulanishlar hosil qilish mum-

kin. Bu o'n ikki guruhdan mintaqamizda faqat ikkitasi: faza siljishi 330° bo'lgan 11-guruh bilan faza siljishi 0° bo'lgan 12-guruh standartlashtirilgan.

Misol tariqasida «yulduz-yulduz» usulida ulanish sxemasini ko'rib chiqamiz (4.9-*a* rasm). EYK larning vektor diagrammalari liniya EYK lari E_1 (AB) va E_2 (ab) orasidagi siljish ayni holda nolga tengligini ko'rsatadi. YK va PK chulg'amlari EYK larining vektor diagrammalarini bir-birining ustiga qo'yishda A va a nuqtalarini ustma-ust tushirib, bunga ishonch hosil qilish mumkin.

Binobarin, chulg'amlarni ulashning ko'rsatilgan sxemalarida 12-guruh bo'ladi; u Y/Y-12 deb belgilanadi. Agar past kuchlanish faza chulg'amlarining boshlanish va oxirgi uchlarining o'rinlari almashtirilsa (4.9-*b* rasm) u holda liniya EYKlar vektor diagrammalarining A hamda a nuqtalarini ustma-ust tushirib, transformator 6-guruhga taaluqli bo'lib qolganligini ko'ramiz; uning belgilanishi Y/Y-6.

Chulg'amlarini «yulduz-uchburchak» usulida ulashda mumkin bo'lgan guruhlarni ko'rib chiqamiz. Chulg'amlar 4.9-*d* rasmda ko'rsatilganidek ulanganda 11-guruh bo'ladi; belgilanishi Y/ Δ -11.

Agar PK faza chulg'amlarining boshlanish va oxirgi uchlarining o'rinlari almashtirilsa (4.9-*e* rasm), u holda transformator 5-guruhga taalluqli bo'lib qoladi; u Y/ Δ -5 bilan belgilanadi.

Chulgʻamlarning goʻlanish sxemalari		EYK vektorlari diagrammalari		Shartli belgilar
BH	HH	BH	HH	

4.9-rasm. Uch fazali transformatorlarni ulash guruhlari:

a) Y/Y-12; b) Y/Y-6; d) Y/Δ-11; e) Y/Δ-5.

NAZORAT SAVOLLARI

1. Transformatorlarning ishlash prinsipi va tuzilishini aytib bering.
2. Transformatorlar nechta turga boʻlinadi?
3. Maxsus transformatorlarga qanday qurilmalar kiradi?

4. Transformatorning transformatsiya koeffitsiyenti qanday aniqlanadi?
5. Transformatorlarni qanday holatlarda parallel ishlatish mumkin?
6. Transformator chulg'amlarining ulash guruhleri va sxemalari haqida gapirib bering.

5-bo'lim. TRANSFORMATORLARNING MAXSUS XILLARI

5.1. Uch chulg'amli transformator

Uch chulg'amli transformatorlarda bir-biri bilan elektr jihatdan bog'lanmagan uchta chulg'am bo'ladi, ulardan bittasi birlamchi, qolgan ikkitasi esa ikkilamchi chulg'amlardir (5.1-rasm).

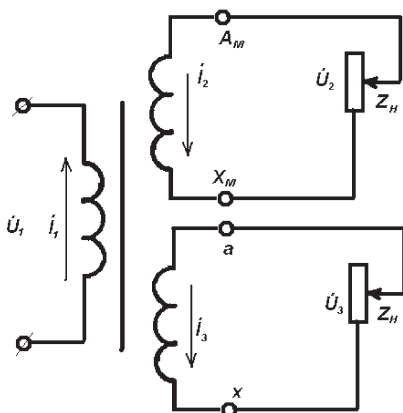
Uch chulg'amli transformatorning ishlash prinsipi mohiyati jihatdan odatdagi ikki chulg'amli transformatorning ishlash prinsipidan farq qilmaydi.

Bu transformatorning birlamchi chulg'ami magnitlovchi bo'lib, magnit o'tkazgichda magnit oqim hosil qiladi, bu oqim ikkita ikkilamchi chulg'amni kesib o'tib, ularda E_2 va E_3 EYK larni hosil qiladi.

Salt ishlash tokining qiymatini hisobga olmasak, uch fazali transformatorning toklar tenglamasini quyidagicha yozish mumkin:

$$I_1 = -(I_2 + I_3). \quad (5.1)$$

Bu tenglamadan ko'rinib turibdiki, uch chulg'amli transformatorning birlamchi toki keltirilgan ikkilamchi toklarning arifmetik emas, balki geometrik yig'indisiga teng. Bu tenglikni, shuningdek, ikkilamchi chulg'amlarga bo'lgan yuklama nominal qiymatga bir vaqtda erishmasligini etiborga olib, uch chulg'amli transformatorning birlamchi chulg'ami shunday quvvatga hisoblanadiki, bu ikkala ikkilamchi chulg'amlar nominal quvvatlarning yig'indisidan kichik bo'lishi kerak.



5.1-rasm. Bir fazali uch chulg'amli transformator.

Uch chulg'amli transformatorlarni ishlatishning maqsadga muvofiqligiga yana bir sabab shuki, bitta uch chulg'amli transformator amalda ikkita ikki chulg'amli transformatorning o'rnini bosadi.

Uch chulg'amli transformatorning ikkilamchi chulg'amlari orasida magnit bog'lanish borligi sababli ular bir-biriga ta'sir etib turadi. Masalan, tok I_2 o'zgarganida faqat U_2 kuchlanish emas, balki U_3 kuchlanish ham o'zgaradi.

O'zDSt 401–41 ga muvofiq, uch fazali uch chulg'amli transformatorlarning chulg'amlari $Y_0/Y_0/\Delta$ –12–11 yoki $Y_0/\Delta/\Delta$ –11–11 usulida, bir fazalilarniki esa $Y/Y/Y$ –12–12 usulida ulanishi mumkin.

Uch chulg'amli transformatorning nominal quvvati sifatida uning quvvati eng katta bo'lgan chulg'aming, ya'ni birlamchi chulg'aming quvvati qabul qilinadi.

Uch chulg'amli (bir fazali va uch fazali) transformatorlar transformator podstantsiyalarida o'rnatiladi.

Radio, aloqa va avtomatika qurilmalarida ishlatiladigan kichik quvvatli ko'p chulg'amli transformatorlar ham huddi ana shu prinsipda tuzilgan bo'ladi.

5.2. Avtotransformatorlar

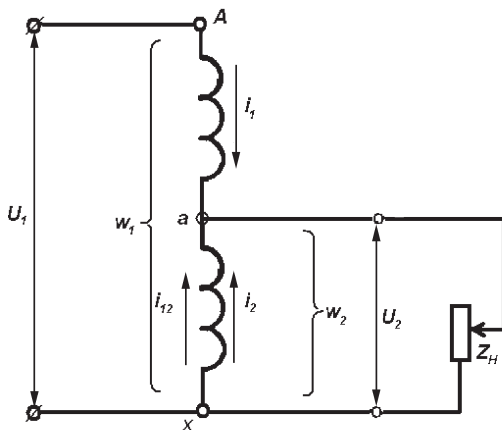
Avtotransformatorning faqatgina bitta chulgʻami boʻlib, uning oʻramlaridan bir qismi birlamchi hamda ikkilamchi zanjirlar uchun umumiy boʻladi. 5.2-rasmda pasaytiruvchi transformatorning sxemasi koʻrsatilgan, unda aX qism chulgʻamning umumiy qismi boʻlib, bu qismda tok I_{12} ga teng. I_1 va I_2 toklar qarama-qarshi fazalarda ekanligini etiborga olib, tok I_{12} uchun quyidagi ifodani hosil qilamiz:

$$I_{12} = I_2 - I_1. \quad (5.2)$$

Bundan koʻrinadiki, umumiy qismida tokning qiymati I_1 va I_2 toklarning ayirmasiga teng.

Agar transformatorning transformatsiyalash koeffitsiyenti birdan salgina katta boʻlsa, u holda I_1 va I_2 toklar bir-biridan kam farq qiladi, ularning ayirmasi $I_2 - I_1$ esa kichikroq qiymatni tashkil etadi. Bu hol avtotransformator chulgʻamining aX qismini kichikroq kesimli simdan tayyorlashga imkon beradi. Agar avtotransformatordagi isroflar hisobga olinmasa, u holda avtotransformatorga kirishdagi quvvat $S_1 = I_1 U_1$ bilan undan chiqishdagi quvvat $S_2 = I_2 U_2$ ni taxminan oʻzaro teng, deb qabul qilish mumkin. Bu quvvat $S_1 = S_2$ oʻtuvchi quvvat $S_{o't}$ deyiladi. Bundan tashqari, **hisobiy quvvat** S_{his} ham boʻladi, u magnit maydon vositasida birlamchi zanjirdan ikkilamchi zanjirga uzatiladigan quvvatdir. Bu quvvatning hisobiy quvvat deyilishiga sabab shuki, transformatorning oʻlchamlari va ogʻirligi shu quvvat kattaligiga bogʻliq boʻladi. Transformatorlarda oʻtuvchi quvvatning hammasi hisobiy quvvat boʻladi, chunki transformatorning chulgʻamlari orasida faqat magnit bogʻlanish boʻladi, xolos.

Lekin avtotransformatorda birlamchi va ikkilamchi zanjirlar orasida magnit bogʻlanish bilan birga elektr bogʻlanish ham boʻladi. Shu sababli hisobiy quvvat oʻtuvchi quvvatning faqat bir qisminigina tashkil etadi, bu quvvatning boshqa qismi esa zanjirlar orasidagi elektr bogʻlanish hisobiga (magnit maydon ishtirokisiz) birlamchi zanjirdan ikkilamchi zanjirga uzatiladi.



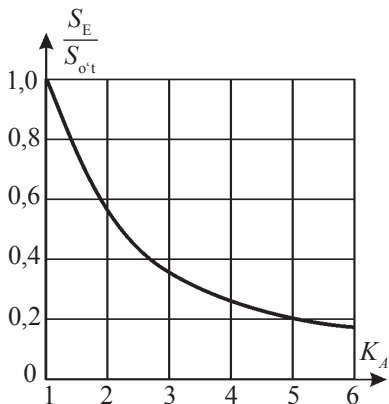
5.2-rasm. Bir fazali avtotransformatorning prinsipial sxemasi.

Buni tasdiqlash maqsadida avtotransformatorning o'tuvchi quvvati $S_{ot} = I_2 U_2$ ni tashkil etuvchilarga ajratamiz. Buning uchun (1) ifodadan foydalanamiz; bu ifodadan $I_2 = I_1 + I_{12}$. Buni o'tuvchi quvvat formulasiga qo'ysak, quyidagini olamiz:

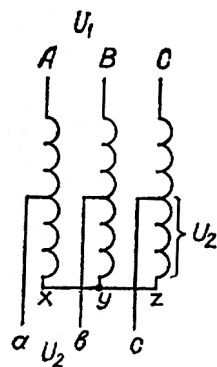
$$S_{ot} = I_2 U_2 = U_2 (I_1 + I_{12}) = I_1 U_2 + U_2 I_{12} = S_E + S_{his}.$$

Bunda $S_E = I_2 U_2$ avtotransformatorning birlamchi zanjiridan ikkilamchi zanjiriga shu zanjirlar orasidagi elektr bog'lanish tufayli uzatiladigan quvvat. Shunday qilib, avtotransformatorda hisobiy quvvat $S_{his} = I_{12} U_2$ o'tuvchi quvvatning faqat bir qisminigina tashkil etadi. Bu hol avtotransformator tayyorlash uchun shunday quvvatli transformator dagiga qaraganda kichikroq kesimli magnit o'tkazgichdan foydalanishga imkon beradi. Shu sababli chulg'am o'ramining o'rtacha uzunligi ham kamroq bo'ladi, demak, transformator chulg'amini tayyorlashga kamroq mis sarflanadi. Bir vaqtning o'zida magnit va elektr isroflar kamayadi, avtotransformatorning FIK esa ortadi.

Shunday qilib, teng quvvatli transformator ga nisbatan avtotransformatorning quyidagi afzalliklari bor: aktiv materiallar (mis va elektrotexnikaviy po'lat) kam sarflanadi, o'lchamlari kichik, FIK i ancha katta, tannarxi kam bo'ladi.



5.3-rasm. $S_E/S_{o't}=f(K_A)$ bog'liqlik grafigi.



5.4-rasm. Uch fazali avtotransformatorning sxemasi.

Quvvat S_E qanchalik katta, binobarin o'tuvchi quvvatning hisobiy qismi qanchalik kam bo'lsa, avtotransformatorning yuqorida ko'rsatilgan afzalliklari yanada ko'proq bo'ladi. Quvvat S_E kattaligi avtotransformatorning transformatsiyalash koeffitsiyenti $K_a = \frac{w_{DCh}}{w_{aX}}$ ga teskari proporsionaldir, ya'ni

$$S_E = S_{o't} \frac{1}{K_a}. \quad (5.3)$$

$\frac{S_E}{S_{o't}} = f(K_a)$ grafikdan ko'rinib turibdiki (5.3-rasm), avtotransformator ishlatish ikki chulg'amli transformatorga nisbatan faqat transformatsiyalash koeffitsiyentining qiymati uncha katta bo'lmagan hollardagina yaxshi natija beradi.

