

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

O‘RTA MAXSUS, KASB-HUNAR TA‘LIMI MARKAZI

M. T. TURDIYEV

ELEKTROTEXNIKA VA ELEKTRONIKA ASOSLARI

5- nashri

*Akademik litsey va kasb-hunar kollejlari
uchun o‘quv qo‘llanma*

**„O‘QITUVCHI“ NASHRIYOT-MATBAA IJODIY UYI
TOSHKENT — 2014**

621.3(075.32) - Электротехника

UO'K: 621.3(075)

KBK 31. 21ya 722+32.85ya 722

T89

Taqrizchilar: **K. R. Allayev** — t.f.d., professor;
M. M. Xudoyqulov — Buxoro kommunal-
xo'jalik kasb-hunar kolleji direktori;
G. A. Matyoqubova — Toshkent Radiotex-
nika va avtomatika kolleji o'qituvchisi.

Turdiyev M.T

31.21 Elektrotexnika va elektronika asoslari: Akademik litsey va
T89 kasb-hunar kollejlari uchun o'quv qo'llanma /M. T. Turdiyev;
O'zbekiston Respublikasi oliy va o'rta-maxsus ta'lim vazirligi,
O'rta maxsus, kasb-hunar ta'limi markazi.—5- nashri.
—Toshkent: „O'qituvchi“ NMIU, 2014. 128 b.

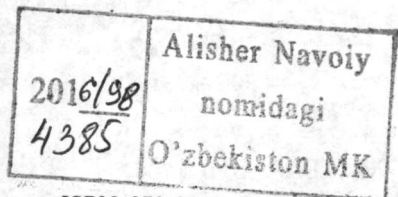
ISBN 978-9943-02-787-9

Ushbu qo'llanma kasb-hunar kollejlarining barcha
yo'nalishlari uchun tuzilgan Davlat ta'lim standartlari o'quv
dasturi asosida va „Elektrotexnika va elektronika asoslari“
predmeti kasb-hunar kollejlarining elektroenergetika asosiy
bo'lmagan yo'nalish va mutaxassisliklari o'quv dasturlariga
muvofiq yozilgan.

Qo'llanma kasb-hunar kollejlarining talabalari uchun
mo'ljallangan.

UO'K: 621.3(075)

KBK 31. 21ya 722+32.85ya 722



ISBN 978-9943-02-787-9

© „O'qituvchi“ nashriyoti, 2002
© „O'qituvchi“ NMIU, 2011

So'zboshi

„Kadrlar tayyorlash Milliy dasturi“ga muvofiq respublikamizda jahon andozalariga mos bo'lgan ko'p bosqichli ta'lim yo'nalishlari joriy qilindi. Ta'lim sohasida olib borilayotgan islohotlarning asosini kasb-hunar kollejlari tashkil qiladi. Yangi tizimda tashkil qilingan kasb-hunar kollejlari uchun o'quv dasturlari ishlab chiqildi va dasturlar tarkibiga zamonaviy texnika va texnologiyani aks ettiruvchi yangi fanlar kiritildi, mavjudlari takomillashtirildi.

Hozirgi zamon ishlab chiqarishining barcha sohalarida, qurilish, tibbiyot va umuman, hayotimizda elektr energiyadan keng ko'lamda foydalaniladi.

Mazkur qo'llanmada elektroenergetika fanining deyarli barcha bo'limlari bayon etilgan va kasb-hunar kollejlarining barcha yo'nalish va mutaxassisliklari uchun foydali qo'llanma bo'lib xizmat qiladi. Qo'llanmada o'quv materiali „Tajriba — nazariya—amaliyot“ uslubida bayon qilingan. Unda har bir mavzuni bayon qilishning uslubiy tomoniga alohida e'tibor berildi va matnlarning oddiy, tushunarli, o'quvchilarning yosh va individual xususiyatlariga mos bo'lishga harakat qilindi.

Jamiyatimiz bozor iqtisodiyotiga kirib borayotgan bir sharoitda har bir texnikaviy muammo, albatta, iqtisodiyot bilan bog'liqligini nazarga olib, qo'llanmaga elektroenergetikaning texnik-iqtisodiy ko'rsatkichlariga bag'ishlangan bo'lim kiritildi.

Kasb-hunar kollejlarining har bir yo'nalishi va mutaxassisliklarining „Elektrotexnika va elektronika asoslari“ fani uchun ajratilgan soatlari o'zgacha bo'lishi lozim. Bundan boshqa, bevosita yo'nalish sohasiga bag'ishlangan barcha ajratilgan soatlarning 5 — 7 % i shu sohaga xos elektr uskuna, asbob va elektr ta'minotiga ajratiladi.

Mazkur qo'llanmada bayon etilgan barcha nazariy o'quv materiallari iloji boricha oddiy, amaliy faoliyatdan olingan misollar bilan sharhlandi. Murakkab texnik tushunchalar

mantiqiy ravishda oddiy misollar orqali bayon etildi. O'quv materialini bayon etish usuli talabalarning mustaqil fikr yuritish faoliyatini jadallashtirishga mo'ljallangan.

Kitobda taxminiy mavzular rejasi keltirilgan. Albatta, fanga ajratilgan soatlarning mavzular bo'yicha nazariy va amaliy-tajriba mashg'ulotlariga taqsimlanishi har bir kollejning pedagogik kengashiga havola, lekin bu taxminiy reja kasb-hunar kollejlari nazariy mashg'ulotlarga 40%, amaliy-tajriba mashg'ulotlariga 60 % vaqt ajratilishi lozimligini aks ettiradi.

Muallif ushbu kitobning qo'lyozmasini ko'rib chiqib, o'zining amaliy tavsiyalari bilan yordam ko'rsatgan Buxoro oziq-ovqat va yengil sanoat texnologiyasi institutining „Elektroenergetika“ kafedrasi dotsenti N. N. Sa'dullayevga, katta o'qituvchi I. X. Hazratovga minnatdorchilik bildiradi.

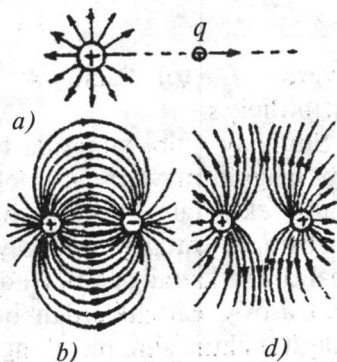
1.1. Elektr maydon

Ma'lumki, ikki jism bir-biriga faqat sirtlari orqali ta'sir etadi. Lekin, agar jismlar zaryadlangan bo'lsa, ya'ni jismlar sirtida ortiqcha manfiy yoki musbat zaryad to'plangan bo'lsa, ular bir-biridan ma'lum masofada turganda ham ta'sir ko'rsatadi. Bu ta'sir moddiy muhit — elektr maydon orqali amalga oshadi. Qo'zg'almas zaryadlangan zarracha yoki jism atrofida elektr maydon hosil bo'ladi (1.1- rasm). Fransuz fizigi Kulon 1785- yilda ikkita elektrlangan zarracha (jism) ning o'zaro ta'sir kuchini ifodalovchi qonunni yaratdi. Bu kuch olim nomi bilan — *Kulon kuchi* deb ataladi.

$$F = k \frac{q_1 q_2}{\epsilon_a r^2},$$

bu yerda: F — zaryadlar orasidagi o'zaro ta'sir kuchi, N, q_1 va q_2 — o'zaro ta'sir etuvchi zaryadlar qiymati, C, r — zaryadlar orasidagi masofa, m, k — proporsionallik koef-fitsiyenti, ϵ_a — muhitning absolut dielektrik singdiruvchan-ligi. Bu kattalik zaryadlar orasidagi elektr maydon muhitini xarakterlaydi.

Elektr maydonni xarak-terlovchi kattaliklardan yana biri elektr maydon kuch-langanligidir. Elektr may-don kuchlanganligi vektor kattalik bo'lib, uning qiy-mati musbat zaryadlangan zarrachaga ta'sir etuvchi kuchning uning zaryadiga nisbatiga tengdir.



$$E = \frac{F}{q_0}.$$

1.1- rasm.

Elektr maydon potentsiali elektr maydon har bir nuqtasining energetik imkoniyatini ifodalovchi kattalikdir. Elektr maydon kuchlari ta'siri ostida biror-bir sinov zaryadini ko'chirish uchun sarflangan ish miqdorining shu zaryad miqdoriga nisbati elektr maydon potentsiali deyiladi, ya'ni

$$\varphi = \frac{A}{q},$$

bu yerda: A — ish miqdori, J , q — zaryad miqdori, C .

Birlik zaryadni maydonning bir nuqtasidan ikkinchi nuqtasiga ko'chirish uchun 1 Joul ish bajarilsa, shu ikki nuqta orasidagi kuchlanish 1 Voltga teng bo'ladi.

Ikki nuqta orasidagi potentsiallar ayirmasi shu nuqtalar orasidagi kuchlanish deyiladi va U bilan belgilanadi:

$$U = \varphi_1 - \varphi_2.$$

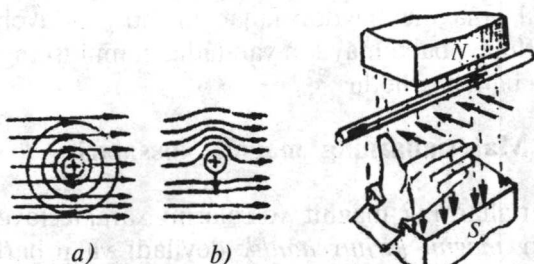
1.2. Magnit maydon

Agar qo'zg'almas zaryadlangan zarracha (zaryadlangan jism) elektr maydonni hosil qilsa, harakatdagi zaryadlangan zarrachalar (zaryadlar oqimi) magnit maydonni hosil qiladi. O'z navbatida, magnit maydon esa elektr toki hosil qiladi. Zaryadlangan zarrachalarning tartibli oqimi *elektr toki* deb ataladi. Elektr toki o'tkazgichning ko'ndalang kesim yuzasidan vaqt birligi ichida o'tadigan zaryad miqdori bilan aniqlanadi:

$$I = \frac{q}{t},$$

bu yerda: I — tok kuchi, A , q — zaryad miqdori, C , t — vaqt birligi, s .

Shunday qilib, yuqorida bayon etilgan omillarga asoslanib magnit maydon va elektr toki bir-biridan ajralmas kattalik ekanligini tasdiqlash mumkin. Magnit maydon yo'nalishi va kattaligi shu maydonni hosil qiluvchi tokning yo'nalishi va kattaligiga bog'liq. Magnit maydonni xarakterlovchi asosiy kattaliklardan biri magnit induksiyadir. Uni aniqlash uchun shu maydonga tokli o'tkazgich kiritamiz. Magnit maydonga kiritilgan tokli o'tkazgichga ta'sir qiluvchi mexanik kuch, shu o'tkazgichdan o'tayotgan tok, o't-



1.2- rasm.

kazgichning magnet maydonga kiritilgan qismining uzunligi va magnet maydonning induksiyasiga proporsionaldir:

$$f = B \cdot l \cdot I,$$

bu yerda: f — mexanik kuch, N, I — tok kuchi, A, B — magnet maydon zichligini xarakterlovchi kattalik — magnet induksiyasi, l — o'tkazgichning magnet maydonga kiritilgan qismining uzunligi, m. Bu ifoda tokli o'tkazgich bir jinsli magnet maydonning kuch chiziqlariga perpendikular joylashgan holda to'g'ridir (1.2- rasm). O'tkazgich kuch chiziqlari bilan biror burchak hosil qilsa, quyidagicha ifodalanadi:

$$f = B \cdot l \cdot I \cdot \sin \alpha.$$

Bu ifodada B — magnet maydon induksiyasi bo'lib, magnet maydon intensivligini xarakterlaydi. Magnet maydon induksiyasi vektor kattalik bo'lib, bu vektorning yo'nalishi magnet maydon kuch chiziqlari yo'nalishiga mos keladi. Turli elektr uskuna va asboblarning ishlash prinsipi magnet maydon bilan o'tkazgichdan oqayotgan tokning o'zaro ta'siriga asoslangan. Yuqoridagi ifodadan:

$$B = \frac{f}{lI}.$$

Magnet maydon kuchlanganligi magnet induksiyaning absolut magnet singdiruvchanlikka nisbati bilan aniqlanadi.

$$H = \frac{B}{\mu_a},$$

bu yerda: H — magnet maydon kuchlanganligi, μ_a — muhitning absolut magnet singdiruvchanligi.

Demak, magnit maydon faqat uni hosil qiluvchi tokka bog'liq bo'lmay, balki maydon yaratadigan muhitning magnit xossalriga ham bog'liqdir.

1.3. Materiallarning magnit xossalari

Materiallarning magnit xossalarini xarakterlovchi katalik *nisbiy magnit kirituvchanlik* deyiladi va μ harfi bilan belgilanadi. Vakuum muhitning absolut magnit kirituvchanligi *magnit doimiysi* deyiladi. Istalgan muhit yoki materiallarning nisbiy magnit kirituvchanligi μ_a bilan solishtiriladi va quyidagicha aniqlanadi:

$$\mu = \frac{\mu_a}{\mu_0}.$$

Atrofimizdagi barcha materiallar o'zlarining magnit xossalari bo'yicha uch guruhga bo'linadi. Agar moddalarning (materiallarning) nisbiy magnit kirituvchanligi birdan kichik $\mu < 1$ bo'lsa, bunday materiallar *diamagnit materiallar* deyiladi. Mis diamagnit material, uning magnit kirituvchanligi $\mu = 0,999$. Agar materiallarning magnit kirituvchanligi birdan katta $\mu > 1$ bo'lsa, bunday materiallar *paramagnit materiallar* deyiladi. Havo paramagnit materialga misol bo'ladi, uning magnit kirituvchanligi $\mu = 1,003$.

Elektrotexnikada asbob, uskuna va tuzilmalarda ferromagnit materiallardan keng foydalaniladi. Ular kuchli magnitlash xususiyatiga ega, ularning magnit kirituvchanligi $\mu \gg 1$ bo'lib, milliongacha yetadi.

Ferromagnit materiallar paramagnit materiallardan muhim xossalari bilan farq qiladi. Bu xossalardan biri ferromagnit materiallarda molekular tok hosil qiluvchi zarrachalarning borligidir. Molekular tok magnit momentini hosil qiladi. Mikroskopik hajmlarda hosil bo'ladigan magnit momentlari „domen“ deb ataladi. Tashqi magnit maydon bo'lmaganda domenlarning natijaviy magnit maydoni nolga tengdir. Ferromagnit materialni tashqi magnit maydonga kiritganimizda domenlar magnit momentlarining yo'nalishi tashqi magnit maydon qutblari tomon buriladi. Natijada tashqi

magnit maydon domenlar magnit momentlari hisobiga kuchayadi. Bu jarayon *ferromagnit materiallarning magnitlanishi* deyiladi.

Demak, ferromagnit materiallarda tashqi magnit maydon domenlar magnit maydoni hisobiga kuchayar ekan. Shu sababli barcha elektr uskuna va apparatlarning turli shakldagi o'zaklari ferromagnit materiallardan yasaladi. Masalan, keltirilgan misolda magnit maydon kuch chiziqlarining asosiy qismi ferromagnit o'zak orqali tutashtirilgan. Chunki, ferromagnit o'zakning magnit kirituvchanligi havoning magnit kirituvchanligiga nisbatan ancha katta bo'lgani uchun uning magnit maydoni havodagi magnit maydondan bir necha marta ortiqdir. Demak, chulg'am atrofidagi fazoviy muhitning magnit maydonini nazarga olmasdan, magnit maydon faqat ferromagnit o'zakning geometrik o'lchamlari bilan cheklangan, desak bo'ladi.

Yuqorida qo'zg'almas zaryadlangan zarracha elektr maydonini hosil qiladi, deb ta'kidlab o'tdik. Lekin biror-bir zarracha muhit temperaturasi faqat 0°K bo'lganda qo'zg'almas holatda bo'lishi mumkin. Bu qiymat Selsiy shkalasida 273°C demakdir. Demak, muqarrar sharoitda hech bir zarracha tinch holatda turishi mumkin emas. Hamma zaryadlangan zarrachalar doim harakatda bo'ladi va elektr maydon bilan birga magnit maydonni ham hosil qiladi. Elektr va magnit maydonlar orasida chuqur ichki bog'lanish mavjud bo'lib, bu bog'lanish bu maydonlarning bir-biriga aylana olishida namoyon bo'ladi. Elektr maydonning har qanday o'zgarishi doimo magnit maydon paydo bo'lishi bilan yuz beradi va aksincha, magnit maydonning har qanday o'zgarishi elektr toki paydo bo'lishiga olib keladi. Bu mulohazalarga asoslanib, mantiqan fikr yuritadigan bo'lsak, elektr va magnit maydonlar bir-biridan ajralmas bo'lib, ular bir jarayonning ikki tomonini anglatar ekan. Bunday maydon *elektromagnit maydon* deb ataladi. Elektromagnit maydon materiyaning alohida bir turidir. Materikning mavjudligi bevosita odamzodning sezgi a'zolari orqali his qilinadi. Elektromagnit maydon to'lqin xossalariga ham ega, ya'ni bu maydon to'lqin kabi fazoda tarqaladi.

1.4. Elektromagnit induksiya qonuni

Elektromagnit induksiya qonuni tabiatning muhim qonunlaridan biri. Ko'pchilik elektr asboblarning ishlash prinsipi mana shu qonunga asoslangan. Masalan, o'zgaruvchan tok generatorlari, sinxron generatorlar, asinxron dvigatellar, transformatorlar, radio-teleapparaturalar shular jumlasidandir.

Agar o'tkazgichli konturni o'zgaruvchan elektromagnit maydonga kiritsak, bu konturda elektromagnit induksiya elektr yurituvchi kuchi e (EYK) hosil bo'ladi. Bu EYK ning kattaligi elektromagnit maydonning o'zgarish tezligiga proporsional:

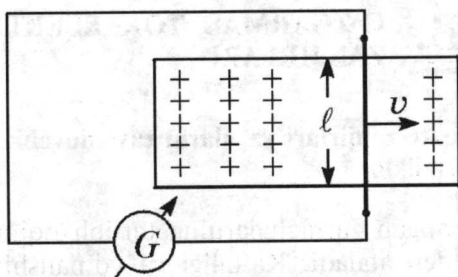
$$e = \frac{d\phi}{dt} \quad \text{— bitta o'ram uchun,}$$

$$y = -w \frac{d\phi}{dt} \quad \text{— o'ramlar soni } w \text{ ga teng bo'lganda.}$$

Bu tenglamada $\frac{d\phi}{dt}$ — magnit oqimidan vaqt bo'yicha olingan hosila bo'lib, bu ifoda magnit oqimining o'zgarish tezligini anglatadi.

Elektromagnit induksiya elektr yurituvchi kuchining ishorasiga to'xtalib o'tamiz (yuqorida keltirilgan formulada magnit oqimining hosilasiga manfiy ishora berdik). Bu ishora Lens qonuniga asosan aniqlanadi. Bu qonun quyidagicha ta'riflanadi: EYKning yo'nalishi ishorasi uni hosil qiluvchi kuchga qarama-qarshidir.

Faraz qilaylik, fazoviy to'rtburchak bilan cheklangan o'zgarmas elektromagnit maydon bo'lsin, bu elektromagnit maydon kuch chiziqlari to'rtburchak yuzasiga perpendikular ravishda yo'nalgan. 1.3- rasmda kuch chizig'i yo'nalishini ko'rsatuvchi strelkani bir-birini kesuvchi chiziqlar bilan belgilaymiz. Shu maydonning kuch chiziqlarini l uzunlikdagi o'tkazgich (yoki chulg'am) v tezlik bilan kesib o'tyapti. Shunda bu o'tkazgich (chulg'am)da elektromagnit induksiya EYK hosil bo'ladi va u quyidagi formula yordamida aniqlanadi:



1.3- rasm.

$$E = B \cdot v \cdot l,$$

bu yerda B — magnit induksiyasi, vektor kattalik; v —o'tkazgichning tezligi, vektor kattalik; l — o'tkazgichning magnit maydonga kiritilgan qismining uzunligi.

Bu formula ikkita vektor kattaliklar B va v bir-biriga perpendikular yo'nalgan hol uchun mos keladi. Agar B va v perpendikular bo'lmasa, o'zgarmas magnit maydon kuch chiziqlarini kesib o'tuvchi kontur bitta o'tkazgichdan emas, balki w o'ramli g'altakdan iborat bo'lsa, u holda yuqoridagi formula quyidagi ko'rinishni oladi:

$$E = B \cdot v \cdot \omega \cdot \sin a$$

Bu ifodadagi $a = \hat{B} \cdot v$ ikkita toq vektor kattalik orasidagi faza siljishi.

II BOB. O'ZGARMAS TOK ELEKTR ZANJIRLARI

2.1. Elektr zanjirlari va ularni tavsiflovchi kattaliklar

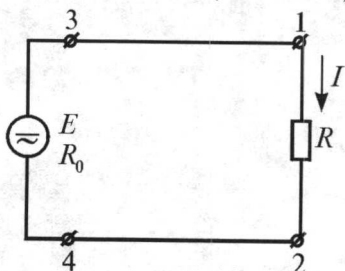
Zaryadlangan zarrachalarning tartibli oqimi (harakati) elektr toki deb ataladi. Kattaligi va yo'nalishi vaqt birligi ichida o'zgarmaydigan tokka o'zgarmas tok deb aytiladi.

Elektr toki o'tishi uchun uchta element berk zanjir, ya'ni kontur hosil qilishi zarur. Bu elementlarni EYK yoki tok manbayi, bog'lovchi o'tkazgich simlar va iste'molchilar tashkil etadi. Agar bu berk konturni tashkil etuvchi elementlar elektromagnit jarayonlarini EYK, tok, kuchlanish va qarshilik tushunchalari orqali ta'riflash mumkin bo'lsa, bunday berk kontur *elektr zanjiri* deb ataladi. Tutashtiriladigan o'tkazgichlarning qarshiliklari quyidagi formula yordamida aniqlanadi:

$$R = \rho \frac{l}{S}, \Omega,$$

bu yerda: ρ — o'tkazgichning solishtirma qarshiligi, l — o'tkazgich uzunligi, S — o'tkazgichning ko'ndalang kesim yuzasi.

Biroq elektr zanjirlarini hisoblashda bu qarshilik hisobga olinmaydi. Berk zanjirdagi I tok miqdori zanjirning bir qismi uchun Om qonuni yordamida aniqlanadi. Zanjirdagi tok uning 1- va 2- qismlari orasidagi potensiallar ayirmasiga to'g'ri proporsional, iste'molchining qarshiligiga esa teskari proporsionaldir (2.1- rasm):



2.1- rasm.

$$I = \frac{\varphi_1 - \varphi_2}{R} = \frac{U_{12}}{R}.$$

Zaryad miqdori quyidagicha aniqlanadi:

$$q = I \cdot t,$$

u holda bajarilgan ish:

$$A = U \cdot I \cdot t.$$

Zanjirning tashqi qismida, ya'ni iste'molchida bajarilgan ish:

$$A_{\text{ist}} = U_{\text{ist}} \cdot I \cdot t$$

va manbaning isrof energiyasi:

$$A_0 = U_0 \cdot I \cdot t.$$

Lekin $E = U_{\text{ist}} - U_0$, demak, $A_{\text{ist}} + A_0 = A_m$, ya'ni manbaning ishlab chiqaradigan energiyasi:

$$A = E \cdot I \cdot t.$$

Elektr tokining quvvati quyidagi formula orqali aniqlanadi:

$$P_m = \frac{A}{t} = E \cdot I,$$

bunda P_m — manbaning elektr quvvati.

Demak, iste'molchining elektr quvvati $P_{\text{ist}} = U_{\text{ist}} \cdot I$, manbaning isrof quvvati $P_0 = U_0 \cdot I$. Quvvat W, kW, MW larda o'lchanadi.

Ajralib chiqqan issiqlik miqdori o'tkazgichdan o'tayotgan tokning kvadratiga, qarshilik va ma'lum miqdorda tok o'tgan vaqtga to'g'ri proporsionaldir.

$$Q = I^2 \cdot R \cdot t,$$

bu yerda Q — o'tkazgichdan ajralib chiqqan issiqlik miqdori. Om qonuniga binoan $U = I \cdot R$, quvvat $P = U \cdot I = I^2 \cdot R$. Demak,

$$Q = P \cdot t.$$

Yuqorida qayd etib o'tganimizdek, zanjirning ikki nuqtasidagi potentsiallar ayirmasi kuchlanish yoki kuchlanishning pasayishi deyiladi. Binobarin:

$$U_{12} = \varphi_1 - \varphi_2 \quad \text{va} \quad I = \frac{U_{12}}{R},$$

$$U_{12} = U_1 - U_2 = I \cdot R.$$

Demak, kuchlanish yoki kuchlanishning pasayishi zanjir bir qismining potentsiallari ayirmasiga teng bo'lib, bu kattalik shu qismdagi tok va qarshilikning ko'paytmasi bilan aniqlanadi. Qarshilikka teskari kattalik o'tkazgichning o'tkazuvchanligi deyiladi:

$$q = \frac{I}{R}, \text{ sim.}$$

Butun zanjir uchun Om qonuni quyidagicha ta'riflanadi: berk zanjirdagi tok zanjirdagi EYK ga to'g'ri proporsional bo'lib, zanjirning butun qarshiligiga teskari proporsionaldir.

$$I = \frac{E}{R + r_0}.$$

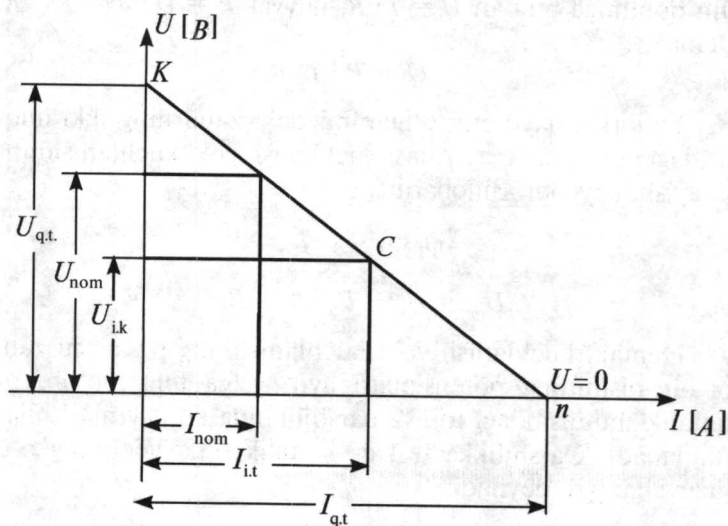
Bundan $E = I \cdot R + I \cdot r_0$.

$U_{\text{ist}} = I \cdot R$ — zanjirning tashqi qismidagi kuchlanishning pasayishi. $U = I \cdot r_0$ — manbaning ichidagi kuchlanishning pasayishi.

Bir konturli elektr zanjirda iste'molchidagi kuchlanish butun zanjir uchun Om qonuniga asosan (2.1- rasm):

$$U = E + I \cdot r_0.$$

Agar bu ifodada $E = \text{const}$ va $r_0 = \text{const}$ bo'lib, tok iste'molchi qarshiligi o'zgarishi hisobiga o'zgartirilsa, bunday bog'liqlik *elektr zanjirining volt-ampere tavsifi* deb ataladi. 2. 2-rasmda bu bog'lanish grafik tarzda ko'rsatilgan. Bu xarakteristikaning k nuqtasida zanjirdagi tok nolga teng. Zanjirdagi tok faqat zanjir uzilgandagina nolga teng bo'lishi mumkin. Bu rejim salt yurish rejimi deyiladi. Bu rejimda $U = E$ va iste'molchi manbadan uzilgan bo'ladi.



2.2-rasm.

Xarakteristikaning n nuqtasida $U = 0$ bo'lib, tok eng katta (maksimal) qiymatga erishadi. Bu rejim qisqa tutash rejimi deyiladi. Umuman, bu rejim shikastlanish rejimi deyiladi, chunki bu rejimda zanjirdagi tok faqat manbaning ichki qarshiligi bilan cheklangandir. Ichki qarshilik esa amalda iste'molchi qarshiligidan ancha kam bo'ladi, ya'ni $R_0 \ll R_{ist}$.

Bunda, elektr zanjiridagi tok juda katta qiymatga erishadi, boshqacha qilib aytganda, o'tkazgichlar katta tok ta'sirida kuyib ketadi. Bu ikkala rejimdan elektrotexnik uskunalarning nazariy tomonlarini o'rganishda foydalaniladi.

2.2. Oddiy va murakkab zanjirlar. Kirxgof qonunlari

Agar elektr zanjir faqat bitta manba va ketma-ket yoki parallel ulangan qarshiliklardan iborat bo'lsa, bunday zanjirlarni hisoblash uchun Om qonunining o'zi yetarli. Masalan, ketma-ket ulangan zanjirda Om qonuniga asosan (2.3- rasm, a):

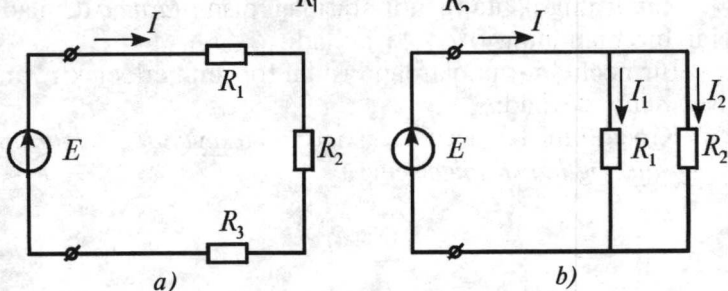
$$I = \frac{E}{R_1 + R_2 + R_3}.$$

Parallel ulangan zanjirda (2.3- rasm, b):

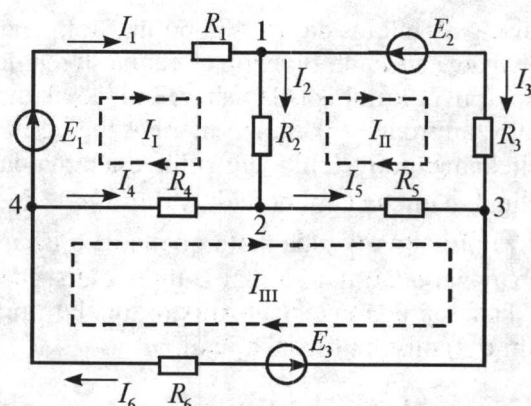
$$I_1 = \frac{E}{R_1}; \quad I_2 = \frac{E}{R_2}.$$

Tarmoqlarning o'tkazuvchanligi:

$$q_1 = \frac{E}{R_1}; \quad q_2 = \frac{E}{R_2}.$$



2.3- rasm.



2.4- rasm.

O'tkazuvchanlik orqali toklar quyidagi formuladan aniqlandi:

$$I_1 = q_1 \cdot E; \quad I_2 = q_2 \cdot E.$$

Zanjirning umumiy qismidagi tok:

$$I + E (q_1 + q_2).$$

Elektr zanjirida bir nechta manba va qarshiliklar aralash ulangan bo'lsa, bu zanjirlarni hisoblash uchun Om qonunini qo'llab bo'lmaydi, chunki zanjirni hisoblash natijasida aniqlanadigan toklar soni Om qonuni asosida yoziladigan tenglamalar sonidan ortiq. Bunday hollarda Kirxgof qonunlaridan foydalaniladi.

Kirxgof qonunlari bo'yicha tenglamalar yozishdan avval elektr sxemalariga oid bir nechta terminlar bilan tanishamiz (2.4- rasm).

Elektr sxemasining uchta va undan ortiq tarmog'i birlashgan nuqtasi *tugun* deb aytiladi.

Zanjirning ikkita tuguni orasidagi qismi *tarmoq* deyiladi. Har bir tugunning o'z toki bo'ladi.

Bir nechta tarmoqlardan tashkil topgan berk elektr zanjiri *kontur* deyiladi.

Kirxgofning birinchi qonuni. *Tugundagi toklarning algebraik yig'indisi nolga teng:*

$$\sum_{i=1}^n = 0,$$

bunda n —tugunga birlashgan tarmoqlar soni.

Odatda, tugunga qarab yoʻnalgan toklar musbat (+) ishora bilan, tugundan chiqqan toklar manfiy (−) ishora bilan belgilanadi.

Kirxgofning ikkinchi qonuni. Konturdagi alohida qism qarshiliklaridagi kuchlanish pasayishlarining algebraik yigʻindisi shu konturdagi EYKlarning algebraik yigʻindisiga teng:

$$\sum_1^m I \cdot R = \sum_1^m E.$$

Agar konturning ixtiyoriy tanlangan aylanib chiqish yoʻnalishi, shu konturning alohida qismlaridagi toklarning yoʻnalishi bilan mos tushsa, shu qism kuchlanishining pasayishi $[IR]$ tenglamada musbat (+) ishora bilan, aks holda manfiy (−) ishora bilan olinadi. Konturdagi EYKlarning yoʻnalishi ixtiyoriy tanlangan aylanib chiqish yoʻnalishi bilan mos tushsa, tenglamada EYK lar musbat (+) ishora bilan, qarama-qarshi yoʻnalishli EYK lar manfiy (−) ishora bilan olinadi.

Kirxgofning qonunlarini aniq murakkab tarmoqlangan elektr zanjir misolida koʻrib chiqamiz (2.4- rasm). Tarmoqlardagi toklarning yoʻnalishi ixtiyoriy deb olaylik. Bu sxemada tugunlar soni $n = 4$, tarmoqlar soni $m = 6$ ta. 4 ta tugun uchun Kirxgofning birinchi qonuniga binoan tenglamalar tuzamiz.

$$1\text{- tugun uchun } I_1 - I_2 - I_3 = 0;$$

$$2\text{- tugun uchun } I_2 + I_4 - I_5 = 0;$$

$$3\text{- tugun uchun } I_3 + I_5 - I_6 = 0;$$

$$4\text{- tugun uchun } I_6 + I_1 + I_4 = 0.$$

Konturlarning aylanish yoʻnalishini ixtiyoriy ravishda tanlab, Kirxgofning ikkinchi qonuniga binoan tenglamalar tuzamiz.

$$1\ 2\ 4\ 1\text{- kontur uchun } I_1 R_3 + I_2 R_2 - I_4 R_4 = E_1;$$

$$1\ 2\ 3\ 1\text{- kontur uchun } I_3 R_3 - I_5 R_5 - I_2 R_2 = E_2;$$

$$1\ 2\ 3\ 4\text{- kontur uchun } I_4 R_4 + I_4 R_4 + I_6 R_6 = -E_3;$$

$$1\ 3\ 4\ 1\text{- kontur uchun } I_1 R_1 + I_3 R_3 + I_6 R_6 = E_1 + E_2 - E_3.$$

Ikkita qonunga asosan 8 ta tenglama yozdik. Biroq no-maʼlum kattaliklar, yaʼni tarmoqlarning toklari 6 ta. Demak, bu elektr zanjirini hisoblash uchun 6 ta tenglama kifoya;

Shunga asosan, tenglamalar sistemasidagi faqat 6 ta mustaqil tenglamadan foydalanamiz.

Kirxgofning birinchi qonuniga asosan mustaqil tenglamalar soni tugunlar sonidan bitta kam ($n-1$ ta) bo'lsa, Kirxgofning ikkinchi qonuniga ko'ra mustaqil tenglamalar soni $m - (n-1)$ ta bo'ladi.