Masalan, $K_a = 1$ bo'lganda avtotransformatoridagi barcha quvvat zanjirlar orasidagi elektr bog'lanish hisobiga $\frac{S_E}{S_{o't}} = 1$ ikkilamchi zanjirga uzatiladi.

Eng qulay transformatsiyalash koeffitsiyenti $K_a \leq 2$ bo'lgan avtotransformatorlarni ishlatishdir.

Tranformatsiyalash koeffitsiyentining qiymati katta bo'lganda avtotransformatorning quyida ko'rsatilgan kamchiliklari hal qiluvchi qiymatga ega bo'lib qoladi:

1) pasaytiruvchi avtotransformatorda qisqa tutashuv tokining katta bo'lishi (a va X nuqtalar tutashganida kuchlanish U_1 o'ramlarning qisqa tutashuv qarshiligi juda kam bo'lgan kichikroq qismi $A-a$ gagina beriladi);

2) YUK tomonining PK tomoni bilan elektr jihatdan bog'langanligi; bu butun chulg'amning elektr izolatsiyasi juda mustahkam bo'lishini talab etadi;

3) avtotransformatordan kuchlanishni pasaytirish sxemalarida foydalanilganda past kuchlanish tarmog'ining simlari bilan yer orasida yuqori kuchlanish tomonidagi sim bilan yer orasidagi kuchlanishga taxminan teng kuchlanish paydo bo'ladi, bu esa qurilmalarni xavfsiz ishlatish shartlariga also to'g'ri kelmaydi.

Avtotransformatolar kuchaytiruvchi va pasaytiruvchi, bir fazali va uch fazali bo'lishi mumkin. Uch fazali avtotransformatolarda chulg'amlar, odatda, yulduz usulida ulanadi.

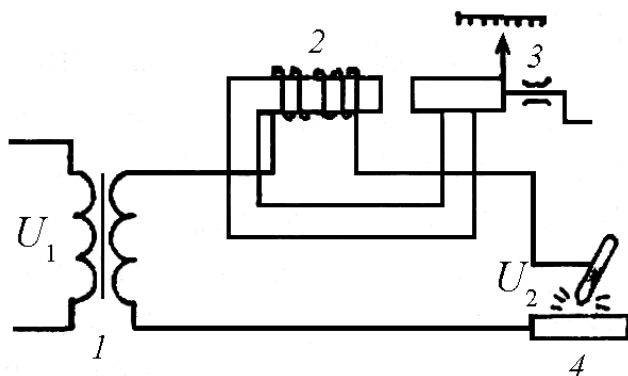
Transformatsiyalash koeffitsiyenti o'zgarib turadigan avtotransformatolar keng ko'lamda ishlatilmoqda. Bu holda avtotransformatolar o'ramlar soni w_2 ni o'zgartirish yo'li bilan ikkilamchi kuchlanish kattaligini boshqarishga imkon beradigan qurilma bilan taminlanadi. Bu qaytaulagich yoki chulg'amning bevosita izolatsiyadan tozalangan o'ramlari bo'ylab harakatlanadigan sirpanuvchi kontakt (cho'tka) yordamida amalga oshiriladi. Bunday avtotransformatolar *kuchlanish regulatolari* deyiladi va bir fazali (RNT tipidagi) bo'lishi mumkin.

5.3. Payvandlash transformatorlari

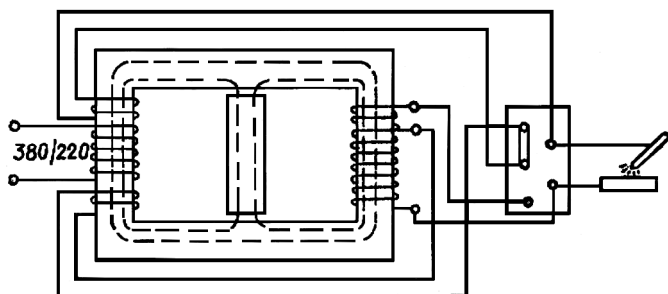
Salt ishlash rejimida elektr tarmog'idagi kuchlanishni 60÷70 voltgacha pasaytiruvchi bir fazali transformator *payvandlash transformatori* deb ataladi. Bu transformatorlarning tashqi

xarakteristikasi keskin pasayuvchi xarakterga ega bo'ladi. Payvandlash transformatorlari turli tiplarda tayyorlanadi. STE tipidagi payvandlash transformatori salt ish rejimida $60 \div 65$ V kuchlanishga ega bo'lib, yoyning turg'un yonishini taminlaydi. Bunda payvandlash tokining qiymatini rostlash uchun induktiv qarshiligi rostlanadigan drossel ishlatiladi (5.5-rasm).

Po'lat o'zaklar orasidagi havo bo'shlig'ini kattalashtirish bilan drossel chulg'aming induktiv qarshiligi kamayadi. Havo bo'shlig'ini kuchaytirish bilan esa drossel chulg'aming qarshiligi ko'payib, payvandlash toki kamayadi. Hozirgi paytda tok qiymatini rostlovchi, drosseli transformator qoplamining ichiga o'rnatilgan STAN-1 tipli payvandlash transformatorlari chiqarilmoqda (5.6-rasm). Bu tipdagi transformatorlarning salt ish rejimidagi kuchlanishi STE ga nisbatan ancha yuqori bo'lib, tokning kichik qiymati, yani $25 \div 50$ A da ham yoyning turg'un yonishini taminlaydi. STAN-1 ning ikkilamchi chulg'ami ikki qismdan iborat bo'lib, ular o'zaro mos o'ralgan va, demak, ularda hosil bo'lgan kuchlanish o'zaro qo'shiladi. Asosiy ikkilamchi chulg'am birlamchi chulg'am o'rnatilgan o'zakka o'rnatiladi (birlamchi chulg'am ustidan). Ikkilamchi chulg'amning reaktiv qismi boshqa o'zakka o'rnatiladi va shunga ko'ra uning induktiv



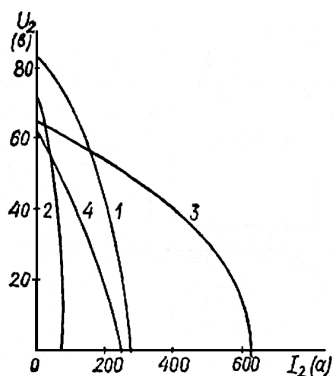
5.5-rasm. STE tipli payvandlash transformatorining prinsipl sxemasi.



5.6-rasm. STAN-1 tipli payvandlash transformatori va uning ulanish sxemasi.

qarshiligi katta bo'ladi O'rtadagi qo'zg'luvchi o'zakdan magnit shunt sifatida foydalaniladi. Magnit shunt holatini o'zgartirish bilan magnit oqimning tarqalish yo'lidagi qarshilik qiymatini o'zgartirib, payvandlash toki qiymatini silliqqina rostlash imkoni olinadi. Bunda shuntning ichkariga surish bilan reaktiv chulg'am qarshiligi ko'paytirilib, payvandlash toki kamaytiriladi, shuntning ichkaridan chiqarish bilan esa, qarshilik kamaytirilib, payvandlash toki ko'paytiriladi.

Payvandlash tokini ikki (I va II) pog'onada o'zgartirish uchun STAN-1 ning ikkilamchi chulg'ami ikki xil sxemada ulanadi. 5.7-rasmda STAN-1 ning tashqi xarakteristikalari ko'rsatilgan, bunda 1 egri chizig'i – I pog'onada va magnit shuntning ichkaridan chiqarilgan holatida olingan xarakteristika; 2 egri chizig'i – I pog'ona va magnit shuntning ichkariga surilgan holatiga tegishli xarakteristika; 3 egri chizig'i – II pog'ona va shuntning ichkaridan chiqarilgan holatiga tegishli xarakteristika va 4 egri chizig'i – II pog'ona va magnit shuntning ichkariga surilgan holatiga tegishli xarakteristika. Bunda drosselning ta'siri tufayli tashqi xarakteristika keskin o'zgarishiga ega bo'ladi. Haqiqatan, ikkilamchi chulg'amdagi kuchlanish qiymati yoydagi va reaktiv



5.7-rasm. Payvandlash transformatori STAN-1 ning tashqi xarakteristikalar.

payvandlash tokini rostdash diapozoni – 60–480 A;

quvvati – 22 kW;

FIK – 0,83;

quvvat keffitsiyenti – 0,52;

massasi – 185 kg.

chulgʻamdagi kuchlanish tushuvlari yigʻindisidan iborat boʻlgani uchun yoy qarshiligini kamaytirish bilan payvandlash toki qiymatining koʻpayishi sodir boʻladi. Bu esa drossel chulgʻamidagi kuchlanish tushuvini koʻpaytirib, yoydagini kamaytiradi. Natijada payvandlash jarayoni yaxshi oʻtadi (5.7-rasm).

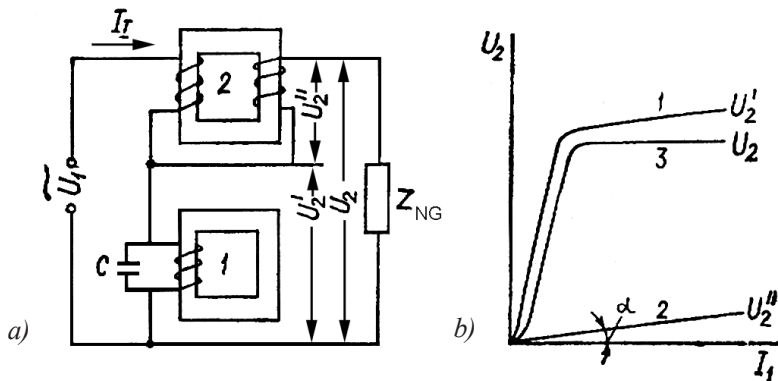
STAN-1 ning texnik koʻrsatkichlari:

birlamchi kuchlanish – 20–380 V;

ikkilamchi kuchlanish – 60–70 V;

5.4. Kuchlanish moʻtadillashtirgichi (stabilizator)

Elektrotexnik qurilmalardagi kuchlanishni oʻzgartirmay, yaʼni moʻtadil saqlash uchun, koʻpincha elektromagnit tipidagi (agar qurilma quvvati 5 kW gacha boʻlsa) moʻtadillashtirgichlardan foydalaniladi. Bular ferromagnit oʻzakning toʻyinishi hamda kuchlanish va tokning ferrozonans hodisalariga asoslanib tuziladi. 5.8-a rasmda ferrozonans moʻtadillashtirgichning sxemasi va 5.8-b rasmda uning xarakteristikasi koʻrsatilgan, bunda 1 – reaktiv gʻaltak. Bu gʻaltak oʻrnatilgan oʻzakning holati elektr tarmogʻidagi kuchlanish U_1 ning berilgan oʻzgarish diapazonida toʻyingan boʻladi; C – kondensator; 2 – oʻzagi toʻyinmagan holatda ishlovchi avtotransformator.



5.8-rasm. Ferrerezonans mo'tadillashtirgichi.

Avtotransformator chulg'amingan ulanish sxemasiga binoan mo'tadillashtirgichdan olinuvchi U_2 kuchlanishning qiymati quyidagicha bo'ladi:

$$\bar{U}_2 = \bar{U}_2' - \bar{U}_2''.$$

Bunda: $\bar{U}_2'$ – avtotransformatorning ikkilamchi kuchlanishi;

$\bar{U}_2''$ – reaktiv g'altakdan olinuvchi kuchlanish.

Ferrerezonans hodisasiga binoan reaktiv g'altakdagi kuchlanish qiymatining I_1 tokiga bog'lanish keskin o'zgaruvchi egri chiziq shakliga ega bo'ladi (5.8-b rasm).

Avtotransformator o'zagi to'yinmagan holatga egaligi sababli $U_2'' = f(I_1)$ bog'lanishi to'g'ri chiziq bo'yicha o'zgaradi. Reaktiv g'altak va avtotransformator parametrlarini tanlash bilan $U_2' = f(I_1)$ egri chizig'ining to'yingan holatga tegishli qismining absissa o'qiga qiyaligi $U_2'' = f(I_1)$ ning ham shu o'qqa bo'lgan qiyaligi ∞ ga teng bo'lsa, u holda $U_2'' = U_2' = \text{const}$ bo'ladi. U_2 ning qiymati o'zgarmas holda saqlanishi uchun U_1 ning qiymati nominalga nisbatan 30°C dan ko'pga o'zgarmasligi kerak.

Ferrorezonans moʻtadillashtirgichlarining FIK lari ancha yuqori, yaʼni $\eta=0,8\pm0,85$ boʻladi. Bularning kamchiligi, U_2 qiymatining elektr tarmogʻidagi tok chastotasiga va yuklamaning quvvat koʻeffitsiyentiga bogʻliqligi hamda uchinchi garmonika sababli U_2 ning sinusoidadan farq qilinishi hisoblanadi. Moʻtadillashtirgich sxemasini murakkablashtirish bilan yuqorida koʻrsatilgan kamchiliklarni yoʻqotish mumkin.