Endi ketma-ket va parallel ulangan elektr zanjirining soddalashtirish ifodalarini Kirxgof qonunlari bo'yicha chiqaramiz.

$$IR_1 + IR_2 + IR_3 = E \text{ yoki } IR_{\text{ekv}} = E.$$

Bu yerda $R_{\text{ekv}} = R_1 + R_2 + R_3$ — zanjirning umumiy ekvivalent qarshiligi.

Sxemaning 1- tuguni uchun Kirxgofning birinchi qonuniga asosan:

$$I_0 = I_1 + I_2.$$

Zanjirning bir qismi uchun Om qonuni:

$$I_1 = \frac{U}{R_1}; \quad I_2 = \frac{U}{R_2}.$$

Asosiy tenglama toklarining qiymatini hisobga olganda:

$$I_0 = U \left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} \right) = UR_{\text{ekv}}.$$

Bu ifodada $\frac{I}{R_{\text{ekv}}} + \frac{I}{R_1} + \frac{I}{R_2}$ oddiy arifmetik amallardan keyin:

$$R_{\text{ekv}} = \frac{R_1 \cdot R_2}{R_1 + R_2}.$$

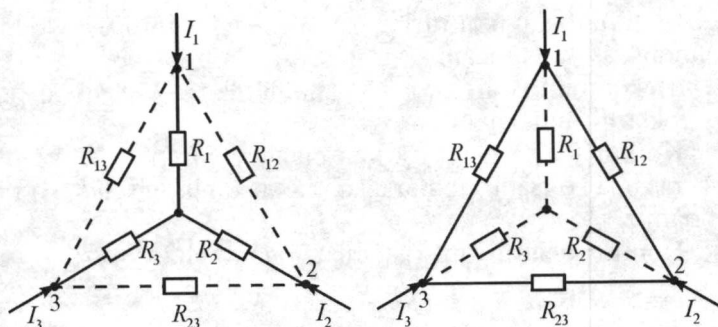
Faraz qilaylik, umumiy tarmoqdagi tok I_0 berilgan, toklar I_1 va I_2 ni topish kerak.

$$I_1 = \frac{U}{R_1} = \frac{I_0}{R_{\text{ekv}} \cdot R_1} = I_0 \frac{R_1 \cdot R_2}{(R_1 + R_2) \cdot R_1} = I_0 \frac{R_2}{R_1 + R_2}.$$

Shunga o'xshash

$$I_2 = I_0 \frac{R_1}{R_1 + R_2}.$$

Demak, tarmoqlangan zanjirdagi tok umumiy tarmoqdagi tokka va qo'shni tarmoq qarshiligiga to'g'ri proporsional



2.5- rasm.

bo‘lib, parallel ulangan tarmoqlar qarshiliklarining yig‘indisiga teskari proporsional ekan.

Ko‘pincha uch tarmoqli „yulduzcha“ usulidan „uchburchak“ usulida ulashga o‘tkazish kerak bo‘ladi.

Zanjirning sxemasi quyidagi formula asosida o‘zgartiriladi (2.5- rasm):

$$R_{12} = \frac{R_1 \cdot R_2}{R_1 + R_2 + R_3}; \quad R_{23} = \frac{R_2 \cdot R_3}{R_1 + R_2 + R_3}; \quad R_{13} = \frac{R_1 \cdot R_3}{R_1 + R_2 + R_3}.$$

„Uchburchak“ usulida ulangan zanjirni „yulduzcha“ usulida ulash uchun quyidagi ifodalardan foydalaniladi:

$$R_1 = R_{12} + R_{13} + \frac{R_{12} \cdot R_{13}}{R_{23}};$$

$$R_2 = R_{12} + R_{23} + \frac{R_{12} \cdot R_{23}}{R_{13}}; \quad R_3 = R_{13} + R_{23} + \frac{R_{13} \cdot R_{23}}{R_{12}}.$$

2.3. Murakkab elektr zanjirlarini hisoblash usullari

Murakkab elektr zanjirlarini hisoblashning bir nechta usullari bor. Bu usullar Kirxgof qonunlariga asoslangan.

Misol tariqasida *Kontur toklar usulini* ko‘rib chiqamiz. Bu usulga binoan barcha mustaqil kontur orqali alohida kontur toki deb ataluvchi tok o‘tadi, deb faraz qilamiz. Shu kontur uchun Kirxgofning ikkinchi qonuniga asosan tenglama tuzamiz. Tenglama tuzish uchun quyidagilarga amal qilish lozim:

a) mustaqil konturlarda toklarning yo‘nalishini ixtiyoriy tanlaymiz;

b) tanlangan konturlar uchun Kirxgofning ikkinchi qonuniga asosan tenglama tuzamiz;

d) kontur toklari orqali tarmoqlardan o'tadigan haqiqiy toklarni ifodalaymiz.

Kontur toklar usuli asosida elektr zanjirini hisoblashni 2.4- rasmda ko'rsatilgan murakkab elektr zanjir misolida ko'rib chiqamiz.

Kontur toklarni rim raqamlari bilan belgilaymiz:

$$\begin{aligned} I_I (R_1 + R_2 + R_3) - I_{II} \cdot R_2 - I_{III} \cdot R_2 &= E_{11} \\ -I_I \cdot R_2 + I_{II} \cdot (R_1 + R_2 + R_3) - I_{III} \cdot R_5 &= 0 \\ -I_I \cdot R_4 - I_{II} \cdot R_5 + I_{III} \cdot (R_1 + R_2 + R_3) &= -E_{33}. \end{aligned}$$

Quyidagi belgilarni kiritamiz:

$R_{11} = R_1 + R_2 + R_3$ — birinchi konturning xususiy qarshiligi;

$R_{22} = R_2 + R_3 + R_5$ — ikkinchi konturning xususiy qarshiligi;

$R_{33} = R_4 + R_5 + R_6$ — uchinchi konturning xususiy qarshiligi;

$R_{12} = R_{21} = R_2$ — birinchi va ikkinchi konturlarning qarshiliklari;

$R_{31} = R_{13} = R_4$ — uchinchi va birinchi konturlarning qarshiliklari;

$E_{11} = E_1$ — birinchi konturning EYK;

$E_{22} = 0$ — ikkinchi konturning EYK;

$E_{33} = E_3$ — uchinchi konturning EYK.

Endi yuqoridagi tenglamalarga belgilashlarni kiritib yozamiz:

$$\begin{aligned} I_I \cdot R_{11} - I_{II} \cdot R_{12} + I_{III} \cdot R_{31} &= E_{11} \\ -I_I \cdot R_{21} - I_{II} \cdot R_{22} - I_{III} \cdot R_{23} &= 0 \\ -I_I \cdot R_{31} - I_{II} \cdot R_{32} + I_{III} \cdot R_{33} &= E_{33} \end{aligned}$$

Bu tenglamalar tizimidan kontur toklar I_I , I_{II} , I_{III} ni topamiz. 2.4- rasmda tasvirlanganga ko'ra:

$$\begin{aligned} I_I &= I_b; & I_2 &= I_I - I_{Ib}; & I_3 &= I_{II}; \\ I_4 &= I_{III} - I_b; & I_5 &= I_{III} - I_{Ib}; & I_6 &= I_{III}. \end{aligned}$$

Murakkab zanjirlarni hisoblashning yana bir nechta: tugun potentsiallar, ustma-ustlash va boshqa usullari mavjud. Bu usullarning barchasi Kirxgof qonunlariga asoslangan.

III BOB.

SINUSOIDAL O'ZGARUVCHAN TOK ZANJIRLARI

3.1. O'zgaruvchan tokka oid umumiy tushunchalar

Sanoatda o'zgaruvchan tokdan foydalaniladi. O'zgaruvchan tok o'zgarimas tokka nisbatan bir qancha afzalliklarga ega. Birinchidan, o'zgaruvchan tokni ishlab chiqaradigan generatorlarning FIK ancha yuqori. Ikkinchidan, o'zgaruvchan tok kuchlanishini transformatorlar orqali o'zgartirilganda tok kam isrof bo'ladi, bundan tashqari, o'zgaruvchan tok dvigatellari sodda tuzilgan.

Yo'nalishi va kattaligi ma'lum vaqt ichida o'zgarib turadigan tokka *o'zgaruvchan tok* deyiladi. Agarda uning oniy qiymati va yo'nalishi teng vaqt oralig'ida (davriy) takrorlansa (o'zgarsa), unda *davriy o'zgaruvchan tok* deyiladi.

Barcha ishlab chiqariladigan mahsulotlar kabi elektr energiyasining ham sifat ko'rsatkichlari mavjud. O'zgaruvchan tokning sinusoidalligi mana shu sifatni aniqlovchi ko'rsatkichlardan biridir.

Umuman olganda, faqat sinusoidal shaklda o'zgaradigan tokgina emas, balki boshqa shaklda, masalan, uchburchak shaklida o'zgaradigan tok ham o'zgaruvchan tok deyiladi. Bunda tok kattaligi faqat davriy ravishda o'zgarishi lozim. Hisoblash texnikasida, radio-teleappaturalarda arrasimon, to'rtburchak shaklidagi o'zgaruvchan tokdan foydalaniladi:

O'zgaruvchan tokning oniy qiymati i harfi bilan belgilanadi va quyidagi formula bilan ifodalanadi:

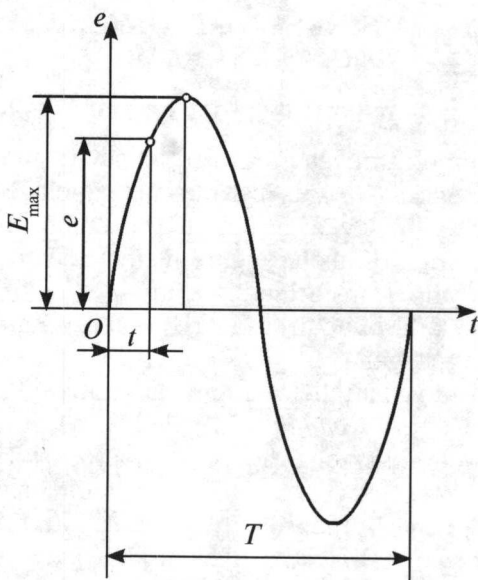
$$i = I_{\max} \sin(\omega t + \varphi),$$

bu yerda: $I_{\max}$ — o'zgaruvchan tokning eng katta (amplituda) qiymati; φ — o'zgaruvchan tokning boshlang'ich fazasi; ω — aylanma chastota; t — vaqt.

Sinusoidal tokning to'la takrorlanish vaqti *davr* deyiladi va T harfi bilan belgilanadi (3.1- rasm). Davr graduslarda yoki sekundlarda o'lchanadi.

Davrga teskari kattalik o'zgaruvchan sinusoidal tokning chastotasidir:

$$f \approx \frac{1}{T},$$



3.1- rasm.

$$[f] = \frac{1}{s} = \text{Gers yoki } \frac{1}{s} = \text{Hz.}$$

Chastota o'zgaruvchan tokning o'zgarish tezligini ifodalovchi kattalik bo'lib, 1 sekunddagi tebranishlar soniga teng. Sinusoidal tokning oniy qiymati ifodasiga burchak chastota kiritilgan. Bu kattalik chiziqli chastota orqali quyidagicha ifodalanadi:

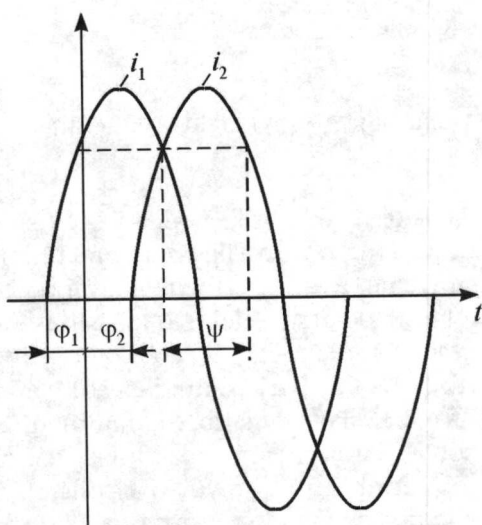
$$\omega = 2\pi x \left[\frac{\text{rad}}{s} \right].$$

Davriy chastota amalda *burchak chastota* deb ataladi va bu o'zgaruvchan funksiyalar vektorlarining burchak tezligini anglatadi. Ma'lumki, burchak tezlik vaqt ichida vektor burilish burchagi va shu vaqtning nisbati bilan aniqlanadi:

$$\omega = \frac{\varphi}{t}.$$

Ya'ni t vaqt ichida vektor φ burchakka buriladi.

Sanoatda tok chastotasi 50 Hz ga teng bo'lgan tokdan foydalaniladi. Xalq xo'jaligining ba'zi tarmoqlarida boshqa



3.2- rasm.

chastotali toklardan ham foydalaniladi. Tok chastotasi bir chastotadan boshqasiga o'zgartirgichlar yordamida o'zgartiriladi.

Yuqorida aytib o'tganimizdek, $(\omega \cdot t + \varphi)$ sinusoidal kattalik joriy vaqt onida (paytida) sinusoidal funksiyaning qiymatini aniqlaydi. Ifodadagi $t = 0$ bo'lganda sinusoidal funksiya kattaligini boshlang'ich faza (holat) φ aniqlaydi. Boshlang'ich faza yoki boshlang'ich burchak φ deb ataluvchi bu kattalik sinusoidal funksiylar ustida algebraik hisoblashlar olib borganda muhim ahamiyatga ega. Sinusoidal funksiylar ustida qo'shish, ayirish, ko'paytirish va bo'lish amallari bajarilganda boshlang'ich burchakni albatta nazarga olmoq kerak.

Sinusoidal funksiylarning faza siljishi. Ikki, bir chastotali sinusoidal funksiylarning boshlang'ich burchagi har xil bo'lsa, bu funksiylarning boshlang'ich fazalari bir-biriga nisbatan siljigan bo'ladi, ularning ayirmasi *fazalar siljishi* deyiladi (3.2- rasm). Fazalar siljishi miqdor jihatdan funksiylar boshlang'ich fazalarining ayirmasi bilan aniqlanadi.

Masalan, agar

$$i_1 = I_{\max} \cdot \sin(\omega \cdot t + \varphi_1), \quad i_2 = I_{\max 2} \cdot \sin(\omega \cdot t - \varphi_2)$$

bo'lsa, fazalar siljishi quyidagicha aniqlanadi:

$$\psi = \varphi_1 - \varphi_2.$$

Fazalar siljishi ikki yoki ikkidan ko'p sinusoidal funksiyalar fazalarining o'zaro siljishini xarakterlaydi.

O'zgaruvchan tokning oniy qiymatini (kuchlanish, EYK va hokazolarni) odatdagi elektr o'lchash asboblari (ampermetr, voltmetr) yordamida o'lchab bo'lmaydi, chunki o'zgaruvchan tokning qiymati sekundiga 100 marotaba, ya'ni 50 Hz chastota bilan o'zgarib (tebranib) turadi. Shuning uchun hisoblashlarda o'zgaruvchan toklar nazariyasida uning haqiqiy yoki ta'sir etuvchi qiymati kiritilgan. O'zgaruvchan tokning haqiqiy qiymati o'zgarmas va o'zgaruvchan toklar qarshiliklari bir xil bo'lganda ma'lum bir vaqtda ajralib chiqadigan issiqlik miqdorini tenglashtirish orqali aniqlanadi. *I* o'zgarmas tok o'tganda, *R* qarshilikda *t* vaqt davomida ajralib chiqqan issiqlik miqdori:

$$Q = I^2 R t.$$

Agar o'zgaruvchan tok $i = I_{\max} \sin \omega t$, *R* qarshilikdan *t* vaqt ichida o'tsa, ajralib chiqqan issiqlik miqdori quyidagicha ifodalanadi:

$$dQ = i^2 R dt.$$

Agar bu ikki ifodani $t = T$ sharti bilan tenglashtirib olsak, o'zgaruvchan tokning haqiqiy qiymatini topamiz:

$$I^2 = \frac{I_{\max}^2}{T} \int_0^T \sin^2 \omega t dt = \frac{I_{\max}^2}{2}.$$

$$\text{Bundan: } I = \frac{I_{\max}}{\sqrt{2}}.$$

Boshqa sinusoidal funksiyalar uchun:

$$U = \frac{U_{\max}}{\sqrt{2}}; \quad E = \frac{E_{\max}}{\sqrt{2}}; \quad \Phi = \frac{\Phi_{\max}}{\sqrt{2}}.$$

3.2. Sinusoidal o'zgaruvchi kattaliklarni kompleks sonlar orqali ifodalash

O'zgaruvchan tok zanjirlarini hisoblashda, turli amplituda va boshlang'ich fazali sinusoidal o'zgaruvchi kattaliklar ustida algebraik amallar o'tkazish kerak. Bu amallarni trigonometrik o'rin almashtirish yo'li bilan amalga oshirish murakkab va ko'p mehnat talab qiladi. Hisoblashning qulay usuli, sinusoidal o'zgaruvchan kattaliklarni kompleks sonlar orqali ifodalashdir.

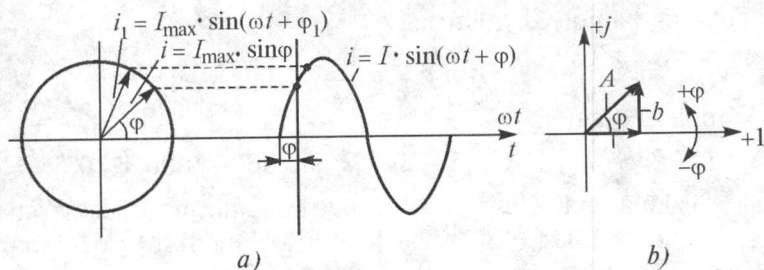
Har bir sinusoidal o'zgaruvchi kattalik radius-vektor orqali tasvirlanadi. Doira radiusi sinusoidal kattalikning amplituda yoki haqiqiy qiymati bilan aniqlanadi, (3.3- rasm, *a*).