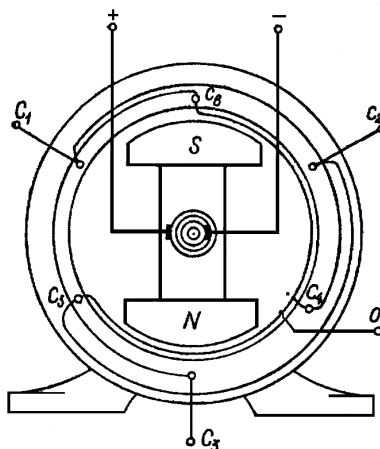
NAZORAT SAVOLLARI

1. Uch fazali transformatorning toklar tenglamasini keltiring.
2. Avtotransformatorning vazifasi nima?
3. Payvandlash transformatorining vazifasi nima?
4. STAN-1 payvandlash transformatori qanday texnik koʻrsatkichlarga ega?
5. Kuchlanish moʻtadillashtirgich (stabilizator)ining vazifasi nimadan iborat?
6. Ferrorezonans moʻtadillashtirgichlarining kamchiligi nimadan iborat?

6.1. Umumiy tushunchalar

O'zgaruvchan tok mashinalari asosan sinxron va asinxron deb ataluvchi elektr mashinalaridan iborat bo'lib, ularni ham o'zgarmas tok mashinalari singari generator, motor va elektromagnit tormoz rejimlarida ishlatish mumkin.

Elektr stansiyalarida ishlab chiqariladigan uch fazali tok sinxron generatorlarda hosil qilinadi. Sinxron mashinalar qo'zg'almas stator va aylanuvchi rotordan iborat bo'ladi. Stator, o'z navbatida cho'yan korpus va unga mahkamlangan po'lat o'zakdan iborat bo'lib, bu o'zak pazlariga uch fazali o'zgaruvchan tok chulg'ami joylashtiriladi. Stator o'zagida uyurma toklardan hosil bo'luvchi quvvat isrofini kamaytirish maqsadida uni bir-biridan izolatsiyalangan po'lat tunukalardan yig'iladi (6.1-rasm).



6.1-rasm. Sinxron mashinaning statori.

Sinxron mashinaning rotorini ikki tipda, ya'ni ayon va ayon bo'lmagan qutbli qilib tayyorlanadi. Gidrotubinalar bilan past chastotada aylantiriladigan kichik va o'rta quvvatli gidrogeneratorlar ayon, bug' trubinalari bilan yuqori tezlikda aylantiriladigan katta quvvatli turbogeneratorlar esa ayon bo'lmagan qutbli qilib tayyorlanadi.

6.2-rasmda sinxron mashinaning a – ayon va b – ayon bo'lmagan qutbli rotorlari ko'rsatilgan. Rotorning o'zagi, odatda, quyma po'latdan yasalib, unga qo'zg'atuvchi chulg'am o'rnatiladi. Aylanuvchi rotordagi bu qo'zg'atuvchi chulg'amga cho'tka va halqalar vositasida o'zgaras tok berilib, asosiy magnit oqim hosil qilinadi. Demak, o'zgaras tok bilan ta'minlangan rotor chulg'ami birlamchi motor (trubina) bilan aylantirilsa, u holda, elektroma induksiya qonuniga binoan stator chulg'amida o'zgaruvchan EYK hosil bo'ladi.

Bu EYK sinusoida qonuni bo'yicha o'zgarishi uchun qutblarda hosil bo'lgan magnit induksiya sinusoida bo'yicha taqsimlanishi kerak. Magnit induksiyaning $B=B_{\max} \sin \alpha$ bo'yicha taqsimlanishi uchun qutb o'zagi bilan stator o'zagi o'rtasidagi havo bo'shlig'ining 6.3-rasmda ko'rsatilganidek bo'lishiga erishish kifoya.

Uch fazali sinxron generatorning statoriga uchta chulg'am joylashtiriladi. Bu chulg'amlar fazoda bir-biridan 120° burchakka farq qiladi, ular yulduz yoki uchburchaklik sxemasi bilan ulanadi. Har bir chulg'am generatorning fazasi deyilib, bu fazalarda bir-biridan 120° ga farq qiluvchi EYK lar hosil bo'ladi. Yulduz yoki uchburchaklik sxemasi bilan ulangan chulg'amlardan olingan bu uch fazali EYK lar sitemasiga uch fazali yuklama ulansa, u holda generatorning stator chulg'amlaridan uch fazali yuklama toki o'tadi. Sinxron mashinani qo'zg'atish uchun kerak bo'lgan o'zgaras tokni qo'zg'atgich yoki chala o'tkazgichli to'g'rilagichlardan olinadi. Generator bilan birga

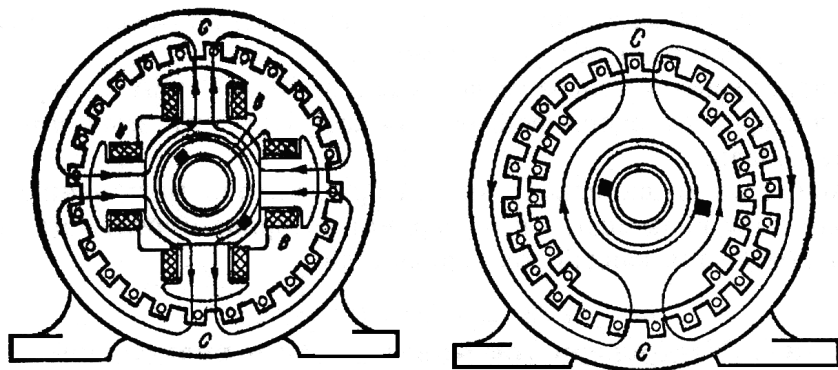
aylantiriluvchi va uni qo'zg'atishga mo'ljallangan o'zgarmas tok *generator qo'zg'atgich* deb ataladi. Sinxron generatorlar statori chulg'amlarining boshi va oxirlari quyidagi jadvalda ko'rsatilganidek belgilanadi:

Fazalar	Faza chulg'amlarining	
	boshi	oxiri
Birinchi	C_1	C_4
Ikkinchi	C_2	C_5
Uchinchi	C_3	C_6

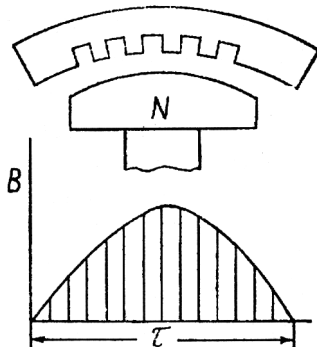
Odatda, quvvati 400 kW gacha bo'lgan sinxron generatorlar 400/230 V, 400 kW dan kattalari esa 6300 V va undan ham yuqori kuchlanishli qilib tayyorlanadi.

Quvvati 1000 kW gacha bo'lgan dizel motorga mo'ljallangan CFD tipli generatorlar ham chiqarilmoqda.

Katta quvvatli generatorlar, masalan, 100000 kW li turbogeneratorlar juda yuqori foydali ish koeffitsiyenti, ya'ni $\eta=0,98$ ga ega bo'ladi.



6.2-rasm. Sinxron mashinaning rotorlari.



6.3-rasm. Rotor qutblarida hosil boʻluvchi magnet induksiya­si­ning sinusoidal taqsimlanishi.

Asinxron mashinalarning statori sinxron mashinanikidan deyarli farq qilmaydi, ammo ularning rotoridagi chulgʻamiga tashqi manbadan hech qanday tok berilmaydi.

6.2. Oʻzgaruvchan tok mashinasining chulgʻamlari

Oʻzgaruvchan tok mashinasining chulgʻamlari ham oʻzgarmas tok mashinasiniki singari bir va ikki qatlamli, qisqartirilgan va toʻla qadamli boʻlib, quyidagi parametrlar bilan tavsiflanadi:

z – stator oʻzagidagi pazlar soni;

m – stator chulgʻamidagi fazalar soni;

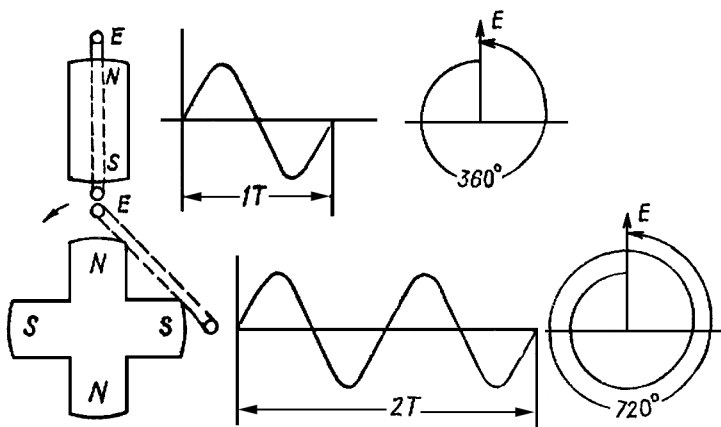
p – juft qutblar soni;

q – faza va qutbga toʻgʻri keluvchi pazlar soni boʻlib, u quyidagicha aniqlanadi:

$$q = \frac{z}{2pm}. \quad (6.1)$$

Faza qadami quyidagicha aniqlanadi:

$$y_f = \frac{2}{3} \tau. \quad (6.2)$$



6.4-rasm. Fazoviy va elektr graduslarning o'zaro bog'lanishi.

τ – qutb o'rtalari orasidagi masofa (qutb bo'linmasi);

y – chulg'am qadami, seksiyaning kengligi;

y_f – faza chulg'amlarining uchlari orasidagi masofani ko'rsatuvchi faza qadami.

y va y_f qadamlar, odatda, τ ning biror bo'lagi yoki pazlar soni bilan ifodalanadi;

$\alpha = \frac{\tau}{Q}$ – elektr graduslarda o'lchangan pazlar orasidagi burchak, unda Q – stator o'zagining qutb kengligi orasidagi pazlar soni.

Rotorning bir gradusga burilish burchagi *fazoviy gradus*, stator chulg'amida hosil bo'ladigan EYK vektorining burilish burchagi *elektr gradus* deyiladi.

Ikki qutbli mashinada rotorning bir marta to'la aylanishiga bir davr, ya'ni EYK vektorining ham bir marta aylanishi to'g'ri kelsa, to'rt qutbli mashinada rotorning bir marta to'la aylanishiga ikki davr, ya'ni EYK vektorining ikki marta to'la aylanishi to'g'ri keladi (6.4-rasm).

Demak, qutblar soni $2p$ bo'lgan ko'p qutbli sinxron mashinada rotorning bir marta to'la aylanishiga p sonli davr, ya'ni EYK vektorining p marta to'la aylanishi to'g'ri keladi. Shunga ko'ra fazoviy gradus – p elektr gradus bo'ladi.

6.3. Sinxron generator stator chulgʻamining elektr yurituvchi kuchi

Stator chulgʻamining har bir oʻtkazgichida hosil boʻlgan EYK ning oʻrtacha qiymati ham elektromagnit induksiya qonuniga binoan $E_{o'r} = B_{o'r} l v$ boʻladi, bunda l – stator chulgʻami oʻtkazgichi uzunligi, m ; v – magnit kuch chiziqlarining harakat tezligi, $\frac{m}{s}$; $B_{o'r}$ – havo boʻshligʻidagi magnit induksiyaning oʻrtacha qiymati, Tl .

Chiziqli tezlik v ni aylanish chastotasi n bilan ifodalab hamda $\pi D = 2p\tau$ boʻlgani uchun $v = \frac{\pi D n}{60} = \frac{2\pi\tau n}{60}$ olinadi. Bundan $\frac{pn}{60} = f$ boʻlgani uchun $v = 2f\tau$ boʻladi. Demak, $E_{o'r} = B_{o'r} l v = B_{o'r} 12f\tau$, ammo $B_{o'r} l v = \Phi$ boʻlgani uchun $E_{o'r} = 2f\Phi$.

Oʻtkazgichdagi EYK ning taʼsir etuvchi qiymati $E = 1,11E_{o'r}$ boʻladi. Bunda 1,11 sinusoidal EYK ning egri shakllilik koeffitsiyenti.

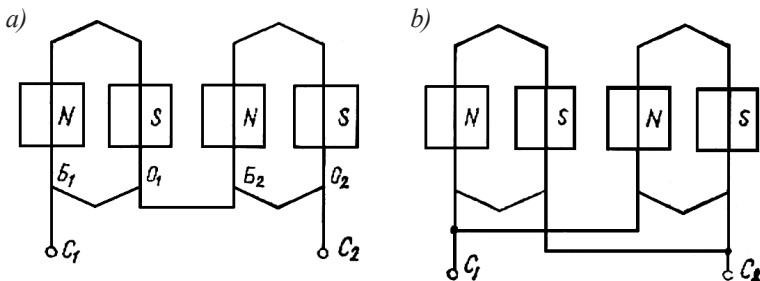
Har bir oʻram ikki oʻtkazgichdan iborat boʻlgani uchun oʻramdagi EYK qiymati quyidagicha aniqlanadi:

$$E_{o'r} = 2 \cdot 1,11 \cdot 2f\Phi = 4,44 f\Phi. \quad (6.3)$$

6.4. Statorning bir faza va bir qatlamli chulgʻamlari

Oʻzgaruvchan tok mashinasi statoriga yigʻishtirilgan va sochilgan sxemali chulgʻamlarni oʻrnatish mumkin.

Yigʻishtirilgan deb ataluvchi chulgʻamda $q=1$, $y=\tau$ boʻlib, uning bir juft qutblari ostidagi hamma seksiyalari (gʻaltaklari) ikkita pazga joylashtiriladi. Bu pazlarning biri shimoliy, ikkinchisi esa janubiy qutblar ostida boʻladi. 6.5-rasmda qutblari soni $2p=4$ boʻlgan yigʻishtirilgan chulgʻamning: a) seksiyalari ketma-ket va b) seksiyalari parallel ulangandagi sxemalari koʻrsatilgan. Bu chulgʻam uchun EYK E_y qiymati quyidagicha aniqlanadi:



6.5-rasm. Statorning bir faza va bir qatlamli chulgʻamlari.

$$E_{o'r} = E_0 w = 4,44 f \Phi, \quad (6.4)$$

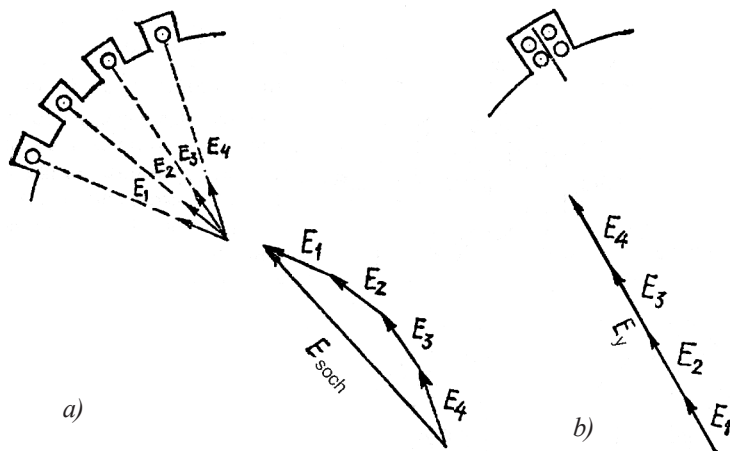
bunda: w – ketma-ket ulangan oʻramlar soni.

Yigʻishtirilgan chulgʻamda poʻlat oʻzakdan toʻla foydalanish mumkin boʻlmagani uchun undan kam foydalaniladi. Odatda, stator oʻzagi boʻyicha bir xilda sochilib joylashtirilgan chulgʻam ishlatiladi. Shunga koʻra, bunday chulgʻam *sochilgan* deb ataladi. Sochilgan chulgʻam uchun $q=2, 3, 4$ va hokazo boʻladi. Bunday chulgʻamda pazlar bir-biridan α burchakka surilgan boʻladi. Bu pazlardagi seksiyalarda hosil boʻlgan EYK vektorlari ham oʻzaro α burchakka farq qiladi. Bir guruh seksiyalarda hosil boʻlgan EYK lar yigʻindisi har bir seksiyadagi EYK E larning geometrik yigʻindisiga (6.6-a rasm) teng, yaʼni $E_{soch} = E_1 + E_2 + E_3 + E_4$ boʻladi.

Yigʻishtirilgan chulgʻamda esa toʻrtta seksiya bir pazga joylashtirilishi sababli, bu seksiyalardagi EYK qiymati har bir seksiyasidagi EYK larning algebraik yigʻindisiga (6.6-b rasm) teng, yaʼni $E_y = E_1 + E_2 + E_3 + E_4 + q \cdot E$ boʻladi.

Sochilgan chulgʻamdagi EYK ning yigʻishtirilgandagi nisbati chulgʻamning *sochilish koeffitsiyenti* deyiladi va k_{soch} kabi belgilanadi:

$$k_{soch} = \frac{E_{soch}}{E_y} = \frac{E_{soch}}{q \cdot E}, \quad (6.5)$$



6.6-rasm. Bir fazali chulg'amning sochilgan (a), yig'ishtirilgan (b) chulg'am seksiyalaridagi EYKlar qiymati.

bunda: E_{soch} – seksiya EYK lari samarali qiymatlarining geometrik yig'indisi;

E_y – seksiya EYK lari samarali qiymatlarining algebraik yig'indisi.

Amalda k_{soch} ning qiymati birinchi garmonika uchun EYK formulasidan topiladi, ya'ni

$$k_{\text{soch}} = \frac{\sin q \frac{\alpha}{2}}{q \sin \frac{\alpha}{2}}, \quad (6.6)$$

bunda: α va q – chulg'am uchun aniq bo'lgan, ya'ni berilgan parametrlar.

Chulg'amning sochilish koeffitsiyenti, odatda, birdan kichik bo'lgani uchun sochilgan chulg'am fazasida yig'ishtirilgan chulg'amnikiga nisbatan kichikroq EYK hosil bo'ladi.

Shunga ko'ra:

$$E_{\text{soch}} = 4,4 k_{\text{soch}} w f \Phi, \text{ V.}$$

6.5. Statorning uch fazali chulg'ami

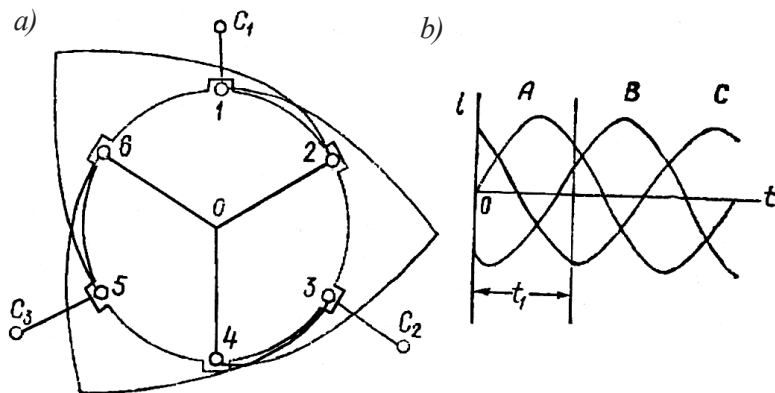
Stator pazlariga boshlari bir-biridan $\frac{2}{3}\tau$ ga yoki 120° elektr grausga farq qiluvchi uchta bir fazali chulg'amni joylashtirib, ularni yulduz yoki uchburchaklik sxemasida ulansa, uch fazali chulg'am hosil qilinadi. Bir juft qutbli mashinaning uch fazali chulg'ami eng oddiy sxemada uchta g'altakdan iborat bo'ladi. Sinxron generatorlar uchun, amalda, ikki qatlamli, qadami qisqartirilgan sochilgan chulg'am sxemasi qo'llaniladi. Chulg'am qadamini qisqartirish bilan EYK egri chizig'ining shakli yaxshilanadi (sinusoidaga yaqinlashadi) va seksiyaning pazdan tashqi qismiga sarflanadigan mis simlar tejaladi.

6.6. Statorning magnit maydoni

Simmetrik yuklmaga ulangan uch fazali sinxron generatorning fazaviy simmetrik chulg'amlaridan bir xil qiymatli, fazasi esa bir-biridan 120° elektr gradusga farq qiluvchi toklar o'tadi. Bu toklardan stator o'zagining gardishi bo'yicha aylanuvchi magnit maydon hosil bo'ladi va u rotor bilan bir tomonga va bir xil tezlikda aylanadi. Buni har bir fazasi bir o'ramdan iborat bo'lgan oddiy uch fazali chulg'am sxemasida ko'rish mumkin. 6.7-rasmda statorning yulduz sxemasi bilan ulangan chulg'ami va bu chulg'amdagi uch fazali toklarning grafigi ko'rsatilgan.

Tokning bir marta to'la o'zgarish davrining 6.7-rasmda ko'rsatilgan $t=0$, $t=t_1$ va hokazo momentlarida uch fazali tokdan hosil bo'lgan bir juft qutbli magnit maydonlar aylanuvchi xarakterga ega bo'ladi (6.8-rasm).

$t=0$ bo'lganda A fazada nol, B da manfiy, C da esa musbat qiymatli tok bo'ladi. B va C fazalaridagi tokdan hosil bo'gan magnit maydonning yo'nalishi parma qoidasiga binoan aniqlanadi.



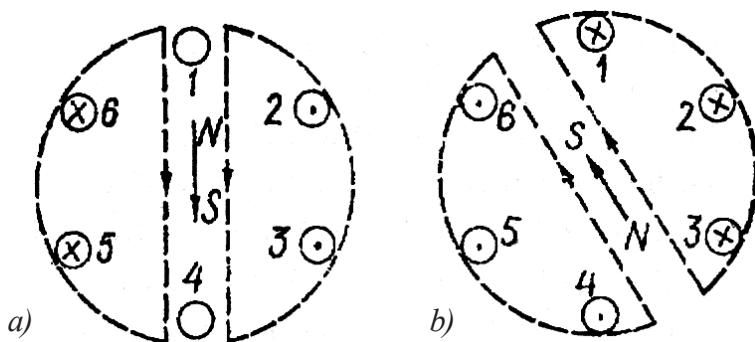
6.7-rasm. a) stator chulg'amini yulduz sxemasi bilan ulash; b) stator chulg'amidagi uch fazali tokning grafigi.

Shu singari $t=t_1$ bo'lganda uch fazali tokdan hosil bo'lgan magnit maydoni $t=0$ dagiga nisbatan ma'lum burchakka burilgan. Chulg'amdagi tokning bir marta to'la o'zgarish davrida uch fazali tokdan hosil bo'lgan magnit maydon 360 elektr gradusiga aylanganligi sababli bu magnit maydonning aylanish chastotasi tok chastotasiga teng bo'ladi. Demak, uch fazali tokning chastotasi $f=50$ Hz bo'lsa, u holda bu tokdan hosil bo'lgan magnit maydon bir sekunda 50 marta aylanadi. Stator chulg'amidagi tokdan hosil bo'lgan aylanuvchi magnit maydonning aylanish chastotasi *sinxron chastota* deb ataladi, u umumiy holda quyidagicha aniqlanadi:

$$n = \frac{60f}{p}, \quad (6.7)$$

bunda: p – rotordagi juft qutblar soni;

f – juft magnit qutblar soni p bo'lgan rotorni n chastota bilan aylantirish natijasida statorning faza chulg'amida hosil bo'lgan tokning chastotasi.



6.8-rasm. Stator chulg'amida uch fazali tokdan hosil bo'ladigan aylanuvchi magnit maydoni:

a) t_0 ; b) t_1 momentlarda magnit maydonning holatlari.

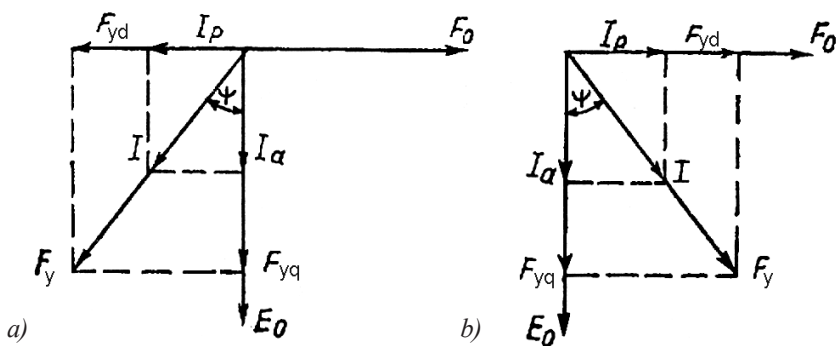
Demak, sinxron generator statorida hosil bo'lgan magnit maydonning aylanish chastotasi bilan rotorning aylanish chastotasi bir-biriga teng, ya'ni sinxron bo'ladi. Sinxron so'zi umuman turli hodisalarning bir xil chastotada va bir vaqtda sodir bo'lishini anglatadi. Sinxron generatorning stator va rotor chulg'amlaridagi toklardan hosil bo'lgan magnit oqimlar bir tomonga va bir xil chastotada aylanishlari sababli ularni o'zaro qo'shish yoki ayirish mumkin.

6.7. Yakor reaksiyasi

Generatorning EYK hosil qilinadigan chulg'ami yakor chulg'ami deb atalgani uchun sinxron generatorning stator chulg'ami ham *yakor chulg'ami* deb ataladi. Shu sababli, statordagi tokdan hosil bo'lgan aylanuvchi magnit maydonning rotot qutblaridagi asosiy magnit maydonga bo'lgan ta'siri *yakor reaksiyasi* deyiladi. O'zgarmas tok mashinalaridagi yakor reaksiyasi yuklama toki-ning qiymati bilan aniqlansa, sinxron generatorlardagi yakor reaksiyasi yuklama tokining qiymati hamda uning xarakteri bilan

aniqlanadi. Sinxron generatorlar, odatda, $\cos\varphi=0,8$ bo'lgan aktiv-induktiv xarakterdagi yuklamada ishlaydi deb hisoblanadi. Yuklamaning induktiv qismi qancha katta bo'lsa, $\cos\varphi$ qiymati shuncha kichik bo'lib, yakor reaksiyasining magnitsizlantirish ta'siri shuncha katta bo'ladi. Natijada umumiy magnit oqimning qiymati kamayib, sinxron generatorning kuchlanishi pasayadi.