Faraz qilaylik, tok radius-vektori I burchak φ tezlik bilan soat strelkasiga qarama-qarshi yo'nalishda aylanyapti, sinusoidal o'zgaruvchi tokning barcha haqiqiy qiymatlari radius-vektor ko'rinishida o'tadi. Demak, mana shu qiymatlarni to'g'ri burchakli koordinatalarda ifodalash mumkin.

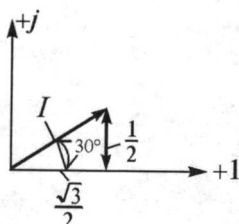
Endi radius-vektorni kompleks sonlar orqali ifodalaymiz. Matematika fanidan ma'lumki, har bir kompleks son ikkita tashkil etuvchilardan iborat. Birinchisi — haqiqiy tashkil etuvchi bo'lib, X o'qi bo'ylab yo'nalgan. Ikkinchisi — mavhum tashkil etuvchi, u Y o'qi bo'ylab yo'nalgandir (3.3- rasm, *b*). Bu vektor quyidagicha ifodalanadi:

$$A = a + jb.$$

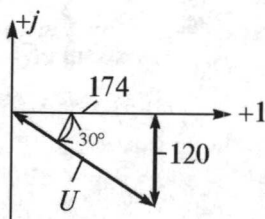
Elektrotexnika fanidan bizga ma'lumki, haqiqiy tashkil etuvchi — *aktiv*, mavhum tashkil etuvchi — *reaktiv* deb ataladi. Demak, a — sinusoidal o'zgaruvchi kattalikning aktiv tashkil etuvchisi bo'lib, $+1$ o'q — aktiv tashkil etuvchilar o'qidir;



3.3- rasm.



3.4- rasm.



3.5- rasm.

b — sinusoidal o'zgaruvchi kattalikning reaktiv tashkil etuvchisi bo'lib, $+j$ o'q — reaktiv tashkil etuvchilar o'qi; A — kompleks son.

Endi sinusoidal o'zgaruvchi tokning tashkil qiluvchilarini trigonometrik funksiyalar orqali ifodalaymiz:

$$\cos \varphi = \frac{a}{A}; \sin \varphi = \frac{b}{A}.$$

Demak,

$$\dot{A} = a + jb = A \cdot \cos \varphi + jA \cdot \sin \varphi = A \cdot e^{j\varphi}.$$

Matematika fanidan ma'lumki, $\cos \varphi + j \sin \varphi = A \cdot e^{j\varphi}$. Bu ifodada e — natural logarifmlar asosi; $a + jb$ — kompleks sonning algebraik ifodasi; $A \cdot \cos \varphi + jA \cdot \sin \varphi$ — kompleks sonning trigonometrik ifodasi; $A \cdot e$ — kompleks sonning ko'rsatkichli shakli; $A = \sqrt{a^2 + b^2}$ — kompleks sonning mutlaq qiymati.

Sinusoidal o'zgaruvchi kattaliklarni kompleks sonlar orqali ifodalash uchun sinusoidal funksiyaning haqiqiy qiymati va boshlang'ich fazasini bilish kerak.

Misol:

$$i = 1,41 \cdot \sin(\omega + 30^\circ).$$

Tokning haqiqiy qiymati:

$$I = \frac{I_{\max}}{\sqrt{2}} = \frac{1,41}{\sqrt{2}} = 1;$$

kompleks qiymati:

$$I = I \cdot e^{j30^\circ} = 1 \cdot \cos 30^\circ + j \cdot I \cdot \sin 30^\circ = 0,86 + j0,5.$$

Tokning grafik tasviri 3.4- rasmida ko'rsatilgan. Boshlang'ich faza aktiv sonlar o'qidan boshlab hisoblanadi. Musbat burchaklar soat strekasi harakatiga qarama-qarshi yo'nalishda hisoblanadi.

Misol:

$$U = 248,2 \sin(\omega t - 30^\circ)$$

$$\dot{U} = 200e^{-30} = 200 \cdot \cos 30^\circ - j 200 \cdot \sin 30^\circ = 174 - j 120.$$

Bu kuchlanishning grafik tasviri 3.5- rasmda tavsirlangan.

Faraz qilaylik, ikki tokning qiymati algebraik kompleks yig'indi ko'rinishida berilgan:

$$\dot{I}_1 = 0,86 + j 0,5; \quad \dot{I}_2 = 1,74 - j 1,74.$$

Shu ikki tokning yig'indisi:

$$\dot{I} = \dot{I}_1 + \dot{I}_2 = 0,86 + j 0,5 + 1,75 - j 1,75 = 2,61 - j 1,15.$$

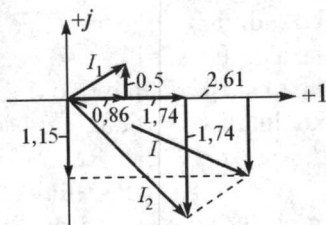
Toklar va ular yig'indisining vektor tasviri 3.6- rasmda berilgan.

Xulosa qilib quyidagilarni aytish mumkin:

1. Istalgan sinusoidal funksiya, kompleks son orqali, $t = 0$ bo'lgan onda ko'rsatilishi mumkin.

2. Agar bir nechta sinusoidal funksiyalar chastotalari bir xil bo'lsa, ularning har birini $+1$ va $+j$ to'g'ri burchakli koordinatalarda ko'rsatish mumkin. Bu kompleks sonlar tasvirlarining majmuasi vektor diaramma deyiladi.

3. Sinusoidal funktsiyani kompleks sonlar orqali ifodalashda va tasvirlashda vektorning uzunligi sinusoidal funktsiyaning haqiqiy qiymatiga teng bo'ladi, uning holati (o'rni) esa boshlang'ich faza burchagi bilan aniqlanadi.

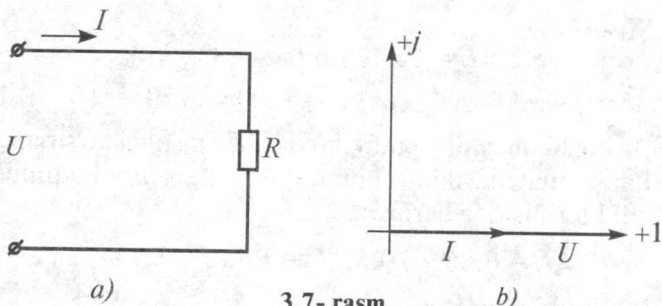


3.6- rasm.

3.3. Bir fazali o'zgaruvchan tok zanjiri. Uning aktiv, induktiv va sig'im qarshiliklari

Elektr energiyasini boshqa tur energiyaga aylantirib beruvchi element *aktiv qarshilik* deyiladi. Om qonuniga asosan aktiv qarshilik quyidagicha ifodalanadi:

$$R = \frac{U}{I}.$$



3.7- rasm.

Aktiv qarshilik yuza effekti deb ataluvchi jarayon hisobiga o'zgaras tok o'tayotgan zanjirdagi qarshilikdan katta bo'ladi.

$$R > R_0 = \rho \frac{l}{S}.$$

O'zgaruvchan tokning chastotasi qancha katta bo'lsa, aktiv va o'zgaras tok zanjiridagi qarshiliklarning farqi shuncha katta bo'ladi. Agar 3.7- rasm, a) dagi zanjirdan sinusoidal tok $I = I_m \sin \omega t$ o'tsa, aktiv qarshilikdagi kuchlanish pasayishi Om qonuniga asosan:

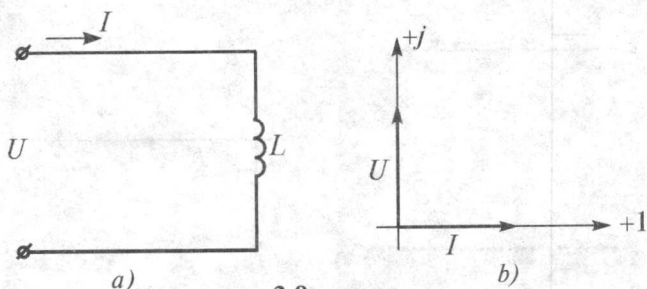
$$U = iR = I_{\max} R \sin at = U_{\max} \sin \omega t; \quad U = I_{\max} \cdot R$$

bo'ladi. Ko'rib turibmizki, tok va kuchlanishning boshlang'ich fazalari bir xil. Demak, vektor diagrammada tok va kuchlanish ustma-ust tushadi yoki boshqacha qilib aytganda, tok va kuchlanish orasidagi faza siljish nolga teng. Tok va kuchlanish 3.7- rasm, b) dagi vektor diagrammada ko'rsatilgan.

Induktiv qarshilikli zanjir. Induktivlik chiziqli elektr zanjirlarida o'zgaras kattalik bo'lib, iste'molchining magnit maydonini hosil qilish xususiyatini va shu maydonda to'plangan energiya miqdorini $W_L = L \frac{t^2}{2}$ xarakterlaydi.

Faraz qilaylik, zanjirdan sinusoidal $I = I_{\max} \sin \omega \cdot t$ tok o'tyapti (3.8- rasm, a). Elektromagnit induksiya qonuniga binoan induktivlikdagi kuchlanish pasayishi:

$$\begin{aligned} U_L &= -L \frac{di}{dt} = -L \frac{d(\sin \omega \cdot t)}{dt} = -L_{\omega} \cdot I_{\max} \cos \omega \cdot t = \\ &= X_L I_{\max} \sin \left(\omega \cdot t + 90^\circ \right). \end{aligned}$$



3.8 - rasm.

Ko'rib turibmizki, tokning boshlang'ich fazasi nolga teng bo'lganda, induktivlikdagi kuchlanishning boshlang'ich fazasi 90° ga teng. Demak, induktivlikdagi tok va kuchlanish orasidagi fazalar siljishi 90° ga teng, ya'ni tok o'z kuchlanishidan 90° siljigan bo'ladi. 3.8- rasm, *b* da induktivlikdagi I va U vektorlar diagrammasi ko'rsatilgan.

Biz yuqoridagi induktivlikdagi kuchlanish uchun yozilgan ifodada yangi kattalik X_L kiritgandik. $X_L = \omega L$ — induktiv qarshilik deb ataladi.

Sig'im qarshilikli zanjir. Sig'im chiziqli elektr zanjirida o'zgarmas kattalik bo'lib, iste'molchining elektr maydonida to'planadigan energiya miqdorini xarakterlaydi:

$$W_C = C \frac{U^2}{2}.$$

Faraz qilaylik, 3.9- rasm, *a* dagi zanjirda U kuchlanishli sinusoidal tok $I = I_{\max} \sin \omega \cdot t$ ta'sir qilyapti. Bunda zanjirdagi o'zgaruvchan tok o'tkazgich kesim yuzasidan o'tadigan zaryad miqdorining ma'lum vaqt davomida elementar o'zgarishi bilan aniqlanadi:

$$I_C = \frac{dq}{dt}.$$

Zaryadning vaqt davomida o'zgarishi:

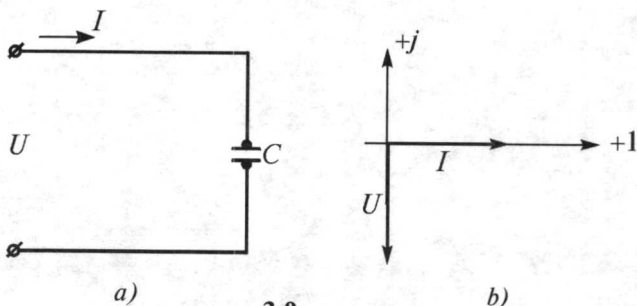
$$dq = cdU = cdU_C.$$

Bu ifodani hisobga olib, sig'imdagi o'zgaruvchan tokni yozsak:

$$I_C = C \frac{dU_C}{dt}.$$

Bu ifodadan

$$U_C = \frac{1}{C} \int I_C dt.$$



3.9- rasm.

Tokning qiymatini hisobga olgan holda ifoda quyidagicha yoziladi:

$$U_C = \frac{I_{\max}}{C} \int_0^{\pi} \sin \omega t dt - \frac{I_{\max}}{C\omega} \cos \omega t = X_C I_{\max} \sin \left(\omega t - 90^\circ \right).$$

Bundan

$X_C \frac{I}{\omega C}$ — sig‘im qarshilik deyiladi.

Keltirilgan ifodalardan ko‘rinib turibdiki, kuchlanishning boshlang‘ich fazasi 90° ga teng. Demak, sig‘im qarshiligidagi tok va kuchlanish orasidagi faza siljishi 90° ga teng bo‘lib, tok kuchlanishdan 90° oldinda bo‘ladi.

3.9- rasm, b da vektor diagramma ko‘rsatilgan. Sig‘imning qutblarida kuchlanish ko‘paygan sari, uning elektr maydonida to‘planadigan energiya miqdori ortib boradi. Bu energiya hech qanday foydali ish bajarmaydi, u manba bilan almashinib turadigan energiyadir. Bu almashinib turadigan energiyaning o‘zgarish tezligi manba chastotasiga nisbatan ikki marta ortiq bo‘ladi.

3.4. O‘zgaruvchan tok zanjirlarini hisoblash, ularning vektor diagrammalari

O‘zgarmas tok zanjirini hisoblash usullarini ikkinchi bobda ko‘rib chiqqan edik. Ushbu hisoblash usullarini o‘zgaruvchan tok zanjirlari uchun ham qo‘llash mumkin, lekin bunda tok va kuchlanishlarning R , C , L dagi faza siljishlarini albatta hisobga olish kerak. O‘zgaruvchan tok zanjirlarining vektor diagrammalari ham ana shu faza siljishlari asosida quriladi.

Endi R , C , L qarshiliklar ketma-ket yoki parallel ulangan zanjirlarni ko'rib chiqamiz. 3.10- rasm, a da R , C , L ketma-ket ulangan zanjir ko'rsatilgan.

Kirxgofning ikkinchi qonuniga binoan oniy qiymatlar uchun tenglama yozamiz:

$$U_R + U_L + U_C = U_{kir}.$$

Bunda

$$U_R = IX_R$$

$$U_L = IX_L$$

$$U_C = IX_C.$$

Shu zanjir uchun differensial tenglama yozmoqchi bo'lsak quyidagi ikki ifodani nazarda tutishimiz kerak:

$$UL = -L \frac{dI}{dt} \text{ va } IC = C \frac{dU_C}{dt}.$$

Oxirgi ifoda integrallangandan keyin sig'im kuchlanish quyidagicha yoziladi:

$$U_C = \frac{1}{C} \int_0^T Idt.$$

Kirxgofning ikkinchi qonuniga asosan:

$$IR + L \frac{dI}{dt} + \frac{1}{C} \int Idt = U_{kir}.$$

Tenglama differensiallangandan keyin:

$$L \frac{d^2 i}{dt^2} + R \frac{di}{dt} + \frac{1}{C} i + \frac{dU_k}{dt}.$$

3.10- rasm, a dagi zanjirning dinamik jarayonlarini tahlil qilmoqchi bo'lsak, differensial tenglamani ma'lum usullar bilan yechishimiz kerak. Ya'ni bu tenglama zanjirning o'tkinchli jarayonlarini aks ettiradi.

Agar zanjirning belgilangan jarayonini hisoblamoqchi bo'lsak, kompleks sonlar uchun yozilgan tenglamalardan foydalanishning o'zi kifoya. Kirxgofning ikkinchi qonuniga asoslanib kompleks shaklda tenglama yozamiz:

$$\dot{U}_{kir} = \dot{I} R + j (X_L - X_C) I.$$

Shu tenglama asosida zanjirning vektor diagrammasini chizamiz. Faraz qilaylik, zanjirdan o'tayotgan tokning boshlang'ich fazasi nolga teng:

$$i = I_{\max} \sin \omega \cdot t \text{ va } X_L > X_C.$$

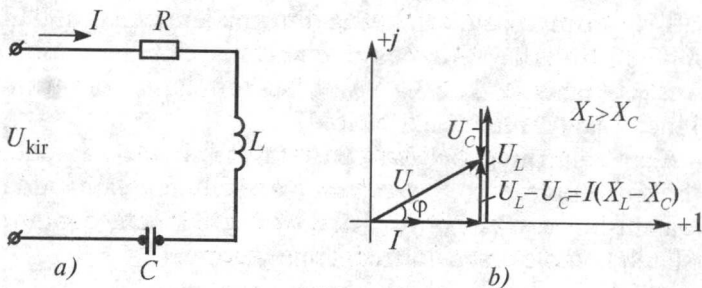
Zanjirning vektor diagrammasini chizganda shu tok yo'nalishini asosiy qilib olamiz, chunki ketma-ket ulangan zanjirning barcha qarshiliklaridan bir xil tok oqadi. Aktiv qarshiliklarda kuchlanish pasayishi:

$$\dot{U} = i R.$$

Chizmadan ko'rinib turganidek, aktiv qarshilik o'z toki bilan ustma-ust tushadi (3.10- rasm, b). Induktiv qarshilikdagi kuchlanish $U_L = IX_L$ o'z tokidan $+90^\circ$ siljigan bo'ladi. Shuning uchun UX_L vektorni $+90^\circ$ burchak ostida yuqoriga tomon yo'naltiramiz (3.10- rasm, b). Sig'im qarshilikli kuchlanish o'z tokidan 90° orqada qoladi. Shuning uchun vektorni -90° burchak ostida past tomonga yo'naltiramiz. Bu uchala vektor kattaliklarning yig'indisini topish uchun birinchi UR vektorning oxiridan ikkinchi UX_L vektor, keyin uchinchi UX_C vektor o'z faza siljishlariga muvofiq qo'yiladi. So'ngra birinchi vektorning boshi oxirgi vektorning oxiri bilan tutashtiriladi va yig'indi U_{kir} vektori hosil qilinadi. Qarama-qarshi yo'nalgan vektorlar U_L va U_S ayirmasini topamiz.

$$\dot{U}_p = \dot{U}_L - \dot{U}_C = i (X_L - X_C).$$

U_p kuchlanish U_{kir} kuchlanishning ko'ndalang tashkil etuvchisi bo'lib, *reaktiv tashkil etuvchi* deyiladi. Yuqorida



3.10- rasm.

kompleks sonlar uchun yozilgan tenglamaning vektorlari yo'nalishini hisobga olib yozamiz (3.10- rasm, b dagi vektor diagrammaga muvofiq).

$$\dot{U}_{\text{kir}} = iR + JI \left(\omega L - \frac{I}{\omega C} \right) = I \left(R + J \left(\omega L - \frac{I}{\omega C} \right) \right) \dot{U} = IZ.$$

bunda $Z = R + J \left(\omega L - \frac{I}{\omega C} \right)$ — to'la kompleks qarshilik,

$X_p = X_L - X_C = J \left(\omega L - \frac{I}{\omega C} \right)$ — zanjirning reaktiv qarshiligi.

Vektor diagrammadan hosil bo'lgan AOB to'g'ri burchakli uchburchak *kuchlanishlar uchburchagi* deyiladi. Uchburchakdan Pifagor qonuniga binoan quyidagini olamiz:

$$\dot{U}_{\text{kir}} = \dot{U}_a + \dot{U}_p = IR - Ji(X_L - X_C) = iZ.$$

Kuchlanishlar uchburchagidagi AOB ning tomonlarini, zanjirdagi tok kattaligi I ga bo'lamiz va 3.11- rasmda ko'rsatilgan uchburchakni hosil qilamiz. Bu uchburchak qarshiliklar uchburchagi deyiladi. Bundan:

$$Z = R + J(X_L - X_C) = R + JX.$$

$$\varphi = \arctg \frac{X}{R}; \cos \varphi = \frac{U_a}{U_{\text{kir}}} = \frac{R}{Z}; \sin \varphi = \frac{U_p}{U_{\text{kir}}} = \frac{X_p}{Z}.$$

Endi qarshiliklar R , X_L , X_C parallel ulangan zanjirni ko'rib chiqamiz.

3.12- rasmda ko'rsatilgan zanjir uchun Kirxgofning birinchi qonuni asosida kompleks sonlar uchun tenglama yozamiz:

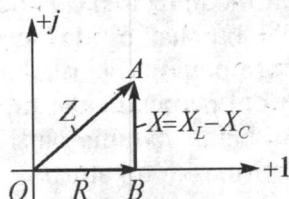
$$I = I_R + I_L + I_C.$$

Bu toklarni Om qonuni bo'yicha ifodalaymiz:

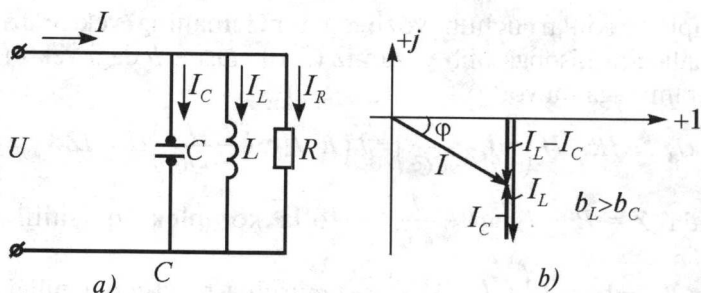
$$\dot{I}_R = \frac{\dot{U}_{\text{kir}}}{R} = gU_{\text{kir}}.$$

Bu yerda $g = \frac{I}{R}$ — aktiv o'tkazuvchanlik. O'lchash birligi

$$[g] = \left[\frac{I}{R} \right] = \frac{I}{\Omega} = \text{simens [sim]}.$$



3.11- rasm.



3.12-rasm.

$$\dot{I}_L = \frac{\dot{U}_{\text{kir}}}{jX_L} = j\dot{U}_{\text{kir}} b_L; \quad b_L = \frac{L}{\omega L}$$

$$\dot{I}_C = \frac{\dot{U}_{\text{kir}}}{jX_C} = j\dot{U}_{\text{kir}} b_C; \quad b_C = \frac{L}{X_C} = j\omega c,$$

bu yerda: $b_L = \frac{I}{\omega L}$ – induktiv o‘tkazuvchanlik, [sim];
 $b_C = \omega c$ – sig‘im o‘tkazuvchanlik, [sim]. Ifodalarni Kirxgof tenglamasiga qo‘yamiz.

$$\dot{I} = \dot{U} (g + j)(b_C - b_L):$$

Zanjirning vektor diagrammasini chizganda asosiy vektor qilib kuchlanish vektorini olish kerak, chunki kuchlanish zanjirning hamma qismlari uchun o‘zgarmas kattalikdir.

Faraz qilaylik, zanjirning kirish qismida kuchlanishning boshlang‘ich fazasi nolga teng.

$$U_{\text{kir}} + U_{\text{max}} \sin \omega \cdot t.$$

Shunda bu vektor haqiqiy (aktiv) sonlar o‘qiga yo‘naltiriladi (3.12- rasm, b). Aktiv qarshilikli tarmoqning toki o‘z kuchlanishi bilan ustma-ust tushadi. Induktiv qarshilikli tarmoqning toki o‘z kuchlanishidan 90° orqada qoladi, demak 90° burchak ostida esa pastga yo‘naltiriladi. Sig‘im qarshilikli tarmoqning toki o‘z kuchlanishidan 90° ga oldinga surilgan, ya’ni perpendikular tarzda yuqoriga yo‘naltiriladi. Bir-biriga nisbatan qarama-qarshi yo‘nalgan $\dot{I}_L$ va $\dot{I}_C$ vektorlarning ayirmasini topamiz:

$$\dot{I}_p = \dot{I}_C - \dot{I}_L = \dot{U}_{\text{kir}} \left(\omega C - \frac{1}{\omega L} \right) = \dot{U}_{\text{kir}} j b,$$

bu yerda I_p — tokning reaktiv (ko‘n-
dalang) tashkil etuvchisi, $b = \omega C -$

$-\frac{I}{\omega L}$ — to‘la reaktiv o‘tkazuvchanlik.

Bu vektorlarning yig‘indisi yuqorida
bayon etilgan yo‘l bilan topiladi.

Kirxgofning birinchi qonuniga asos-
lanib toklar uchun yozilgan tenglamani vektor diagram-
masida ko‘rsatilgan faza siljishlariga muvofiq holda yozamiz.

$$I = U_{\text{kir}} g + U_{\text{kir}} (b_C - b_L) = U_{\text{kir}} (g + jb) = U_{\text{kir}} Y,$$

bu yerda $Y = g + jb = g + j(\omega C - \frac{I}{\omega L})$ — to‘la o‘tkazuvchan-
lik, [sim] bilan o‘lchanadi.

Hosil bo‘lgan to‘g‘ri burchakli uchburchak *toklar
uchburchagi* deyiladi. Pifagor qonuniga asosan:

$$I = \sqrt{I_a^2 + I_p^2}.$$

3.13- rasmda ko‘rsatilgan to‘g‘ri burchakli uchburchak
toklar uchburchagiga o‘xshash bo‘lib, o‘tkazuvchanliklar
uchburchagi deyiladi.

Bu uchburchakdan:

$$Y = g + b = g + b_C - b_L = g + \omega C;$$

$$Y = g + jb = \sqrt{g^2 + b^2}.$$

Umumiy o‘tkazuvchanlik umumiy qarshilikka teskari
proporsional kattalikdir.

$$Y = \frac{I}{Z} = \frac{I}{R + jX} = g + jX.$$

3.5. Quvvat. Quvvat koeffitsiyenti

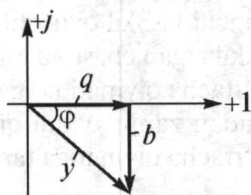
Zanjirdagi tok va kuchlanishning oniy qiymati:

$$i = I_{\text{max}} \sin \omega t \text{ va } U = U_{\text{max}} \sin (\omega t + \varphi);$$

umumiy quvvatning oniy qiymati:

$$P = U_i = I_{\text{max}} U_{\text{max}} \sin \omega t \cdot \sin (\omega t + \varphi) = UI \cos \varphi - UI \cos (2\omega t + \varphi)$$

formula bilan ifodalanadi. Bu ifodaning tahlili shuni ko‘r-
satadiki, oniy quvvat ikkita tashkil qiluvchidan iborat. Ik-



3.13- rasm.

kinchi tashkil qiluvchi vaqt t ga bog'liq bo'lib, $UI \cos(2\omega \cdot t - \varphi)$ ikkilangan chastota bilan o'zgaradi va bir davr davomida uning o'rtacha qiymati nolga teng. Birinchi tashkil qiluvchi esa manbadan zanjir qabul qilayotgan quvvatning T davr davomida o'rtacha qiymatiga teng:

$$P = \frac{I}{T_0} \int_0^T U i dt = UI \cos \varphi.$$

Quvvatning bu qiymati aktiv (foydali) quvvat deyiladi. Iste'molchida elektr energiyasi hisobiga bajarilgan ish aynan ana shu aktiv quvvatga mutanosibdir.

Zanjirdagi tok ikkita tashkil qiluvchidan iborat:

$$I = I_a + jI_p = I \cos \varphi + jI \sin \varphi.$$

Demak, aktiv quvvat formulasidagi $I \cos \varphi$ bu tokning aktiv tashkil qiluvchisidir. Tokning reaktiv tashkil qiluvchisi $I \sin \varphi$ induktivlikni magnit maydoni va sig'imning elektr maydonlarini hosil qilish uchun sarflanadi. Zanjirning induktivligi va sig'imi davriy ravishda manba bilan energiya almashinuvi jarayonida qatnashdi. Mana shu energiya almashinuvi jarayoni reaktiv quvvatni anglatadi va son jihatdan quyidagi formuladan topiladi:

$$Q = UI \sin \varphi,$$

bu yerda: $I \sin \varphi$ — zanjirdagi tokning reaktiv tashkil etuvchisi.

O'zgaruvchan tok zanjirlarida manbaning umumiy tokini xarakterlash maqsadida umumiy quvvat tushunchasi kiritilgan.

$$S = UI = I^2 Z = U^2 Y.$$

Umumiy to'la quvvat volt-ampere [VA] yoki [kVA], [MVA] bilan o'lchanadi. O'zgaruvchan tok zanjirining quvvati to'g'risida tushunchalarni yakunlab quyidagi formulani yozish mumkin:

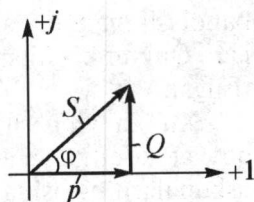
$$P = UI \cos \varphi = I^2 R = IU_a$$

$$Q = UI \sin \varphi = I^2 X = IU_p$$

$$S = UI = I^2 Z$$

Aktiv, reaktiv va umumiy quvvatlarni kompleks koordinatalarda tasavvur qilsak, quvvatlar uchburchagini hosil qilamiz (3.14-rasm).

Bu chizmadagi φ burchak zanjir-
dagi tok va kuchlanish o'rtasidagi faza
siljishi — kuchlanish va tokning bosh-
lang'ich fazalari ayirmasi bilan aniqla-
nadi: $\varphi = \varphi_u - \varphi_i$. Va uning qiymati
ketma-ket ulangan zanjirda qarshiliklar
yoki kuchlanishlar uchburchagidagi φ
burchakka teng. Quvvatlar formulasini
kompleks sonlar orqali yozsak:



3.14- rasm.

$$\dot{S} = \dot{U}\dot{I} = \dot{U}I \cos\varphi + j \cdot UI \sin\varphi = P + jQ = \sqrt{P^2 + Q^2},$$

bunda: I — tokning qo'shma kompleks qiymati.

Quvvatlar qarshiliklar va kuchlanishlar uchburchakla-
ridan iborat:

$$\cos\varphi = \frac{P}{S} = \frac{R}{Z} = \frac{I_p}{I} = \frac{U_r}{U}; \quad \sin\varphi = \frac{Q}{S} = \frac{X}{Z} = \frac{I_p}{I} = \frac{U_p}{U}.$$

Elektr energiyasi uzoq masofalarga elektr uzatish li-
niyalari orqali uzatiladi. Bunda elektr stansiyasidan iste'-
molchiga yetib kelguncha elektr energiyasining bir qismi isrof
bo'ladi. Bu isrof quyidagi formula orqali aniqlanadi.

$$\Delta P = \frac{P^2 + Q^2}{U^2} R_0 \cdot l,$$

bunda ΔP — elektr uzatish liniyasidagi isrof quvvati, P , Q —
mos ravishda, liniyada uzatilayotgan aktiv va reaktiv quvvat,
 R_0 — liniyaning bir kilometr masofadagi solishtirma qarshiligi,
 l — masofa.

Bu formulaning tahlili shuni ko'rsatadiki, reaktiv quvvat
foydali ish bajarmasa ham isrof qiymatiga katta ta'sir ko'rsatadi.
Demak, iste'molchining bajargan ishi o'zgarmagan holda,
reaktiv quvvati qancha kam bo'lsa, isrof ham shuncha kam
bo'ladi. Yuqorida keltirilgan formulalardan ko'rinib turibdiki,
 $\cos\varphi$ qancha katta qiymatga erishsa, $\sin\varphi$ ning qiymati
shuncha kamayadi, demak, iste'molchining reaktiv quvvati
ham kamayadi.

Iste'molchi qabul qilgan elektr energiyasining qancha
qismi foydali ishga sarflanadi, qancha qismi magnit va elektr
maydon energiyasiga, ya'ni reaktiv quvvatga o'zgarishini

baholash maqsadida quvvat koeffitsiyenti tushunchasi kiritilgan. Quvvat koeffitsiyentini hisoblash formulasi yuqorida keltirilgan.

Xulosa qilib shunday deyish mumkin, iste'molchining quvvat koeffitsiyenti qancha yuqori bo'lsa, elektr asbob-uskunalarining ishlash samaradorligi ham shuncha yuqori bo'lar ekan. Quvvat koeffitsiyenti qancha yuqori bo'lsa, yoqilg'i xomashyo ham shuncha tejaladi. Iste'molchining toki quvvat koeffitsiyentiga ham bog'liq:

$$I = \frac{P}{U \cdot \cos \varphi}.$$

Bu ifodadan ko'rinib turibdiki, quvvat koeffitsiyenti ortgan sari, aktiv quvvat o'zgarmagan holda, iste'molchining toki kamaya boradi. Bu bilan elektr uzatish liniyalarida o'tkazgich materiallar tejaladi. Amalda elektr energiyani taqsimlovchi korxonalar, quvvat koeffitsiyenti ko'tarilishini rag'batlantirish maqsadida, $\cos \varphi$ ning maksimal qiymatini belgilaydilar. Shu ko'rsatkichga binoan korxonalarning elektr ta'minlash sistemalariga baho beriladi. Barcha iste'molchilar, shu jumladan, korxonalarda asosiy iste'molchi bo'lgan asinxron dvigatellar ham induktiv xarakterga ega. Demak, quvvat koeffitsiyentini aniqlovchi φ burchak manfiy bo'lib, u iste'molchilarning induktivligi bilan belgilanadi. Yuqorida ko'rsatilgan, masalan, 3.14-rasmdagi, vektor diagrammaga muvofiq φ burchakni kamaytirish uchun (φ burchak kamayganda $\cos \varphi$ ko'payadi), induktivlikdagi bor zanjirga sig'im kiritish kerak. Shu maqsadda sun'iy ravishda, iste'molchining zanjiriga parallel ravishda sig'im ulanadi. Natijada tok va kuchlanish orasidagi faza siljish burchagi φ kamayadi.

3.6. Rezonans hodisasi

Har bir erkinlik darajasiga ega bo'lgan konservativ sistemalarda, ya'ni energiya to'planish imkoniyatiga ega bo'lgan sistemada tebranish yuzaga kelishi mumkin. Bu tebranish energiya almashish natijasida vujudga keladi. Tebranish chastotasi tizimning parametrlari bilan aniqlanadi. Erkin yoki xususiy tebranishlar farq qilinadi. Agar bu sistema mexanik

sistema bo'lsa, tebranish kinetik va potensial energiyalar orasida, energiya almashish natijasida sodir bo'ladi. Agar bu sistema L induktivlik va C sig'imga ega bo'lgan elektr zanjir bo'lsa, tebranishlar magnit va elektr maydonlar orasida energiya almashishi hisobiga yuzaga keladi. Har bir sistemada, isrof borligi tufayli, energiya almashish natijasida energiyaning bir qismi yo'qoladi. Shu sababli tebranishlar so'nuvchi bo'ladi, ya'ni energiya almashish jarayonining har bir davrida tebranish amplitudasi kamayib boradi. Mexanik sistemada ishqalanish natijasida, elektr zanjirida qarshiliklarda issiqlik ajralib chiqishi natijasida energiya isrof bo'ladi. Har bir sistemada tebranishlarga qarshilik ko'rsatuvchi kuchlar mavjuddir.

Xususiy va manba ta'sirida sodir bo'lgan majburiy tebranishlarning chastotasi tenglashganda rezonans hodisasi sodir bo'ladi. Rezonans rejimida tebranishlar amplitudasi keskin oshadi.