Yakor reaksiyasining magnitsizlantirish ta'sirini yo'qotish uchun rotor chulg'amidagi qo'zg'atish tokini ko'paytirish kifoya. Ammo qo'zg'atish tokini nominalga nisbatan ko'paytirish bilan qo'zg'atuvchi chulg'amni xavfli darajagacha qizitib yuborishi mumkin. Yuklama tokining induktiv qismidan hosil bo'lgan bo'ylama magnit oqim rotordagi asosiy magnit oqimga teskari yo'nalib, uni kamaytiradi. Aktiv qismidan hosil bo'lgan ko'dalang magnit oqim asosiy magnit oqimni qiyshaytirib, qutbning bir tomonida umumiy magnit oqimni zo'raytirsa, uning ikkinchi bir tomonidagisini sustlashtiradi. 6.9-rasmda sinxron generator magnit yurituvchi kuchlarining: a) aktiv-induktiv va b) aktiv-sig'im yuklamalardagi vektor diagrammalari ko'rsatilgan.



6.9-rasm. Sinxron generatordagi magnit yurituvchi kuchlarning vektor diagrammalari.

Rotor chulgʻamidagi tokdan uning qutblarida magnit yurituvchi kuch F_0 hosil boʻlad. F_0 vektorining aylantirilishi natijasida stator chulgʻamalarida EYK E_0 va, demak, yuklama toki I hosil boʻladi. Aktiv-induktiv yuklamada I vektori E_0 ga nisbatan ψ burchagiga keyinda qoluvchi, aktiv sigʻim yuklamada esa ψ burchagiga oʻzuvchi boʻlib, uning qiymati $0^\circ < \psi < 90^\circ$ boʻladi.

Yuklama tokidan hosil boʻlgan yakor magnit yurituvchi kuchi F_y ning vektori tok vektori tomon yoʻnalgan boʻladi. Magnit yurituvchi kuchning F_{yd} qismi yuklama toki vektorining induktiv I_r , koʻndalang F_{yq} qismi esa yuklama toki vektorining aktiv I_a qismlari tomon yoʻnalgan boʻladi. Aktiv-induktiv xarakterdagi yuklamada yakor magnit yurituvchi kuchining boʻylama F_{yd} qismi F_0 ga teskari yoʻnalib, generator magnitsizlantirilsa, aktiv-sigʻim yuklamada esa F_0 ga mos yoʻnalib, generator magnitlantiriladi.

Asinxron motorning elektromagnit quvvati va aylantiruvchi momenti

Maʼlumki, aylantiruvchi momentning burchak tezligiga koʻpaytmasi quvvatni beradi, yaʼni

$$P = M\omega. \quad (6.8)$$

Asinxron motorlarda esa elektromagnit momentni stator magnit maydonining burchak tezligiga koʻpaytmasi elektromagnit quvvat deyilib, quidagicha aniqlanadi :

$$P_{em} = M_{em}\omega_0, \quad (6.9)$$

bu yerda: ω_0 – aylanuvchan magnit oqimning burchak tezligi.

Elektromagnit quvvat rotorga aylanuvchan magnit oqim yordamida uzatilgani uchun aylanuvchan magnit oqimning burchak tezligi orqali ifodalanadi.

Motorning validagi mexanik quvvat rotor burchak tezligining elektromagnit momentiga ko'paytmasiga tengdir:

$$P_{\text{em}} = M_{\text{em}} \omega_0. \quad (6.10)$$

Agar rotorning po'lat o'zagida magnitlash uchun sarf bo'layotgan quvvat isrofi rotor chulg'amlaridagi quvvat isrofidan ancha kichik bo'lganligi uchun hisobga olinmasa, u holda:

$$P_{\text{em}} - P_{\text{mex}} = \Delta P_{\text{chul}} = 3I_2^2 R_2 \quad (6.11)$$

yoki

$$M_{\text{em}} (\omega_0 - \omega) = 3I_2^2 R_2.$$

Bundan elektromagnit moment quydagicha aniqlanadi:

$$M_{\text{em}} = \frac{3I_2^2 R_2}{S \omega_0}, \quad (6.12)$$

bu yerda: I_2 – rotor toki, A;

R_2 – rotor chulg'aming qارشiligi, Ω .

U holda elektromagnit quvvat

$$P_{\text{em}} = \frac{3I_2^2 R_2}{S}. \quad (6.13)$$

Agar $3I_2^2 R_2 = 3E_2 I_2 \cos(E_2 I_2) = 3E_2 I_2 \cos \varphi$ ekanligini hisobga olsak, u holda ishqalanish momentini hisobga olmagan holda

$$M_{\text{em}} = \frac{3E_2 I_2 \cos \varphi_2}{\omega_{11} S}$$

yoki

$$M_{\text{em}} = \frac{3 \cdot 4,44 \omega_2 f_2 K_{r2} \Phi_M I_2 \cos \varphi_2}{S} = C \Phi_M I_2 \cos \varphi_2. \quad (6.14)$$

bu yerda: $C = 3 \cdot 4,44 \cdot f_2 \omega_2 \frac{K_{r2}}{\omega}$ – o'zgarmas koeffi siyent.

Demak, asinxron motorning aylantiruvchi momenti rotor tokiga, magnit oqimining amplituda qiymatiga hamda rotor toki

bilan EYK orasidagi burchak kosinusiga to'g'ri proporsional ekan. (6.14) dagi $I_2 \cos \varphi_2 = I_{2a}$ ifoda rotor tokining aktiv tashkil etuvchisi ekanligini hisobga olsak, $M_{em} = S \Phi_m I_{2a}$ bo'ladi, ya'ni asinxron motorda aylantiruvchi moment rotor tokining aktiv tashkil etuvchisi yordamida hosil bo'ladi.

(6.12) ifodadan shu narsa ko'rinib turibdiki, agar asinxron motorning rotorini tormozlansa, barcha elektromagnit quvvat issiqlik energiyasi sifatida ajralib chiqib boshlaydi.

Nominal rejim ($S_{nom} = 0,02 \div 0,06$) asinxron motorda hosil bo'layotgan elektromagnit quvvatning $0,94 \div 0,98$ ulushi mexanik quvvat sifatida, o'zina ($0,02 \div 0,06$) ulushi esa issiqlik energiyasi sifatida ajralib chiqadi.

Asinxron motorning aylantiruvchi momenti. Agar mexanik ishqalanishlar tufayli vujudga keladigan qarshilik momenti ΔM_{mex} ni hisobga olmasak, $M_{em} = M$ deyish mumkin,

U holda

$$M = C \Phi_m P \cos \Phi_2. \quad (6.15)$$

Agar

$$\Phi_m = \frac{E_1}{4,44 w_1 f_1 K_{r1}}; \quad I_2 = \frac{E_1 s}{K \sqrt{R_2^2 + (x_2 s)^2}};$$

$$E_2 = \frac{E_1}{K}; \quad \cos \varphi_2 = \frac{R_2}{\sqrt{R_2^2 + (x_2 s)^2}}$$

ekanligini hisobga olib, ularni (6.15) ga quysak, quydagini hosil qilamiz:

$$M = C_1 E_1^2 s \frac{R_2}{\sqrt{R_2^2 + (x_2 s)^2}}. \quad (6.16)$$

Stator chulgamlarida kuchlanishning pasayishini hisobga olmasak ($E_1 \approx U_1$), quydagini yozish mumkin:

$$M = C_1 U_1^2 s \frac{R_2}{\sqrt{R_2^2 + (x_2 s)^2}}, \quad (6.17)$$

bu erda: $R_1^2 = \frac{R_2}{s}$.

(9.17) ifodadan ko‘rinib turibdiki, asinxron motorning validagi aylantiruvchi momentning qiymati manba kuchlanishining kvadratiga va sirpanishga bog‘liq ekan. Demak, kuchlanishning ozgina o‘zgarishi momentning keskin o‘zgarishiga sabab bo‘ladi.

1. $S=0$, $n_2=n_1$ bo‘lganda, ya’ni ideal salt ishlash rejimida $M=0$ bo‘lib, rotor tormozlanadi.

2. $S=1$, $n_2=0$ bo‘lganda esa aylantiruvchi moment ishga tushirish momenti deyiladi:

$$M_{\text{ish.t}} = C_1 U_1^2 s \frac{R_2}{\sqrt{R_2^2 + (x_2 s)^2}}. \quad (6.18)$$

Asinxron motorning hosil qilish mumkin bo‘lgan maksimal (kritik) momentini topish uchun (6.18) ifodadan sirpanish S bo‘yicha hosila olib, uni nolga tenglashtiramiz, ya’ni

$$\frac{dM}{ds} = C_1 U_1^2 R_2 \frac{R_2^2 + (x_2 s)^2}{(R_2^2 + (x_2 s)^2)^2} = 0.$$

Bundan

$$S_{kp} = \pm \frac{R_2}{x_2}. \quad (6.19)$$

Asinxron mashina motor rejimida ishlaganda $S_{kr} > 0$ bo‘ladi. Kritik sirpanish qiymatini hisobga olgan holda motorning maksimal momentini aniqlash mumkin:

$$M_{KR} = C_1 U_1^2 \frac{1}{2x_2}. \quad (6.20)$$

Agar asinxron motorda $X_2 \approx 5R_2$ ekanligini hisobga oladigan bo‘lsak, $S_{kr}=0,2$ bo‘ladi. (6.19), (6.20) va (6.21) ifodalarni birga-

likda yechib, motorning aylantiruvchi momentining quydagi sod-dalashtirilgan ifodasini yozish mumkin:

$$M = \frac{2M_{KR}}{\frac{S}{S_{kr}} + \frac{S_{KR}}{S}}. \quad (6.21)$$

Ushbu ifodadan sirpanishning nominal qiymatini hisobga olgan holda kritik sirpanishni aniqlash mumkin:

$$S_{kr} = S_{nom} (\lambda + \sqrt{\lambda^2 - 1}), \quad (6.22)$$

bu yerda: $s_{nom} = \frac{n_1 - n_{nom}}{n_1}$ – sirpanishning nominal qiymati;

$$\lambda = \frac{M_{KR}}{M_{NOM}} - \text{yuklash koeffitsiyenti.}$$

Faza rotorli asinxron motorlarda rotor chulg'amiga qo'shimcha qarshilik ulangani uchun aylantiruvchi moment quydagicha aniqlanadi:

$$M = C_1 U_1^2 s = \frac{R_2 + R_p}{(R_2 + R_p)^2 + (x_2 s)^2}. \quad (6.23)$$

Chulg'amning aktiv qarshiligini hisobga olib qurilgan xarakteristika *tabiy xarakteristika*, qo'shimcha qarshilik qiymatini hisobga olib qurilgan xarakteristika *sun'iy* yoki *reostat xarakteristika* deyiladi.

NAZORAT SAVOLLARI:

1. O'zgaruvchan tok mashinalari qanday turlarga bo'linadi?
2. Sinxron mashinasining rotor qanday turlarda tayyorlanadi?
3. O'zgaruvchan tok mashinalari qanday qismlardan iborat?
4. O'zgaruvchan tok mashinasining chulg'amlaridagi z , m , p , va q parametrlar nimani anglatadi?
5. O'zgaruvchan tok mashinasining statoridagi uch fazali chulg'ami qanday joylashtiriladi?
6. Yakor reaksiyasi nima?

7-bo'lim. ELEKTR YURITMALAR VA ULARNI AVTOMATIK BOSHQARISH

7.1. Elektr yuritma va uning ta'rifi

Har bir takomillashgan mashina uchta asosiy qismdan, ya'ni motor-mashina, uzatma va qurol-mashinadan iborat bo'ladi. Bunday takomillashgan mashina *ishlab chiqarish agregati* deb, uning uchinchi qismi – qurol-mashina esa *ish mashinasi* yoki *ish mexanizmi* deb ataladi. Ish mashinasi yoki mexanizmini berilgan tezlik bilan harakatlantiruvchi motor, uzatma va ularni boshqaruvchi sistema birgalikda *yuritma* deb ataladi. Mexanik harakat manbalarining turiga binoan yuritmalar qo'l, ot va mexanik yuritmalarga bo'linadi. Suv va bug' turbinalari hamda shamol, ichki yonuv va elektr motorlari bilan harakatlanuvchi yuritmalar *mexanik yuritmalar* deb ataladi. Mexanik yuritmalardan eng afzali elektr motorli yuritma bo'lgani uchun statsionar ish mashinasi va mexanizmlarining asosiy yuritmasi sifatida elektr motorli yuritmadan foydalaniladi. Elektr motorli yuritma qisqacha *elektr yuritma* deb ataladi.