1. Zanjirda R , L , C qarshiliklar ketma-ket ulangandagi rezonans (kuchlanishlar rezonansi). Bunda zanjirda xususiy tebranish sodir bo'ladi va u zanjirning tebranish konturi deyiladi (3.10- rasmga qarang). Bu zanjirda rezonans sodir bo'lish shartidan xususiy tebranishlar chastotasini topamiz. Om qonuniga asosan:

$$I = \frac{U}{Z} = \frac{U}{R + j(x_L - x_C)}.$$

Zanjirdagi tok, agar $x_L = x_C$ bo'lsa, eng katta (maksimal) qiymatga ega bo'ladi, demak, reaktiv qarshiliklar tengligi bu zanjirda rezonans paydo bo'lish shartidir:

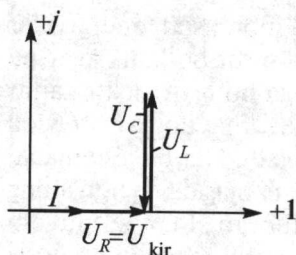
$$\omega L = \frac{1}{\omega C}.$$

Bu munosabatdan xususiy tebranishlar chastotasini topamiz:

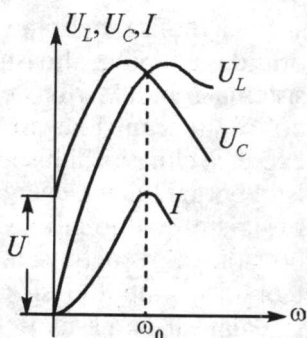
$$\omega_0 = \omega_{\text{rez}} = \frac{1}{\sqrt{LC}}.$$

Bu formuladan ikkita xulosa chiqarish mumkin.

Birinchi xulosa. Rezonans paytida $Z = R$, ya'ni zanjirning umumiy qarshiligi aktiv qarshilikka teng va $U_i = U_C$ bo'ladi.



3.15- rasm.



3.16- rasm.

Ikkinchi xulosa. Konturdagi tebranishlar chastotasi induktivlik L va sig'im C ga bog'liq.

Ketma-ket ulangan zanjirning rezonans paytidagi vektor diagrammasi 3.15- rasmda ko'rsatilgan.

Vektor diagrammadan ko'rinib turibdiki, rezonans paytida U_{kir} — kirish kuchlanishi aktiv qarshilikdagi kuchlanishga teng. Demak, bu paytda zanjirdagi tok va kuchlanish orasidagi faza siljishi, ya'ni $\varphi = 0$ va zanjirdagi tok:

$$I = I_{rez} = \frac{U}{R}; \quad \omega_p = \frac{1}{\sqrt{L \cdot C}}.$$

Bunda $X_L = X_C = \omega \cdot L = \frac{1}{\omega \cdot C} = \sqrt{\frac{L}{C}} = \rho$ — zanjirning reaktiv qarshiliklari, $\rho = \sqrt{\frac{L}{C}}$ — zanjirning to'liq qarshiligi deyiladi.

Rezonans rejimining asosiy hodisasi, bu rezonans paytida tebranishlar amplitudasining keskin ortishidir. Rezonans konturining ana shu xossasini xarakterlovchi kattalik *konturning aslligi* deyiladi. Bu qiymat R , L , C lar ketma-ket ulangan zanjirda bir-biriga teng bo'lgan reaktiv elementlarning kuchlanishi ($U_{L0} = U_{C0}$) va kirish (manba) kuchlanishlarining nisbati bilan aniqlanadi.

$$Q = \frac{U_{L0}}{U_k} = \frac{U_{C0}}{U_k} = \frac{I \cdot x_{C0}}{R} = \frac{\rho}{R}.$$

Bu ifoda rezonans paytida reaktiv elementlardagi kuchlanish kirish (manba) kuchlanishidan necha marta katta bo'lishini bildiradi.

Rezonans konturining aslligi konturning muhim ko'rsatkichi hisoblanadi. 3.16- rasmda ketma-ket ulangan rezonans konturida tok va kuchlanishlarning manba chastotasiga bog'liqlik grafigi — chastota bog'lanish xarakteristikasi ko'rsatilgan. Grafikdan ko'rinib turibdiki, chastota 0 dan ω gacha, ya'ni rezonans chastotasigacha o'zgarguncha zanjirning umumiy qarshiligi $R - jx_c = Z$ bo'ladi, sig'im qarshilik induktiv qarshilikdan katta. $\omega = \omega_0$ zanjirning rezonans nuqtasidir. Bu nuqtada zanjirdagi tok maksimal qiymatga erishadi, induktiv va sig'im kuchlanishlar esa bir-biriga teng. Rezonans nuqtasidan keyin zanjirning umumiy qarshiligi $Z = R + jx$ bo'lib, induktiv qarshilik sig'im qarshilikdan katta. Chastota $\omega = 0$ bo'lganda zanjirdagi tok:

$$I = \frac{U}{R} \left(\omega L - \frac{I}{\omega \cdot C} \right) = 0, \text{ chunki maxrajdagi sig'im qarshilik}$$

cheksizlikka $\left(x_c = \frac{I}{\omega \cdot C} \rightarrow \infty \right)$ intiladi. Tok nolga teng bo'lgani uchun $U_k = IR$ va $U_L = I \cdot U \omega L$ ham nolga teng. Sig'im kuchlanish esa zanjirning kirish kuchlanishiga teng bo'ladi.

2. R, L, C qarshiliklar parallel ulanganda zanjirdagi rezonans. R, L, C elementlar zanjirda parallel ulangandagi rezonans hosil bo'lishini aniqlaymiz. Bunday zanjirdagi rezonans *toklar rezonansi* deyiladi. Chunki, rezonans paytida sig'im va induktivlikdagi toklar bir-biriga teng bo'ladi. Bu zanjir uchun Kirxgofning birinchi qonuniga binoan tenglama yozamiz:

$$\dot{I} = \dot{I}_R + \dot{I}_L + \dot{I}_C = \dot{U}_k \cdot Y.$$

Zanjirning kompleks to'la o'tkazuvchanligi:

$$Y = \frac{I}{U} = g - j \left(\frac{I}{\omega \cdot L} - \omega C \right) = g - jb.$$

Rezonans paytida zanjirdagi tok aktiv qarshilikli tarmoqning tokiga teng bo'lishi kerak. Demak, reaktiv o'tka-

zuvchanlikning nolga teng ($B_L = B_C$) bo'lishi rezonans paydo bo'lish shartidir.

Bu

munosabatdan: $\frac{1}{\omega L} = \omega \cdot C; \quad \omega_{\text{rez}} = \omega_0 = \frac{1}{\sqrt{L \cdot C}}.$

Bu ketma-ket ulangan rezonans konturining xususiy chastota formulasidir. Demak, reaktiv elementlar qanday ulanishidan qat'i nazar, rezonans rezonans konturining chastotasi L va C ga bog'liq. Toklar rezonansida konturning aslligi (sifatlilik) quyidagi nisbatdan topiladi:

$$Q = \frac{I_L}{I} = \frac{I_C}{I} = \frac{\rho}{g}.$$

Bundan:

$$b_L = b_C = \frac{I}{\omega_0 \cdot L} = \omega_0 \cdot C = \sqrt{C/L} = \rho.$$

Yuqorida aytib o'tilganlarga asoslanib shunday xulosaga kelish mumkin. Rezonans paytida, ya'ni xususiy va majburiy tebranishlar chastotalari tenglashganda, zanjirdagi tok va kuchlanishlar amplitudalari shu zanjirdagi reaktiv quvvat hisobiga kuchayar ekan. Agar aniq chastotali signalni (xabar-ni) kuchaytirmoqchi bo'lsak, rezonans konturining aslligiga teng signal (xabar) kuchaytiriladi. Barcha radio va televizion priyomniklarning elektromagnit to'lqinlarni qabul qilib olish prinsipi ana shunga asoslangan. Har bir radiostansiya o'z chastotasiga muvofiq fazoga elektromagnit to'lqin tarqatadi. Har bir radio yoki televizion priyomnikda tashqi antenna bilan ulangan tebranish konturi bor. Radiostansiyalarning elektromagnit to'lqinlari shu antennani kesib o'tganda, bu antennada har bir chastotadan induksiya EYK hosil bo'ladi. Priyomnikning tebranish konturi qaysi radiostansiyaning chastotasiga sozlangan bo'lsa, o'sha radiostansiyaning elektromagnit to'lqinlari kuchaytiriladi, demak, o'sha radiostansiyaning eshitamiz. Shunday qilib, tebranish konturi signalning ham ajratish, ham kuchaytirish sistemasi ishini bajaradi. Rezonans hodisalaridan texnikada juda keng foydalaniladi.

4.1. Uch fazali tok va kuchlanishni hosil qilish

Zanjirga bir vaqtning o'zida ta'sir qiluvchi bir xil chastota va amplitudali uchta, bir-biriga nisbatan 120° siljigan EYKlar majmuasi *uch fazali simmetrik sistema* deyiladi. Uchta EYK bir manbada hosil qilinadi. Har bir EYK ta'sir etuvchi parallel ulangan zanjir *faza* deyiladi. Fazalar mos ravishda A, B, C harflari bilan belgilanadi. EYKlarning oniy qiymatini yozamiz.

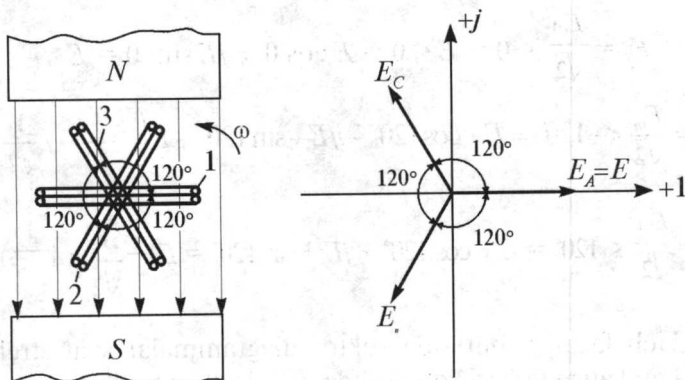
$$E_A = E \sin \omega \cdot t,$$

$$E_B = E \sin (\omega \cdot t - 120^\circ),$$

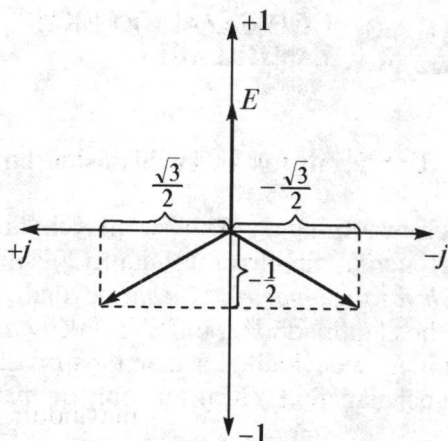
$$E_C = E \sin (\omega \cdot t + 120^\circ).$$

Uchta bir xil o'ramli faza jihatdan bir-biriga nisbatan 120° siljigan chulg'amlarni bir jinsli magnit maydonda ω tezlik bilan aylantirilsa, uch fazali simmetrik EYK hosil bo'ldi.

Hozirgi vaqtda barcha elektr energiya uch xil elektr stansiyalar (IES, GES va AES) da ishlab chiqariladi. Bu elektr stansiyalarda elektr energiya uch fazali tok ko'rinishida sinxron generatorlar yordamida ishlab chiqariladi. Sinxron generatorlar 4.1- rasmda tasvirlangan sistemaning teskari ko'rinishidir, ya'ni



4.1.- rasm.



4.2- rasm.

sinxron generatorlarning statorida uchta chulg'am joylash- tirilgan, aylanadigan induktor qismida magnit maydon hosil qilinadi. Yakor aylanganda uning magnit maydoni statorning uchta chulg'amida EYK hosil qiladi. Chulg'amlarning o'ramlari soni bir xil bo'lgani va bu chulg'amlar fazoda bir-biriga nisbatan 120° gradusga siljiganligi sababli, har bir chulg'amda hosil qilingan EYK bir xil amplitudali bo'ladi.

Bu EYKlarni kompleks shaklda yozamiz va vektor diagrammasini chizamiz:

$$E_A = \frac{E_m}{\sqrt{2}} < 0^\circ = E \cos 0^\circ + jE \sin 0^\circ = E,$$

$$E_B = \frac{E_m}{\sqrt{2}} < -120^\circ = E \cos 120^\circ - jE \sin 120^\circ + E \left(-\frac{1}{\sqrt{2}} - j\frac{1}{\sqrt{2}} \right),$$

$$E_C = \frac{E_m}{\sqrt{2}} < 120^\circ = E \cos 120^\circ + jE \sin 120^\circ = E \left(-\frac{1}{\sqrt{2}} + j\frac{1}{\sqrt{2}} \right).$$

Uch fazali zanjirlarda vektor diagrammalar soat strel- kasi harakatiga teskari yo'nalishda, ya'ni 90° ga burilgan holda ko'rsatiladi (4.2- rasm).

4.2. Uch fazali o'zgaruvchan tok zanjirini „yulduzcha“ usulida ulash

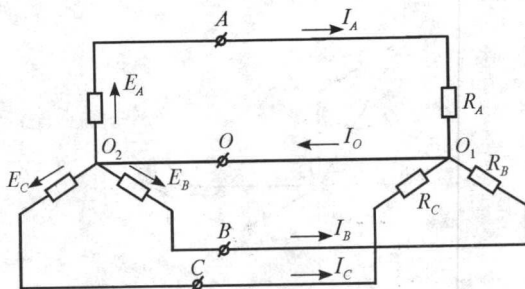
Uch fazali EYKlar va iste'molchilar, asosan, ikkita: „yulduzcha“ va „uchburchak“ usulida ulanadi. „Yulduzcha“ usulida ulangan zanjirni ko'rib chiqamiz. Bu usulda generatorning statoridagi chulg'amlarning bir uchlari X, Y, Z bir tugunga tutashtiriladi va bu tugun „O“ harfi bilan belgilanadi. Bu nuqta befarq nuqta deyiladi. Chulg'amlarning ikkinchi uchlari esa liniya simlari orqali iste'molchiga ulanadi (4.3- rasm). Demak, liniya — generatorning har uchala fazasi yulduzcha usulida ulangan Z_A, Z_B, Z_C iste'molchiga tutashtiruvchi simlardir. Uch fazali zanjirlarni hisoblashda ko'pincha bu simlarning qarshiligi hisobga olinmaydi. Iste'molchining bir uchi generatorning fazalariga, ikkinchi uchi „O₁“ tugunga tutashtirib ulanadi.

Agar iste'molchi har uchala qarshiligining to'la kompleks qiymati bir-biriga teng bo'lsa, simmetrik uch fazali sistema deyiladi. 4.3- rasmdagi liniya toklari iste'molchi toklariga teng bo'lib, quyidagicha aniqlanadi:

$$\dot{I}_A = \frac{\dot{U}_{AO}}{Z_A}; \quad I_B = \frac{\dot{U}_{BO}}{Z_B}; \quad \dot{I}_C = \frac{\dot{U}_{CO}}{Z_C}.$$

Bu formula

$$\begin{aligned} \dot{U}_{AO} &= \varphi_A - \varphi_O = \dot{I}_A \cdot Z_A; & \dot{U}_{BO} &= \varphi_B - \varphi_O = \dot{I}_B \cdot Z_B; \\ \dot{U}_{CO} &= \varphi_C - \varphi_O = \dot{I}_C \cdot Z_C; & \dot{U}_{AO} &= \varphi_A - \varphi_O = \dot{I}_A \cdot Z_A; \\ \dot{U}_{BO} &= \varphi_B - \varphi_A. & \dot{U}_{CO} &= \varphi_C - \varphi_O = \dot{I}_C \cdot Z_C. \end{aligned}$$



4.3- rasm.

$\dot{U}_{AO}, \dot{U}_{BO}, \dot{U}_{CO}$ – faza kuchlanishlari. Bu kuchlanishlar har bir faza va generatorning befarq nuqtasi orasidagi potensiallar ayirmasiga teng.

Konturning biri uchun Kirxgofning ikkinchi qonuniga binoan tenglama yozamiz:

$$\dot{U}_{AB} = \varphi_A - \varphi_B = \dot{I}_A \cdot Z_A - \dot{I}_A \cdot Z_B = \dot{U}_{AO} - \dot{U}_{BO}.$$

Boshqa konturlar uchun:

$$\dot{U}_{BC} = \dot{U}_{BO} - \dot{U}_{CO}; \quad \dot{U}_{CA} = \dot{U}_{CO} - \dot{U}_{AO},$$

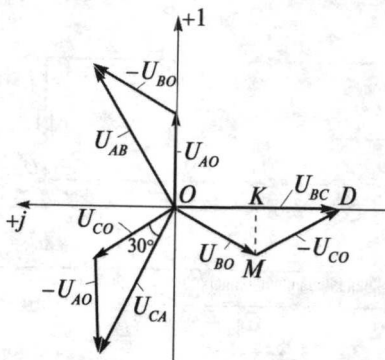
bunda $\dot{U}_{AB}, \dot{U}_{BC}, \dot{U}_{CA}$ – liniya kuchlanishlari. Bu formulalar liniya va faza kuchlanishlarining kompleks kattaliklari oʻrtasidagi bogʻlanishni ifodalaydi.

Mana shu formulalar asosida faza va liniya kuchlanishlarining vektor diagrammasini chizamiz (4.4- rasm). A va B faza kuchlanishlari orqali liniya kuchlanishining ifodasi

$$\dot{U}_{AB} = \dot{U}_{AO} - \dot{U}_{BO}$$

asosida bu vektor diagrammani chizish tartibi bilan tanishamiz. Vektor $\dot{U}_{AO}$ ning oxiriga vektor $\dot{U}_{BO}$ ni shu vektorning oʻziga parallel, lekin teskari yoʻnalishda koʻchirsak, vektor $(-\dot{U}_{BO})$ ni hosil qilamiz. $\dot{U}_{AO}$ va $(-\dot{U}_{BO})$ faza kuchlanishlari vektorlarining yigʻindisi $\dot{U}_{BO}$ kuchlanish vektoriga teng.

Shunga oʻxshash yuqoridagi formulalar asosida $\dot{U}_{BC}$ va $\dot{U}_{AO}$ liniya kuchlanishlari vektorlarini koʻramiz. 4.4- rasmdagi



4.4- rasm.

vektor diagrammadan ko‘rinib turibdiki, liniya kuchlanishlari U_{AB} , U_{BC} , U_{CA} ham bir-biriga nisbatan 120° , faza kuchlanishlari U_{AO} , U_{BO} , U_{CO} esa 30° siljigan.

Endi OMD teng yonli uchburchakning uchidan asosiga perpendikular tushirsak, OKM to‘g‘ri burchakli uchburchakni hosil qilamiz. Bu uchburchakdan:

$$\begin{aligned} \frac{1}{2} \cdot U_{BC} &= U_{BO} \cdot \cos 30^\circ; \\ \cos 30^\circ &= \frac{\frac{1}{2} \cdot U_{BC}}{U_{BO}}; & \cos 30^\circ &= \frac{\sqrt{3}}{2}. \end{aligned}$$

Bu uchburchaklardagi munosabatlar vektor diagramma-ning uchala teng yonli uchburchaklari uchun adolatli bo‘lgani uchun, bu ifodani umumlashtirib quyidagicha yozish mumkin:

$$1/2 U_l = \frac{\sqrt{3}}{2} U_k \text{ yoki } U_K = \sqrt{3} \cdot U_f$$

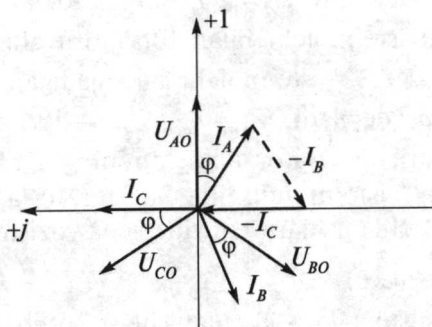
Demak, „yulduzcha“ usulida ulangan uch fazali zanjir uchun:

$$U_l = \sqrt{3} \cdot U_f \quad \text{va} \quad I_l = I_f.$$

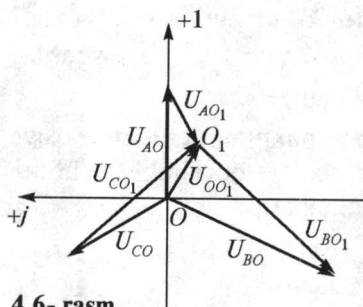
Iste‘molchining neytral nuqtasi bo‘lgan „ O_1 “ tugun uchun Kirxgofning birinchi qonunini yozamiz:

$$\dot{I}_N = \dot{I}_A + \dot{I}_B + \dot{I}_C.$$

Bu toklarning vektor diagrammasini $Z_A = Z_B = Z_C$ shart bilan chizamiz. Har bir fazada to‘la kompleks qarshiliklar aktiv-induktiv xarakterga ega. Har bir fazada reaktiv qar-



4.5- rasm.



4.6- rasm.

simmetrik rejim deyiladi va uch fazali zanjirning bu holatida har bir fazadagi kuchlanish va tok orasidagi faza siljishi φ bir-biriga teng bo'lib, quyidagi ifoda orqali aniqlanadi:

$$\gamma = \arctg \frac{X}{R}.$$

Fazadagi to'la kompleks qarshiliklar teng bo'lmay, EYK simmetrik bo'lsa, bunday rejim *nosimmetrik rejim* deyiladi.

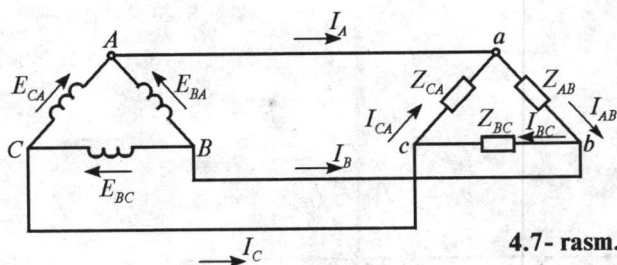
4.6- rasmda $\dot{U}_{AO1} = \dot{U}_{AO} + \dot{U}_{OO1}$ formulaga muvofiq chizilgan vektor diagramma ko'rsatilgan. Bunda $U_{OO1} = U_N$ neytralning og'ish (siljish) kuchlanishi deyiladi va u uch fazali zanjirning nosimmetrikligini ko'rsatadi.

4.3. Uch fazali zanjirlarni „uchburchak“ usulida ulash

Chulg'amlar uchburchak usulida ketma-ket ulanadi, ya'ni har bir chulg'amning oxirgi uchi keyingi chulg'amning boshiga ulanadi. 4.7- rasmda uchburchak usulida ulangan uch fazali zanjir ko'rsatilgan. I_A, I_B, I_C liniya toklari bo'lib, bu tok generatorni iste'molchi bilan tutashtiruvchi simlardan oqadi. I_{AB}, I_{BC}, I_{CA} — iste'molchidan oqadigan toklar; bu toklar *faza toklari* deyiladi. Z_{AB}, Z_{BC}, Z_{CA} — iste'molchining to'la qarshiliklari, generator chulg'amining EYK ta'sirida bo'ladi. Demak, iste'molchining har bir to'la kompleks qarshiligining kuchlanishlarini quyidagicha yozish mumkin:

$$U_{AB} = I_{AB} \cdot Z_{AB}; \quad U_{BC} = I_{BC} \cdot Z_{BC}; \quad U_{CA} = I_{CA} \cdot Z_{CA}.$$

Bu kuchlanishlar faza kuchlanishlari bo'lib, uch fazali



4.7- rasm.

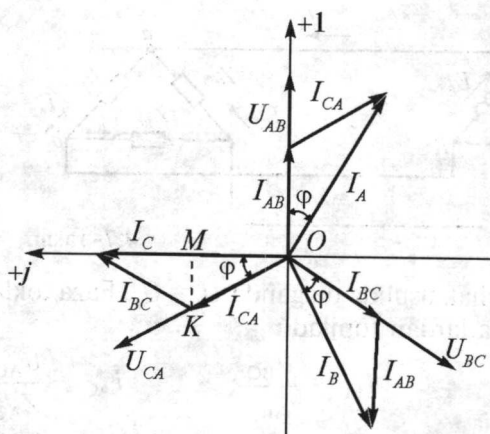
zanjirlarni uchburchak usulida ulaganda $U_f = U_L$. Faza toklari quyidagi munosabatlardan topiladi:

$$\dot{I}_{AB} = \frac{\dot{U}_{AB}}{Z_{AB}}; \quad \dot{I}_{BC} = \frac{\dot{U}_{BC}}{Z_{BC}}; \quad \dot{I}_{AC} = \frac{\dot{U}_{AC}}{Z_{AC}}.$$

Liniya va faza toklari o'rtasidagi munosabatlarni aniqlash maqsadida tugunlar uchun Kirxgofning birinchi qonuniga muvofiq tenglamalar yozamiz:

$$\begin{aligned} \dot{I}_A + \dot{I}_{CA} - \dot{I}_{AB} &= 0, \text{ bu ifodadan } \dot{I}_A = \dot{I}_{AB} - \dot{I}_{CA}; \\ \dot{I}_B + \dot{I}_{AB} - \dot{I}_{BC} &= 0, \text{ bu ifodadan } \dot{I}_B = \dot{I}_{BC} - \dot{I}_{AB}; \\ \dot{I}_C + \dot{I}_{BC} - \dot{I}_{CA} &= 0, \text{ bu ifodadan } \dot{I}_C = \dot{I}_{CA} - \dot{I}_{BC}. \end{aligned}$$

Bu tenglamalarga muvofiq toklarning vektor diagrammasini quramiz. Faraz qilaylik, $Z_{AB} = Z_{BC} = Z_{CA} = R$. Bunda faza toklari faza kuchlanishlari bilan bir xil yo'nalishda bo'ladi. Yuqorida liniya va faza toklari orasidagi munosabatlarni ifodalovchi kompleks sonlar uchun yozilgan formulalarga asoslanib, toklar vektor diagrammasini qurish tartibi bilan tanihamiz (4.8- rasm). Vektor $\dot{I}_{AB}$ ning oxiriga vektor $\dot{I}_{CA}$ ni shu vektorning o'ziga parallel holda, lekin unga teskari yo'nalishda ko'chirsak, vektor $(-\dot{I}_{CA})$ ni hosil qilamiz. Tenglamalar sistemasining birinchi tenglamasiga asosan bu ikki vektor, vektorlar $\dot{I}_{AB}$ va $\dot{I}_{CA}$ yig'indisi, liniya toki vektori $\dot{I}_A$ ni hosil qiladi. Xuddi shunga o'xshash, tenglamalar sistemasining ikkinchi va uchinchi tenglamalariga asosan liniya toklari $\dot{I}_B$ va $\dot{I}_C$ vektorlarini topamiz. Teng yonli uchburchaklarning uchidan asosiga perpendikular tushirib OKM to'g'ri burchakli uchburchak hosil qilamiz va bu uchburchakdan foydalanib, quyidagi munosabatlarni yozamiz:



4.8- rasm.

$$\cos 30^\circ = \frac{\frac{1}{2} I_n}{I_{CA}} \text{ yoki } \frac{1}{2} I_C = I_{CA} \cdot \cos 30^\circ; \quad \cos 30^\circ = \frac{\sqrt{3}}{2}.$$

Ifodani umumlashtirib

$$I_l = \sqrt{3 \cdot I_\Phi}.$$

Demak, uchburchak usulida ulangan uch fazali zanjirlar uchun asosiy munosabatlar quyidagicha yoziladi:

$$I_l = \sqrt{3 \cdot I_f}, \quad U_l = U_f.$$

Uch fazali zanjirda aktiv quvvat har bir faza quvvatlarining yig'indisiga teng:

$$P = P_A + P_B + P_C.$$

Har uch fazadagi iste'molchilarning qarshiliklari simmetrik (bir tekis) bo'lganda bu munosabat quyidagicha yoziladi:

$$P = 3 P_f.$$

Har bir fazaning quvvati

$$P_f = I_f I_f \cos \varphi,$$

bunda φ_f — faza kuchlanishi va tokning o'zaro siljish burchagi.

Bu ifodani hisobga olib simmetrik rejimda uchala fazaning quvvatini ifodalaymiz:

$$P = 3 I_f U_f \cos \varphi.$$

Quvvatni liniya toki va kuchlanishi orqali ifodalaymiz. Yulduzsimon ulaganda:

$$U_L = U_f \sqrt{3}; \quad I_L = I_f$$

Uchburchak usulida ulaganda: $U_L = I_f \cdot U_L = \sqrt{3} \cdot I$.

Bu ifodalardan ko'rinib turibdiki, yulduz usulida ulashda ham, uchburchak usulida ulashda ham uch fazali quvvat formulalari bir xil:

$$P = \sqrt{3} U_L I_L \cos \varphi.$$

Ych fazali zanjirlarda reaktiv quvvat formulasini shunga o'xshash chiqarish mumkin:

$$Q = \sqrt{3} U_L I_L \sin \varphi.$$

Iste'molchilarning qarshiliklari bir tekis (simmetrik) bo'lganda to'la quvvat:

$$S = \sqrt{3} U_L I_L = \sqrt{P^2 + Q^2}.$$

Bir fazali zanjirlar uchun qurilgan quvvatlar uchburchagi uch fazali zanjirlar uchun ham o'z kuchini yo'qotmaydi; uchburchaklardagi munosabatlardan:

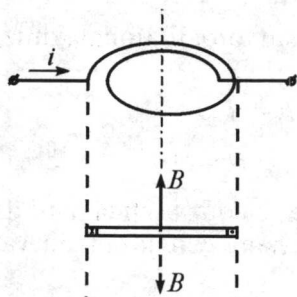
$$\varphi = \arctg \frac{Q}{P}; \quad \cos \varphi = \frac{P}{S}; \quad \sin \varphi = \frac{Q}{S}.$$

4.4. Aylanuvchi magnit maydon hosil qilish

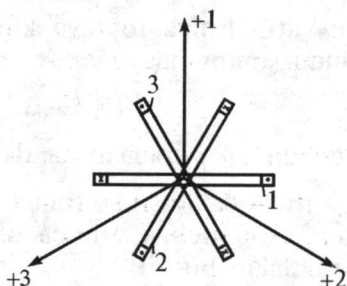
Magnit induksiya vektori kattaligi o'zgarmas bo'lib, fazoda ω burchak tezlik bilan aylanadigan magnit maydoniga *aylanuvchi magnit maydon* deyiladi.

Aylanuvchi magnit maydon hosil qilishni ko'rib chiqamiz. Faraz qilaylik, chulg'amning bir o'ramidan o'zgaruvchan tok o'tyapti (4.9- rasm).

Bu chulg'amning frontal proyeksiyasida tokning yo'nalishini ko'rsatuvchi strelkaning uchini nuqta bilan, strelkaning oxirini bir-birini kesib o'tgan ikki chiziq— xoch bilan belgilaymiz. Tokning berilgan musbat yo'nalishi va parma qonuniga binoan magnit maydon induksiyasining vektori pastga yo'nalgan bo'ladi. Tok o'zgaruvchan bo'lganligi sababli davrning ikkinchi yarmida tokning va demak, magnit induksiyasining yo'nalishi qarama-qarshi tomonga o'zgaradi.



4.9- rasm.



4.10- rasm.

Bunday maydon pulsatsiyalanuvchi maydon deyiladi. Faraz qilaylik, shunday o'ram uchta bo'lib, ular bir-biriga nisbatan fazoda 120° ga siljigan. 4.10- rasmda har bir o'ram tokining berilgan musbat (+) yo'nalishiga binoan, magnit induksiya vektorlarining musbat (+) yo'nalishlari ko'rsatilgan. Har bir o'ramdan mos ravishda uch fazali tok o'tganda shu chulg'am-larning magnit induksiyasi vektorlarining yig'indisini har onda (lahzada), ya'ni $t = 0, t_2 \dots t_n$ da ko'rib chiqamiz (4.11- rasm).

4.12- rasmda vaqt $t = 0$ bo'lganda har bir chulg'amning induksiya vektori va vektorlar yig'indisi ko'rsatilgan. $t = 0$ da $I_1 \cdot I_2 = 0$, I_2 va I_3 qarama-qarshi yo'nalishli bo'lib, bir xil kattalikka ega. Demak, magnit induksiya vektorlari $B_1 = 0$, B_2, B_3 .

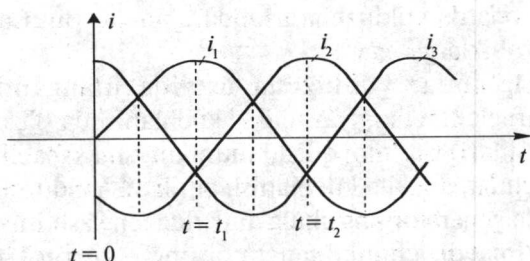
Vektorlar yig'indisi B_Σ parallelepiped qoidasiga binoan topiladi. 4.12- rasm, b da $t = t_1$ bo'lganda I_1 musbat ishorali bo'lib, eng katta (maksimal) qiymatga ega. I_2, I_3 manfiy ishorali bo'lib, bir xil qiymatga ega. Demak, magnit induksiya vektorlari ham toklar yo'nalishi bilan aniqlanadi: $B_1 = B_{1\max}$, $B_2 = B_3$.

Vektorlar yig'indisi: $B_\Sigma = B_1 + B_2 + B_3$.

4.12-rasm, b da $t = t_2$ bo'lganda I_2 manfiy ishorali bo'lib, eng katta (maksimal) qiymatga ega. $I_1 = I_2$ bo'lib, musbat ishorali.

Magnit induksiya vektorlari mos ravishda yo'nalgan:

$B_2 = B_{2\max} + B_1 = B_3$. Vektorlar yig'indisi $B_\Sigma = B_1 + B_3$. Shunday qilib, 4.12- rasmdan ko'rinib turibdiki, magnit



4.11- rasm.

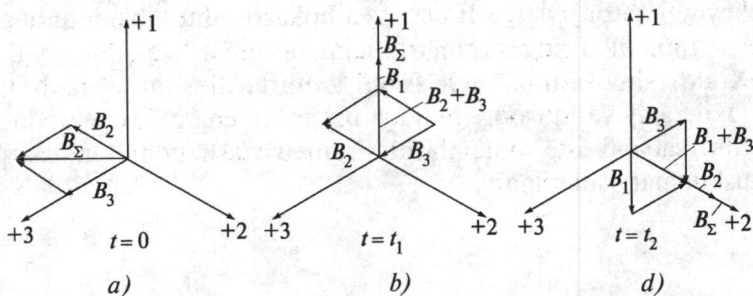
induksiya natijaviy vektorlarining kattaligi o'zgarmay, yo'nalishi o'zgaradi, boshqacha aytganda, natijaviy vektor kattalik o'zgarmasdan aylanadi.

Magnit induksiyasi vektorlarining aylanish tezligi quyidagi formula yordamida aniqlanadi:

$$n_0 = \frac{60 \cdot f}{P},$$

bunda: f — chiziqli chastota, P — juft qutblar soni. Aylanuvchi magnit maydon elektr uskunalarda keng qo'llaniladi. Masalan, asinxron dvigatellarda bu uch chulg'am asinxron dvigatelning qo'zg'almas qismi — statorda joylashgan bo'lib, statorda uch fazali toklar ta'sirida aylanuvchi magnit maydon hosil bo'ladi. Magnit maydonning aylanish yo'nalishi fazalar ketma-ketligi (tartibi)ga bog'liq. Har qanday ikki fazaning o'rinlari almasha, aylanish yo'nalishi ham o'zgaradi.