Elektr yuritma bilan elektr energiyasi mexanik energiyaga aylantiriladi, bu mexanik harakatni elektr usulda boshqarish imkonini beradi. Demak, elektr yuritma asosan elektr motori, uzatma va motorni boshqaruvchi elektr apparatlardan iborat bo'ladi.

7.2. Elektr yuritmalar tasnifi

Elektr motori bilan harakatga keltiriladigan ish mashinalarining yoki ishlab chiqarish agregatlaridagi elektr motorlarning soniga qarab elektr yuritmalar transmissiyali, yakka motorli va

ko'p motorli yuritmalarga bo'linadi. Transmissiyali elektr yuritma o'z navbatida umumtransmissiyali va guruhli, yakka motorli elektr yuritma esa odsiy va individual yakka motorli, ko'p motorli elektr yuritma ham oddiy va individual ko'p motorli yuritmalarga bo'linishi mumkin. Boshqarilish usuliga binoan elektr yuritmalar avtomatlashtirilgan va avtomatlashtirilmagan, texnologik talab hamda motor xususiyatlariga qarab esa rostlanadigan va rostlanmaydigan yuritmalarga bo'linadi.

Boshqarish apparatlari bilan avtomatik ravishda ishga tushiriladigan, to'xtatiladigan va berilgan chastota, tok yoki momentni o'zgartirmay saqlab turadigan yuritma *avtomatlashtirilgan elektr yuritma* deb ataladi.

Texnologik talablarga binoan chastotasi keng miqyosda o'zgartiriladigan yuritma *rostlanuvchi elektr yuritma* deb ataladi. Avtomatlashtirilgan va rostlanuvchi elektr yuritmada yuqoridagi uch asosiy qismlardan tashqari o'zgartgich deb ataladigan qism ham bo'lishi mumkin.

Avtomatlashtirilgan elektr yuritma bilan texnologik jarayonni takomillashtirish, uning talablarini to'la qondirish, ish unumini ko'tarish, mahsulot sifatini yaxshilash, uning tannarxini pasaytirish imkonlari yaratiladi.

7.3. Elektr yuritmalarning o'tkinchi rejimlari

Elektr yuritmaning bir turg'un holatdan ikkinchisiga o'tish jarayonidagi ish rejimi uning *o'tkinchi rejimi* deb ataladi.

Elektr yuritmani ishga tushirish, tormozlab to'xtatish, harakat yo'nalishini o'zgartirish kabi jarayonlar uning o'tkinchi rejimi hisoblanadi. Yuklamaning elektr tarmog'idagi kuchlanish yoki tok chastotasining keskin o'zgarishida ham elektr yuritma o'tkinchi rejimda ishlaydi. O'tkinchi rejimni yaxshi o'rganish bilan-gina elektr yuritmalar uchun motor va uni avtomatik boshqarish apparatlarini to'g'ri tanlash imkoni olinadi. Kamdan-kam ishga tushiriladigan va uzoq vaqt ishlaydigan elektr yuritmalardagina

(nasos, ventilator va shu kabilarda) o'tkinchi rejim aytarliq ahamiyatga ega bo'lmaydi.

Elektr yuritmani ishga tushirish va to'xtatish kabi o'tkinchi rejim davrlarini o'zgartirish bilan texnologiyani takomillashtirish va, demak, ish mashinasi unumini ko'tarish, mahsulot sifatini yaxshilash imkoni olinadi. Elektr yuritmaning o'tkinchi rejimi uning elektr va mexanik o'tkinchi jarayonlarining birgalikda yoki alohida o'tishi bilan xarakterlanadi.

Bunday rejim elektr motori va ish mexanizmining dinamikasi bilan bevosita bog'liq bo'lgani sababli, elektr yuritmalardagi o'tkinchi rejimni elektromexanik, elektromagnit va mexanik jarayonlarga bo'lish mumkin.

Elektromexanik o'tkinchi jarayonda elektr va mexanik parametrlarning o'zgarishi hisobga olinadi. Ammo xususiy hollarda, masalan, motor elektr zanjiriga ulanganda u darhol harakatlana olmaydi va bunda magnit oqimi o'zining nominal qiymatiga erishgunga qadar faqat elektromagnit jarayongina sodir bo'lib, yakor aylangandan keyingina mexanik o'tkinchi jarayon sodir bo'ladi.

7.4. Elektr yuritmaning ish rejimlari

Elektr yuritma yuklamasi, ko'pincha, o'zgaruvchan bo'ladi. Ammo u uzoq muddatli o'zgarmas yoki o'zgaruvchan yuklamada hamda qisqa muddatli va takrorlanuvchi qisqa muddatli rejimlarda ham ishlaydi. 7.1-a rasmda uzoq muddatli o'zgarmas yuklama bilan ishlaydigan ish mashinasining yuklama diagrammasi ko'rsatilgan. Bunday yuklama rejimini, ko'pincha, ventilator, nasos, transportyor kabi mexanizmlarda uchratish mumkin. Uzoq muddatli ish rejimida motor o'zining normal haroratigacha qiziy oladi. 7.1-b rasmda qisqa muddatli ish rejimiga tegishli yuklama diagrammasi ko'rsatilgan. Bunda t_1 ish vaqtida P_1 quvvatga tanlangan motor o'zining normal haroratigacha qiziy olmaydi.

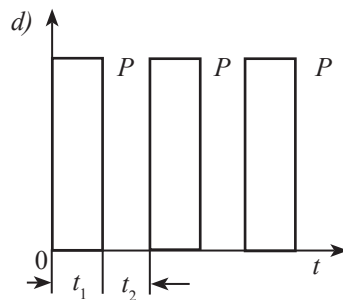
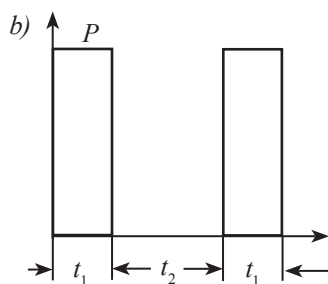
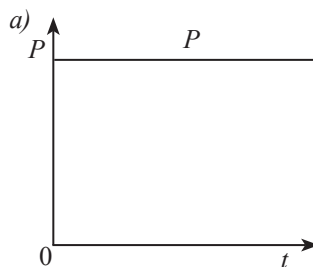
Ammo elektr tarmogʻidan ajratilgan motor harorati t_2 davrda (pauza) tashqi muhit haroratigacha soviy oladi.

Tashqi muhit harorati, odatda, 35° ga teng deb qabul qilinadi. Qisqa muddatli ish rejimi koʻpchilik stanoklarning yordamchi mexanizmlari va shu kabilarda uchraydi.

7.1-d rasmda takrorlanuvchi qisqa muddatli ish rejimiga tegishli yuklama diagrammasi koʻrsatilgan. Bunda P_2 quvvatga tanlangan motor ish davrida oʻzining normal haroratigacha qiziy olmaydi, t_2 da esa uning harorati tashqi muhitnikigacha soviy olmaydi. Bunday ish rejimi, koʻpincha, kran va stanoklarda uchraydi.

7.5. Elektr yuritmaning avtomatik boshqarish apparatlari

Zamonaviy elektr yuritmalardagi motorni berilgan tezlanishda ishga tushirish, berilgan ishlash chashtotasini oʻzgartirmay saqlash, reverslash va uni berilgan sekinlanishda tormozlab toʻxtatish kabi murakkab vazifalarni boshqaruvchi sistemaga tegishli turli xildagi avtomatik boshqarish apparatlari bajaradi. Motorlarni boshqarishda dastaki,



7.1. rasm. **Ish mashinasining:**

a) uzoq muddatli; b) qisqa muddatli; d) takrorlanuvchi qisqa muddatli rejimlardagi yuklama diagrammalari.

relekontaktorli, himoyalash, texnologik datchiklari, elektromagnit muftalar, elektr mashina kuchaytirgichlari va yarimo'tkazgichli kontaktisiz boshqarish asboblari, apparatlari va rostlagichlaridan keng foydalaniladi.

7.6. Dastaki boshqarish apparatlari

Bunday apparatlar qo'l bilan bevosita yoki mexanik uzatmalar yordamida harakatlantirilib, kuchlanishi 500 voltgacha bo'lgan o'zgaruvchan va o'zgarmas tok zanjirlarini uzib-ulab turish uchun qo'llaniladi. Dastaki boshqarish apparatlariga rubilnik (uzgich), paketli o'chirgich, barabanli almashlab ulagich, kontroller va shu kabilarni misol qilib ko'rsatish mumkin.

Bu apparatlar nisbatan katta gabarit va kichik boshqarish quvvatiga ega bo'lib, ularni harakatga keltirish uchun ancha katta qo'l kuchi talab qilinadi.

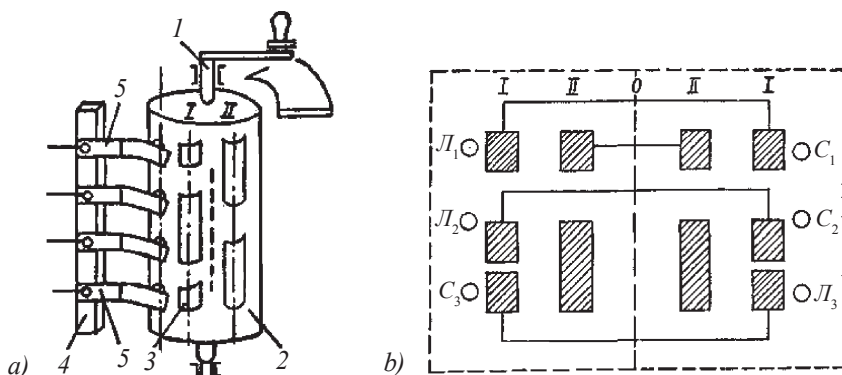
Nominal toki 1000 A gacha bo'lgan elektr zanjirlarini uzib-ulab turishda qo'llaniladigan eng oddiy asbob *rubilnik* deb ataladi. Rubilniklar bir, ikki va uch qutbli bo'ladi.

Qo'zg'aluvchi va qo'zg'almas kontaktlari o'zaro izolatsiyalangan paketlar ichiga o'rnatilgan apparatlar *paketli o'chirgich* deb ataladi. Bu apparatdan kichik va o'rtacha quvvatli qisqa tutashtirilgan rotorli asinxron motorlarni ishga tushirish, to'xtatish, ularni yulduz sxemasidan uchburchaklik sxemaga o'tkazishda foydalaniladi. Paketli o'chirgichlar ham bir yoki bir necha qutbli bo'lib, 220 V kuchlanishda, nominal toki 400 ampergacha bo'lgan zanjirlarni uzib-ulashda qo'llaniladi. Agar kuchlanish qiymati 380 V bo'lsa, apparatning nominal toki 40% ga kamaytirilishi kerak.

Bir vaqtda bir necha boshqaruvchi zanjirlarni uzib-ulab turishda hamda 3 kW gacha bo'lgan asinxron motorlarni boshqarishda qo'llaniladigan ko'p kontaktli dastaki apparat *barabanli almashlab ulagich* deb ataladi.

Kontrollerlar, asosan, barabanli va kulachokli bo'ladi. Barabanli kontroller o'zgaruvchan va o'zgarmas tok motorlarini ishga tushirish va ular chastotasini rostlashda qo'llaniladi.

Barabanli kontroller aylanuvchi va qo'zg'almas qismlardan (7.2-*a* rasm), aylanuvchi qism esa dasta 1 yordamida haroratlantiriladigan baraban 2 dan iborat bo'ladi. Barabanga mis yoki bronzadan qilingan kontakt 3 lar o'rnatilib, qo'zg'almas qismga esa izolatsiyalangan ustuncha 4 va unga prujinali kontakt barmoqlari 5 o'rnatilgan. Kommutatsiya paytida kontroller kontaktlari orasida hosil bo'ladigan uchqunlanishni tezda o'chirish uchun uchqun o'chiruvchi chulg'am qo'llaniladi. (7.2-*b* rasm)da barabanli kontrollerning yoyilma sxemasi ko'rsatilgan. Bunday sxemada kontakt barmoqlari aylana yoki nuqta bilan belgilanadi.



d)

Kontaktlar	Uzgich-ulagich holatlari		
	I	O	II
J_1-C_1	×	—	×
J_2-C_2	×	—	—
J_3-C_3	×	—	—
J_2-C_3	—	—	×
J_3-C_2	—	—	×

7.2-rasm. Barabanli kontroller:
a) tuzilishi; b) yoyilma sxemasi;
d) kontaktlarning ulanish jadvali.

Agar kontroller barabanini, I, II yoki 0 holatlarga aylantirib qo'yilsa, unda barabanga o'rnatilgan qo'zg'aluvchi kontaktlar qo'zg'almas kontaktlar bilan turli sxemalar asosida qo'shilishadi. Kontrollerning qo'zg'almas $\mathcal{M}_1$, $\mathcal{M}_2$ va $\mathcal{M}_3$ kontaktlarini elektr tarmog'iga, qo'zg'aluvchi C_1 , C_2 va C_3 kontaktlarini esa asinxron motorning stator chulg'amiga ulanishi sababli u 0 dan 1 holatga o'tkazilsa, motor bir tomonga, II ga o'tkazilganda, teskari tomonga aylanadi, ya'ni reverslanadi.

Kontrollerlar sxemasida, ko'pincha, qo'zg'almas kontaktlarning ulanish jadvali beriladi (7.2-d rasm). Bunda $\times$ – kontaktlarning qo'shilganligini, $(-)$ esa kontaktlarning uzilganligini ifodalaydigan belgilar. Barabanli kontrollerlar bilan ko'p chastotali motorlarni boshqarish imkoni ham bo'ladi. Ammo bunday kontrollerlarning ulanish soni soatiga 120 dan ortiq bo'lmasligi kerak, aks holda, ularning kontaktlari ishga yaramasdan qoladi. Shu sababli ulanish soni yuqori bo'lganda, yuklama tokini birmuncha kamaytirish lozim yoki boshqa tipdagi, ya'ni kulachokli kontrollerdan foydalanish kerak. Kulachokli kontrollerlarda qo'zg'almas va qo'zg'aluvchan kontaktlarning bir-biriga nisbatan yumalanib kontakt hosil qilishi sababli, ularda ulanish soni katta bo'lganda ham kommutatsiya sharoiti qoniqarli bo'ladi.

7.7. Rele-kontaktorli boshqarish apparatlari

Dastaki boshqarish apparatlari kontaktlari tez mexanik yemirilganligidan ularning xizmat davri ham qisqadir. Masalan, rubilniklarning o'rtacha xizmat davri 5000 marta ulanish bilan, barabanli almashlab ulagichlarniki 2500 marta ulanish bilan xarakterlansa, kontaktorlarniki esa bir necha million marta ulanish bilan xarakterlanadi. Kelgusida eng katta istiqbolga ega bo'lgan yarim-o'tkazgichli kontaktsiz apparatlar va mantiqiy elementlarning xizmat davri juda katta ulanish sonlariga ega bo'ladi. Hozirgi paytda avtomatik boshqarish uchun apparatlar

bilan birga elektr mashina va magnit kuchaytirgichlar hamda turli tipdagi ventil asboblardan foydalanilmoqda.

Elektr zanjirini soatiga 1500 martagacha uzib-ulaydigan elektromagnit apparat *kontaktor* deb ataladi. Bu apparatlarni tugmalar bilan turli masofadan boshqarish mumkin. Kontaktorlarni o'zgarmas va o'zgaruvchan tokka mo'ljallab, bir va bir necha qutbli qilib, ularning kontaktlarini tutashadigan va ajradigan tuzilishlarga ega qilib chiqarish mumkin. Elektromagnit apparatlar chulg'amiga tok berilmagan holat ularning *normal holati* deb ataladi.

7.8. Elektr yuritmalarni avtomatik boshqarish sxemalari

Elektr yuritma va ish mashinasidan samarali foydalanish yo'li bilan mehnat unumini oshirish, mahsulot tannarxini kamaytirish uchun elektr motorni ishga tushirish, tormozlab to'xtatish, reverslash kabi o'tkinchi rejimlarni va turg'un chastotada aylanish jarayonlarini eng yaxshi ko'rsatkichlar bilan, ya'ni optimal sur'atda o'tkazish zarur. Buning uchun elektr yuritmalarni avtomatlashtirish lozim. Elektr yuritmalarni avtomatlashtirish, ayniqsa, ularning qisqa muddatli ish rejimlarida katta ahamiyatga ega. Haqiqatan, bunday rejimda ishlaydigan, masalan, bo'ylama randalash stanoklari va prokat stanoklari elektr yuritmalari ish siklining 30–40% ini o'tkinchi jarayonlar tashkil qiladi. Bunday ish mashinalari uchun avtomatlashtirilgan elektr yuritmadan foydalanilsa, elektr motorining optimal ko'rsatkichlar asosida avtomatik boshqarish natijasida o'tkinchi jarayonlar uchun ketadigan vaqt keskin kamayadi, texnologik jarayonni takomillashtirishga imkoniyatlar yaratiladi. Elektr yuritmani avtomatlashtirish uchun boshqarish apparatlari asosida tuzilgan boshqarish sxemalaridan foydalaniladi. Avtomatik boshqarishda boshlang'ich buyruq operatorning tugmani bosishi yoki buyruq-

kontrollerni berilgan holatga o'tkazish bilan beriladi. Shundan keyin elektr yuritma belgilangan qonun asosida ishlay boshlaydi.

Elektr yuritmalarni avtomatik boshqarish uchun ochiq va berk sistemalar asosida tuzilgan boshqarish sxemalaridan foydalaniladi. Ochiq boshqarish sistemalarida tok manbayi yoki yuklama parametrlari o'zgartiriladi va elektr yuritma yangi ko'rsatkichlar bilan ishlay boshlaydi. Berk boshqarish sistemalarida esa teskari bog'lanish zanjiri bo'lib, shu tababli yuritma doimo berilgan ko'rsatkichlar bilan ishlaydi.

7.9. Avtomatik boshqarish sxemalarining tuzilishi

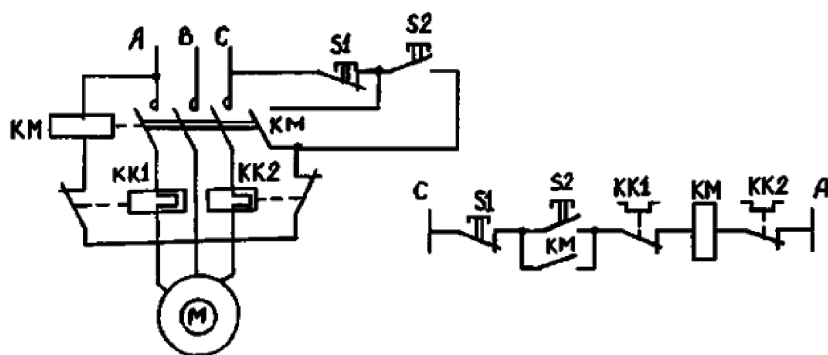
Murakkab boshqarish sxemalarida juda ko'p asbob va apparatlar ishlatiladi va shu sababli sxema ishini tez va oson tushunib, uni to'g'ri talqin qilish uchun sxema elementlari halqaro standartlashdagi shartli belgilar bilan belgilab chiqilishi lozim. Sxemalarda elementlarning normal holatlariga tegishli belgilar ko'rsatiladi. Kontaktorning qo'zg'atish chulg'amiga tok berilmagandagi va, demak, bosh kontaktlarining ochiq bo'lgan holati uning *normal holati* deb ataladi. Komanda (buyruq) beruvchi apparatlar, masalan, tugma, kontroller va turli datchiklarning kontaktli yoki kontaktsiz sistemalari holatining tashqi ta'sir natijasidan ilgarigi (dastlabki) holati ularning *normal holati* deb ataladi. Bir xildagi apparatlarni bir-biridan ajratish uchun ular bir necha bosh harflar bilan belgilanadi. Bunda birinchi harf apparatning nomiga taalluqli bo'lsa, boshqalari uning sxemadagi vazifasiga taalluqli bo'ladi. Masalan, KM – magnitli kontaktor va bu kontaktor bilan bosh zanjir liniyasi tutashtiriladi. Agar sxemada bir xil elementlar bir xil vazifalarni bajarsa, ularning harfiy belgilari yoniga sonlar qo'yiladi, masalan, KM1, KM2 va hokazo.

Sxemalardagi apparatlarga tegishli turli elementlar shu apparatlar belgisi bilan ifodalanadi. Masalan, magnit kontaktori chulg'ami KM bilan belgilangan bo'lsa, u holda bu kontaktorga

tegishli bo'lgan bosh va blok kontaktlar ham KM bilan belgilanadi. Elektr sxemalarda bosh va boshqarish zanjirlari bo'ladi. Elektr motorlarining yuklanish toki o'tuvchi yakor, rotor va stator chulg'amlari ularning bosh zanjirlari hisoblanadi. Bu zanjirlar boshqarish zanjiriga nisbatan yo'g'on chiziqlar bilan ifodalanadi; boshqarish zanjiriga esa boshqarish, signallash va nazorat qilish apparatlarining elementlari ulangan zanjirlar kiradi. Boshqarish sxemalari prinsipial (yoyilgan) va montaj sxemalari tarzida berilishi mumkin.

Yoyilgan sxemaning har bir elementi o'zining ulanish tartibiga binoan joylashgan bo'lib, bunda ishlash prinsipini oson tushunish hisobga olinadi, sxema elementlarining turar joyi esa hisobga olinmaydi.

7.3-rasmda asinxron motorni avtomatik boshqarish sxemasi ko'rsatilgan. Bunda sxemaning ishlash prinsipi, undagi apparatlarning bir-biriga ta'sirlari yaqqol ko'rinib turibdi. Shu sababli bunday sxema *prinsipial sxema* deyiladi. Boshqaruvchi apparatlarning panelga o'rnatilish tartibini hisobga olib tuzilgan sxema *montaj sxemasi* deyiladi. Bunday sxemadan boshqarish panellarini montaj qilishda foydalaniladi. Montaj sxemasini o'qish prinsipial sxemaga nisbatan ancha murakkab bo'ladi.

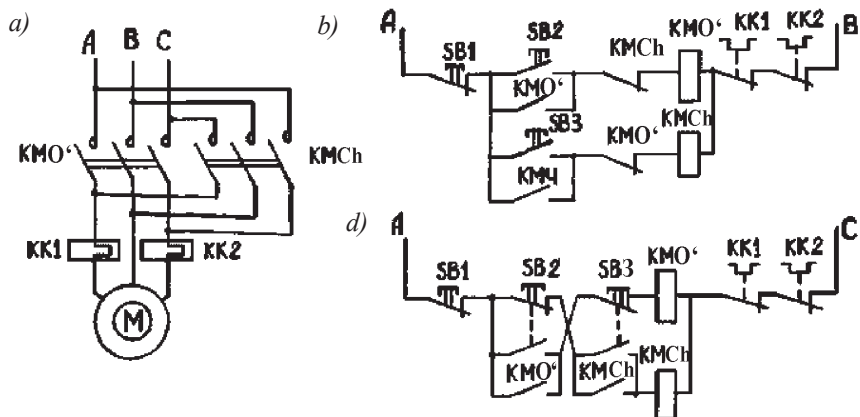


7.3-rasm. Asinxron motorni avtomatik boshqarishning prinsipial sxemalari.

7.10. Ochiq sistemali avtomatik boshqarish sxemalari

7.3-rasmda qisqa tutashtirilgan rotorli asinxron motorni magnet ishga tushirgich bilan bir tomonga boshqariladigan sxema ko'rsatilgan. Bunda xavfsizlik qoidasiga muvofiq motorni ishlatish paytidagina rubilnik R ulanadi, boshqa paytlarda esa ajratilib qo'yiladi. Shu sababli motorni ishga tushirish uchun C2 tugmasini bosish kifoya. Bunda quyidagidan iborat boshqarish zanjiri hosil bo'ladi: birinchi faza, issiqlik relelarining ajratuvchi KK1 va KK2 kontaktlari, kontaktorning qo'zg'atuvchi K1M chulg'ami, C2 tugmasini tutashtiruvchi kontakt, to'xtatish S1 tugmasini ajratuvchi kontakt va ikkinchi faza. Natijada magnitli ishga tushirgichning KM g'altagi qo'zg'atilib, uning bosh kontaktlari KM bilan motor elektr tarmog'iga ulanadi. Bunda kontaktorning blok kontakti KM bilan C2 tugmasi shuntlanishi sababli, uni bir onda bosib, songra boshatilsa ham motorning boshqarish zanjiri elektr tarmog'idan uzilmaydi. Motorni to'xtatish uchun C1 tugmasini bosish kifoya. Elektr tarmog'idagi kuchlanish biror sababga kora keskin kamayib yoki yo'q bo'lib qolsa, u holda ishlab turgan motor o'z-o'zidan to'xtab qoladi. Ammo kuchlanishning qiymati tiklangandan so'ng ham u o'z-o'zidan ishga tusha olmaydi. Motorni ishga tushirish uchun C2 tugmasini qayta bosish kerak. Demak, magnitli ishga tushirgichga ega sxema nol kuchlanish xavfidan himoyalangan bo'ladi. Sxemadagi issiqlik relei KK1 va KK2 motorning o'ta muddatli o'ta yuklanishi natijasida haddan tashqari qizib ketishdan himoyalaydi. Agar bu relening qizish elementi haddan tashqari qizib ketsa, u holda relening ajratuvchi kontaktlari KK1 va KK2 kontaktor KM chulg'amini toksiz qoldiradi va natijada motor elektr tarmog'idan ajratiladi.

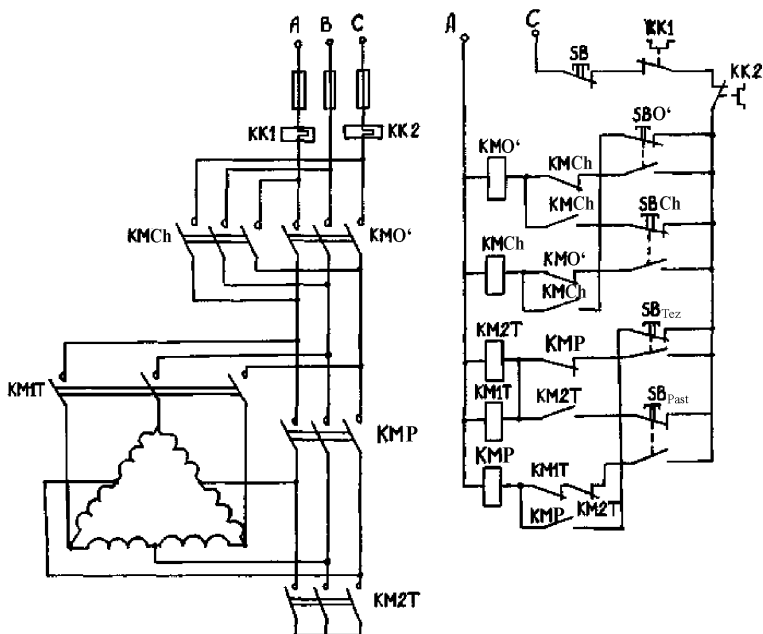
7.4-a rasmda reversiv rejimda ishlaydigan asinxron motorni avtomatik boshqarish sxemasi ko'rsatilgan. Bunda a – bosh zanjir, b va d – boshqarish zanjirlarining sxemalari; KMO' va KMCH – motorni o'ng va chap tomonlarga boshqaruvchi kontaktorlar; CB2 va CB3 – motorni ong va chap tomonlarga aylantirish uchun buyruq beruvchi tugmalar.



7.4-rasm. Reversiv rejimda ishlaydigan asinxron motori:

a) bosh zanjir sxemasi; b) va d) elektr blokirovkaga ega boshqarish sxemalari.

Motorning aylanish yoʻnalishini oʻzgartirib, boshqarish uchun KMOʻ va KMCH kontaktorlaridan iborat reversiv magnitli ishga tushirgichdan foydalaniladi. Reversiv magnitli ishga tushirgichdagi kontaktorlar bir ramaga oʻrnatilgan boʻlib, ular mexanik blokirovkaga ega boʻlishi shart. Agar biror sababga koʻra, bu kontaktorlarning asosiy kontaktlari bir vaqtda tutashib qolsa, u holda bosh zanjirning A va C fazalari oʻzaro qisqa tutashib, katta avariya sodir boʻlishi mumkin. Bunga yoʻl qoʻymaslik uchun boshqarish zanjiriga elektr blokirovka, yaʼni KMOʻ kontaktori zanjiriga, KMCH kontaktorining blok kontakti KMCH kiritilib, KMU kontaktorining zanjiriga esa, KMU kontaktorining blok kontakti KMU kiritiladi (7.4-b rasm). Natijada, motorni oʻng yoki chap tomonga aylantirish uchun buyruq berilganda, uni teskari tomonga ulab ishga tushiruvchi kontaktor zanjiri KMOʻ va KMCH blok kontaktlari bilan ochilib qoladi. 7.4-d rasmdagi sxemada boshqa xil elektr blokirovka koʻrsatilgan. Bunda oʻng tomonga aylantirish tugmasi bosilganda, uning ajratuvchi KMOʻ kontakti chulgʻam KMCH zanjirni ochib qoʻyadi va aksincha.



7.5-rasm. Elektr va mexanik blokirovkalarga ega bo'lgan ikki chastotali reversiv asinxron motorni boshqarish sxemasi.

Shu sababli bu sxemada ham ikkala tugma tasodifan bir paytda bosilib qolsa, motor elektr tarmog'iga ulana olmaydi va, demak, avariya sodir bo'lmaydi. Bu sxemada bir tomonga aylanib turgan motorni teskari tomonga aylantirish uchun o'sha tomon tugmasini bosish kifoya. 7.4-b rasmdagi sxemada esa motorni teskari tomonga aylantirish uchun dastavval uni to'xtatish, so'ngra boshqa tomon tugmasini bosish kerak. Elektr blokirovkalarda ajratuvchi kontaktlar biror sababga ko'ra zanjirni ajratmay qo'yishi mumkin. Shu sababli reversiv magnitli ishga tushirgich bilan boshqariluvchi sxemaning ishi ishonchli bo'lishi uchun elektr blokirovkadan tashqari, mexanik blokirovkadan ham foydalaniladi. Bunda ikkala kontaktorning qo'zg'aluvchi kontakt sistemalari bir-biriga maxsus richag bilan bog'langan bo'lib,

ular bir vaqtda tutasha olmaydi. Agar boshqarish sistemasi faqat mexanik blokirovkaga ega bo'lsa, u holda bir tomonga aylanib turgan motorni teskari tomonga aylantirish uchun dastavval uni to'xtatish tugmasini bosib to'xtashi, so'ngra teskari tomon tugmasini bosish lozim. Agar yanglishib motorni to'xtatmasdan turib teskari tomon tugmasi bosilsa, kontaktor chulg'amidan tok o'tishiga qaramasdan, u o'z yakorini torta olmaydi. Teskari tomon tugmasi uzoq vaqt yoki ketma-ket bosilaversa, kontaktorning chulg'amidan katta qiymatli tok o'tib, uni kuydirishi mumkin. Shu sababli reversiv magnitli ishga tushirgich sxemalarida mexanik blokirovkadan tashqari 7.4-*b* va *d* rasmlarda ko'rsatilgan elektr blokirovkadan ham foydalanish zarur. 7.5-rasmda elektr va mexanik blokirovkalarga ega bo'lgan ikki chastotali reversiv asinxron motorni boshqarish sxemasi ko'rsatilgan. Bunda motorni o'ng tomonga katta chastotada aylantirish uchun KMU va KTEZ tugmalarini bosish lozim. Motorni yuqori chastotadan past chastotaga o'tkazish uchun KPAST tugmasini bosish kifoya.

Motorni reverslash uchun KMCH tugmasi bosiladi. Bunda motor dastavval teskari ulanish rejimida tezda tormozlanib to'xtaydi va so'ngra teskari tomonga motor rejimida aylana boshlaydi.

NAZORAT SAVOLLARI:

1. Elektr yuritma deganda nimani tushunasiz?
2. Elektr yuritmalar tasnifini aytib bering.
3. Elektr yuritmalarda o'tkinchi rejimlar qachon yuzaga keladi?
4. Elektr yuritmaning ish rejimlarini o'rganish nima uchun kerak?
5. Elektr yuritmaning qanday avtomatik boshqarish apparatlari mavjud?
6. Elektr yuritmani avtomatik boshqarish sxemalari nimalardan iborat bo'lishi mumkin?

FOYDALANILGAN ADABIYOTLAR

1. *Majidov S. M.* Elektr mashinalari va yuritmalari. – T.: «O‘qituvchi», 2002. 358 b.
2. *Majidov S. M., Berdiyev U. T. va boshq.* Elektr mashina va elektr yuritmalardan praktikum. – T.: «O‘qituvchi», 2005. 175 b.
3. *Ibroximov U.* Elektr mashinalari. – T.: «O‘qituvchi», 1982. 372 b.
4. *Кацман М. М.* Электрические машины. – М.: «Высшая школа», 1990. 463 с.
5. *Berdiyev U. T., Tojiyev M. A.* Gidromeliorativ mashinalar elektr yuritmasi. – T.: TIMI tipografiyasi, 2008-y. 139 b.
6. *Berdiyev U. T., Tojiyev M. A., Erkinov B. N.* «Elektromexanika» fani bo‘yicha laboratoriya ishlarini bajarish uchun uslubiy ko‘rsatma. – T.: TIMI, 2006. 34 b.
7. *Иванов-Смоленский А. В.* Электрические машины. – М.: Энергия, 1980. 218 с.
8. *Александров Н.Н.* Электрические машины и микромашины. – М.: Энергоатомиздат, 1983. 240 с.
9. *Karimov A. S va boshqalar.* Elektrotexnika va elektronika asoslari. – T.: «O‘qituvchi», 1985. 358 b.
10. *Xomudxonov M., Majidov S. M.* Elektr yuritma va uni boshqarish asoslari. – T.: «O‘qituvchi», 1970. 284 b.

MUNDARIJA

Kirish	3
--------------	---

I bo'lim. ELEKTR MASHINALARI TO'G'RISIDA UMUMIY MA'LUMOTLAR

1.1. Elektr mashinalari va transformatorlarning rivojlanishi haqida tarixiy ma'lumotlar	6
1.2. Elektr mashinalarida energiyaning bir turdan ikkinchi turga aylanishi	8

2-bo'lim. KOLLEKTORLI O'ZGARMAS TOK MASHINALARI

2.1. O'zgarmas tok generatorining ishlash prinsipi.....	13
2.2. O'zgarmas tok mashinalari yakorlarining chulg'amlari	18
2.3. Oddiy kalava chulg'am.....	22
2.4. Yakor chulg'aming parallel shoxobchalari	27
2.5. Murakkab kalava chulg'am	30
2.6. Oddiy to'liqsimon chulg'am.....	32
2.7. Murakkab to'liqsimon chulg'am.....	36
2.8. «O'lik» seksiyali to'liqsimon chulg'am	38
2.9. Sun'iy yo'l bilan tutashtirilgan to'liqsimon chulg'am.....	39
2.10. Chulg'amning simmetrik bo'lish shartlari	41

3-bo'lim. O'ZGARMAS TOK MOTORLARI

3.1. O'zgarmas tok motorlarining mexanik xarakteristikasi.....	46
3.2. O'zgarmas tok motorlarini ishga tushirish.....	48
3.3. Elektr motorning tormoz rejimlari.....	51
3.4. Elektr motorlar chastotasini rostdash	53

4-bo'lim. TRANSFORMATORLAR

4.1. Transformatorlarning ishlash prinsipi va tuzilishi	63
4.2. Transformatorning ishlash prinsipi.....	65
4.3. Elektr yurituvchi kuchlar tenglamasi	66
4.4. Magnitlovchi kuchlar tenglamasi.....	69
4.5. Uch fazali transformator	73
4.6. Transformatorlarning parallel ishlashi.....	75
4.7. Chulg'amlarning ulanish sxemalari	77

5-bo'lim. TRANSFORMATORLARNING MAXSUS XILLARI

5.1. Uch chulg'amli transformator.....	82
5.2. Avtotransformatorlar	84
5.3. Payvandlash transformatorlari	87
5.4. Kuchlanish mo'tadillashtirgichi (stabilizator).....	90

6-bo'lim. O'ZGARUVCHAN TOK MASHINALARI

6.1. Umumiy tushunchalar.....	93
6.2. O'zgaruvchan tok mashinasining chulg'amlari.....	96
6.3. Sinxron generator stator chulg'amining elektryurituvchi kuchi.....	98
6.4. Statorning bir faza va bir qatlamli chulg'amlari	98
6.5. Statorning uch fazali chulg'ami	101
6.6. Statorning magnit maydoni.....	101
6.7. Yakor reaksiyasi.....	103

7-bo'lim. Elektr yuritmalar va ularni avtomatik boshqarish

7.1. Elektr yuritma va uning ta'rifi.....	110
7.2. Elektr yuritmalar tasnifi	110
7.3. Elektr yuritmalarning o'tkinchi rejimlari	111
7.4. Elektr yuritmaning ish rejimlari	112

7.5. Elektr yuritmaning avtomatik boshqarish apparatlari	113
7.6. Dastaki boshqarish apparatlari.....	114
7.7. Rele-kontaktorli boshqarish apparatlari	116
7.8. Elektr yuritmalarni avtomatikboshqarish sxemalari	117
7.9. Avtomatik boshqarish sxemalarining tuzilishi	118
7.10. Ochiq sistemali avtomatik boshqarish sxemalari.....	120
Foydalanilgan adabiyotlar	124

**Abdusaid Jalilovich ISAQOV, Marat Abbosovich TOJIYEV,
Bahodir Narimanovich ERKINOV**

**ELEKTR YURITMALARNI
AVTOMATIK BOSHQARUV**

Kasb-hunar kollejlari uchun o'quv qo'llanma

Qayta nashr

Toshkent – «Fan va texnologiya» – 2016

Muharrirlar; *N. G'oipov, S. Akramov*

Texnik muharrir; *D. Boboxonova*

Badiiy muharrir; *X. Yakubov*

Musahhih; *M. Hayitova*

Kompyuterda sahifalovchi; *Ye. Belyatskaya*

E-mail: tipografiyacent@mail.ru Tel: 245-57-63, 245-61-61.

Nasr.lits. AIN №149, 14.08.09. Bosishga ruxsat etildi:

23.09.2016. Bichimi 60x84 ¹/₁₆. «Times Uz» garniturası.

Ofset usulida bosildi. Shartli bosma tabog'i 7,75.

Nashr bosma tabog'i 8,0. Tiraji 665. Buyurtma №189.

Original-maketda «Vorıs-dashriyot» da tayyorlandi.

**«Fan va texnologiyalar Markazining bosmaxonasi» da chop etildi.
100066, Toshkent shahri, Olmazor ko'chasi, 171-uy.**