Yuqorida aytib o'tganimizdek, elektr energiyasi barcha elektr stansiyalarida uch fazali tok ko'rinishida sinxron generatorlarda ishlab chiqariladi. Sinxron generatorning chul-



4.12- rasm.

g'amlari odatda yulduzcha usulida ulanadi. Bu usulda ulash qator afzalliklarga ega.

Chulg'amlar yulduzcha usulida ulanganda elektr uskunalari elektr energiyasini ikki kuchlanishda (faza va liniya kuchlanishlari) iste'mol qilishi mumkin, shu sababli aksariyat iste'molchilarga ikkita kuchlanish beriladi. Yulduzcha usulida ulanganda generatorning chulg'amlarida tenglashtiruvchi toklar hosil bo'lmaydi, chunki generatorning o'ziga tok o'tadigan berk zanjir yo'q. Iste'molchining qarshiliklarini o'lchash generatorning ulanish usullariga bog'liq emas. Qarshilik asosan tarmoqning kuchlanishi u yoki bu elektr uskunaning nominal, ya'ni asosiy va normal holatdagi ish kuchlanishiga qarab aniqlanadi. Elektr tarmoqlari kuchlanishi 1000 V gacha va undan yuqori tarmoqlarga bo'linadi. Elektr tarmoqlari kuchlanishi 1000 V gacha bo'lgan guruh ichida turmushda asosan quyidagi nominal kuchlanishlar qatori qo'llaniladi: $U_{nom} = 127V; 220V; 380V; 660V$.

Bu nominal kuchlanishlar qatorida har bir keyingi nominal kuchlanish avvalgisidan $\sqrt{3}$ marta katta. Bu iste'molchilar uchun qator qulayliklar tug'diradi. 380/220 V kuchlanish turmushda keng tarqalgan bo'lib, bunda $U_A = 380 V$ va $U_B = 220 V$.

Bir fazali iste'molchilar asosan uy-ro'zg'or (turmushda) ishlatiladigan elektr uskunalardir. Yoritish lampalari, sovitgich, televizor, dazmol, elektr choynak va hokazolar shular jumlasidandir. Bunday iste'molchilarning har bir guruhi bir fazaga (A fazaga) ulanadi, masalan, bir qator uylarga, keyingi qator uylarga B fazasi va hokazo. Shu sababli bunda iste'molchilarning simmetrikligini ta'minlash ancha qiyin. Xuddi shu vaqtda, uch fazali zanjirlarni simmetrik holi texnikaviy va iqtisodiy nuqtayi nazardan eng qulay rejimdir. Shu sababli iste'molchilarni simmetriklash uchun maxsus uskunalar ishlatiladi.

V BOB. ELEKTR O'LGHASHLAR

5.1. Elektr o'lgashlar va elektr o'lgash asboblari haqida umumiy ma'lumot

Elektr qurilmalar me'yorda ishlashi uchun elektr energiyasini tavsiflovchi kattaliklar (tok, kuchlanish, quvvat, energiya sarfi va boshqa kattaliklar) doimo nazorat qilib turilishi lozim. Bu maqsadda sanoat korxonalari o'lgash asboblari bilan jihozlanadi. O'lgash asboblari va avtomatik qurilmalarga xizmat ko'rsatish uchun korxonalarda alohida maxsus bo'lim tashkil etiladi.

O'lgash natijasida olingan ma'lumotlar haqiqiysiga taqqoslanadi. Har bir o'lgashda qandaydir xatolikka yo'l qo'yiladi. Bu xatolik o'lgash asbobining aniqlik sinfi bilan baholanadi.

Fizik kattaliklarni o'lgash uchun quyidagilarni bilish shart:

1. O'lchov birligi. Har bir fizik kattalikning o'lchov birligi bor. Masalan, tok kuchi — amper; kuchlanish — volt; og'irlik (massa) — kilogramm; elektr quvvati — Vatt; elektr energiyasi — Vatt · soat bilan o'lchanadi va hokazo.

2. O'lchov asbobi — o'lgash jarayonini amalga oshiruvchi texnik vosita (ampermetr, voltmeter, vattmetr, hisoblagich).

3. O'lchov o'zgartirgichlari. O'lchov asboblarining o'lgash imkoniyatlarini kengaytiruvchi texnik vosita. Bu turkumga noelektrik kattaliklarni elektrik kattalikka mutanosib tarzda o'zgartiruvchi datchiklar kiradi. Masalan, taxometr — aylanish tezligini kuchlanish yoki tokka mutanosib tarzda o'zgartirib beruvchi texnik vosita.

O'lgash vositalarining ikki turi mavjud:

1. Ishchi o'lgash vositalari — bevosita texnik kattaliklarni o'lgash uchun foydalaniladi.

2. Namunaviy (andazali) ishchi o'lgash vositalari — o'lgash vositalarini tekshirish va nazorat qilish uchun foydalaniladi.

O'lgashdagi xatolik. O'lgash asbobi ko'rsatgan kattalik va shu kattalik haqiqiy qiymatining ayirmasi *absolut xatolik*

deyiladi: $\Delta A = A_{kk} - A_h$; A_{kk} — asbob ko'rsatgan kattalik, A_h — haqiqiy qiymat.

Mutlaq xatolikning shu kattalik haqiqiy qiymatiga nisbati, foiz hisobida, *nisbiy xatolik* deyiladi va δ bilan ifodalanadi.

$$\delta = \frac{\Delta A}{A_h} = \frac{A_{kk}}{A_h} \cdot 100.$$

Ko'pincha o'lchash asboblarining xatoligi keltirilgan xatolik bilan aniqlanadi.

Absolut xatolikning shu o'lchash asbobining mo'tadil kattaligiga, foiz hisobidagi nisbatiga *absolut xatolik* deb aytiladi. O'lchash asbobining mo'tadil kattaligi, shu asbobning maksimal, ya'ni eng katta qiymatidir.

$$\gamma_h = \frac{\Delta A}{A_{nom}}.$$

A_{nom} — o'lchash asbobining mo'tadil qiymati. Davlat standartiga ko'ra har bir o'lchash asbobi o'lchash paytida yo'l qo'yiladigan keltirilgan xatolik bo'yicha aniqlik sinflariga bo'linadi. Har bir o'lchash asbobining haqiqiy xatoligi aniqlik sinfidan aniqlanadi:

$$\gamma_h = \gamma = \frac{A_{nom}}{A_{kk}},$$

bu formulada γ — keltirilgan xatolik, asbobning aniqlik sinfi. Masalan, eng katta o'lchanadigan tok 15A bo'lsin, ampermetr bilan 11A tok o'lchanib, aniqlik sinfi 1,5 bo'lsa, haqiqiy xatolik,

$$\gamma_h = 1,5 \frac{15}{11} = 2\% \text{ bo'ladi.}$$

5.2. Magnitoelektrik o'lchash mexanizmi

Kundalik amaliyotda elektr toki va kuchlanishlarni texnik o'lchash uchun ko'pincha magnitoelektrik va elektromagnit sistemalarning strelkali asboblari ishlatiladi.

Magnitoelektrik o'lchash mexanizmining ishlashi doimiy magnit maydon bilan elektr tokining o'zaro ta'siriga asoslangan. Mexanizmning konstruktiv sxemalaridan biri 5.1-rasmda tasvirlangan.

Bu mexanizm bikt mahkamlangan taqasimon doimiy magnit va shu magnit hosil qiladigan magnit maydon muhi-

tida joylashgan qo'zg'aluvchi tokli ramkadan tashkil topgan (5.1- rasm.) Qo'zg'aluvchi qismda aylanma moment o'zgaras magnitning magnit maydoni va ramkadan o'tadigan tokning o'zaro ta'siri natijasida hosil bo'ladi.

O'chash asbobining o'qiga F kuch ta'sir qiladi:

$$F = B \cdot I \cdot l \cdot \omega,$$

bunda B — magnit maydon induksiyasi, I — tok, ω — ramkaga o'ralgan chulg'amdagi o'ramlari soni, l — tokli o'tkazgichning magnit maydoniga kiritilgan qismining uzunligi.

Strelka, o'q va ramka o'zaro biki bog'langan. Ramka aylanganda o'q va strelka ham aylanadi. Ramkaning enini d deb olsak, unga ta'sir qiluvchi aylanma moment:

$$M = F \frac{d}{2}.$$

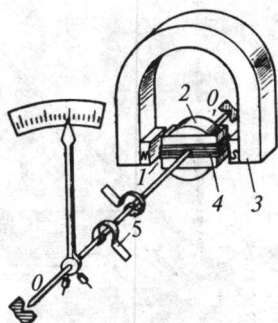
Magnitoelektrik o'lchash mexanizmidan ko'pincha o'zgaras tok kattaliklarini o'lchashda foydalaniladi. Har bir o'lchash mexanizmini tok, kuchlanish va boshqa elektrik kattaliklarni o'lchashda qo'llash mumkin. Bunda uning o'lchash sxemasi o'zgaradi, xolos.

5.3. Elektromagnit va elektrodinamik o'lchash mexanizmlari

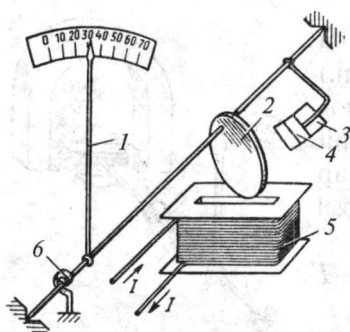
Bu mexanizmlarning ishlash prinsipi qo'zg'aluvchan ferromagnit o'zak qo'zg'almas chulg'amning ichiga tortilishiga asoslangan (5.2- rasm).

O'lchanadigan tok yoki tokka proporsional kattalik g'altakdan o'tib, ferromagnit o'zakni tortishi natijasida aylanma moment hosil bo'ladi. Ma'lumki, magnit maydonning energiyasi shu maydonni hosil qiluvchi tokning kvadratiga proporsional:

$$W_m = L \frac{I^2}{2}.$$



5.1-rasm.



5.2-rasm.

Mana shu energiya hisobiga o'zak g'altak ichiga tortiladi. Shu ifodaga asoslanib, o'lchash asbobining o'qiga ta'sir etuvchi aylanuvchi momentni topish mumkin:

$$M = \frac{I^2 \Delta L}{2 \Delta \alpha},$$

bunda: $\Delta \alpha$ — ferromagnit o'zakning g'altakka tortilish burchagi, ΔL — ferromagnit

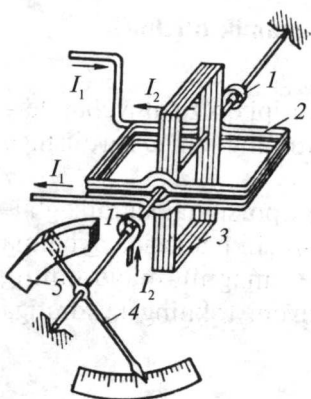
o'zak g'altak ichiga kirishi natijasida induktivlikning o'zgarishi.

Demak, bu turli o'lchash asboblarning raqamlar shkalasi proporsional bo'lmaydi, chunki tok va aylanuvchi momentni bog'lovchi ifoda ikkinchi darajalidir.

Bu o'lchash asboblardan asosan o'zgaruvchan tok kattaliklarini o'lchashda foydalaniladi.

Elektr zanjirlarida quvvat va energiyani o'lchash uchun elektrodinamik va o'lchov mexanizmlarining ishlash prinsipidan foydalanish mumkin. Amalda odatda elektrodinamik vattmetrlar va elektr energiyasining induksion schotchiklari ishlatiladi.

5.4. Elektrodinamik o'lchash mexanizmi



5.3- rasm.

Ma'lumki, tok o'tayotgan o'tkazgich atrofida elektromagnit maydon hosil bo'ladi. Tok o'tayotgan ikkita o'tkazgich bir-biriga yaqin bo'lsa, ular bir-biriga mexanik kuch bilan ta'sir qiladi. Elektromagnit o'lchash mexanizmining ishlashi shu prinsipga asoslangan. Bu prinsip konstruktiv jihatdan ikki: tokli qo'zg'almas va tokli qo'zg'aluvchan chulg'amlar (g'altak)ning o'zaro ta'siri shaklida amalga oshadi (5.3- rasm). Qo'zg'aluvchan

chulg'amni harakatga keltiradigan aylantiruvchi momentni quyidagicha ifodalash mumkin:

$$M_{\text{ayl}} = I_1 \cdot I_2 \frac{\Delta M}{\Delta \alpha},$$

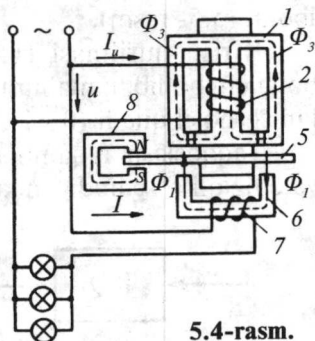
bunda I_1 va I_2 — mos ravishda qo'zg'aluvchi va qo'zg'almas chulg'amlardan o'tayotgan tok, ΔM — o'zaro induksiya koefitsiyentining o'zgarishi (burchak $\Delta \alpha$ ga qarab o'zgaradi); α — fazodagi g'altaklar orasidagi burchak. G'altaklardan tok o'tgan sari bu burchak $\Delta \alpha$ ga o'zgaradi.

Bu o'lchash mexanizmi ko'pincha vattmetrlarda qo'llaniladi. Magnitoelektrik mexanizmida bo'lgani singari qo'zg'aluvchan g'altak ikkita spiral prujina orqali energiya oladi.

5.5. Induksion va raqamli o'lchash mexanizmi

Bizga ma'lumki, agar ikki chulg'amning magnit oqimlari orasida faza siljishi bo'lsa, yakuniy magnit oqim aylanma magnit oqim bo'ladi. Demak, bu aylanma magnit oqim aylanma momentni hosil qiladi. Induksion o'lchash mexanizmining ishlashi shu prinsipga asoslangan. Ya'ni induksion o'lchash mexanizmlarida o'zgaruvchan magnit maydon shu maydon induksiyalangan toklariga ta'sir qiladi. Bundan shunday o'lchagichni faqat o'zgaruvchan tok zanjirlaridagina ishlatish mumkin, degan xulosa kelib chiqadi. Bu o'lchash mexanizmi ko'pincha energiyani o'lchagichlarda qo'llaniladi. 5.4- rasmda induksion o'lchash mexanizmi elektr energiyasi schotchigi (hisoblagich) ko'rsatilgan. Kuchlanish chulg'amining o'ramlari soni juda ko'p bo'lib, ko'ndalang kesimi nisbatan ingichka simdan ishlangan bo'ladi va tar- moqqa voltmeter kabi parallel ulanadi.

Tok (pastki) chulg'am ko'ndalang kesimi nisbatan yo'g'on simdan o'raladi va zanjirga ampermetr kabi ulangan. Hisoblagich tokning kuchlanishiga ko'paytirib o'lchaydigan asbob bo'lib, u vaqt davomida, ya'ni



5.4-rasm.

bir soat, sutka, oy davomidagi iste'mol qilingan elektr energiyasini hisobga oladi.

Tok va kuchlanish chulg'amlari qo'zg'almas. Yakuniy aylanma magnit maydon aluminiydan yasalgan diskda uyurma tok hosil qiladi. Yakuniy aylanma magnit maydon va tokli disk magnit maydonlarining o'zaro ta'siri natijasida aylanma moment hosil bo'ladi:

$$M = C \cdot U \cdot I \cdot \cos \varphi,$$

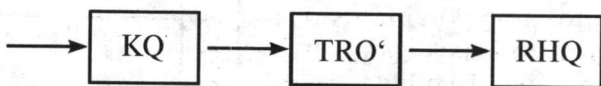
bunda C — proporsionallik koeffitsiyenti, U — kuchlanish chulg'amining kuchlanishi, I — tok chulg'amidan o'tadigan tok kuchi, φ — tok va kuchlanish vektorlari orasidagi burchak.

Hisoblagich diskining aylanishlar sonini iste'mol qilinayotgan elektr energiyaga tenglashtirish uchun diskning aylanishiga proporsional bo'lgan tormozlovchi moment zarur bo'ladi. Bu momentni o'zgarmas magnit hosil qiladi.

Raqamli elektr o'lchash mexanizmlari. Keyingi yillarda butun dunyoda integral mikrosxemalar asosida yaratilgan raqamli texnologiyalar misli ko'rilmagan sur'atlar bilan rivojlanmoqda. Bu usul bilan elektr o'lchashlar oson, qulay va yuqori aniqlikda amalga oshiriladi. Katta integral mikrosxemalarni yaratish texnologiyasi yuqori mukammallikka erishganligi tufayli raqamli mexanizmlar asosida yaratiladigan o'lchash asboblarning narxi ham arzon. Elektr o'lchashning asosi — „kod“ lardir. Kod — bir necha signal (impuls)lardan iborat, ma'lum raqamga mos, elektr kattalikni shartli ravishda aks ettiradi. Raqamli elektr o'lchash asboblari (masalan, voltmetr Bk 7–10) umumiy holda quyidagi mexanizmlardan iborat (5.5- rasm).

Kirish qurilmasi (KQ) — katta qarshilikli kuchlanish bo'lgichi bo'lib, u ma'lum qutblarda normallashtirilgan kuchlanish hosil qiladi (0–1).

Taqqoslash raqamli o'zgartirgichi (TRO') komparator va chiziqli o'zgaradigan kuchlanish generatoridan iborat. Bu



5.5- rasm.

ikki mexanizm kuchlanish yoki boshqa elektr kattaliklarni taqqoslaydi va raqamli hisobot qurilmasiga (RHQ) uzatadi.

Raqamli o'lchash asboblari shkala, strelka va shunga o'xshash boshqa texnologik murakkab elementlar yo'q. Kelgusida barcha elektr asboblari aynan mana shu turdagi o'lchash mexanizmlari qo'llaniladi.

5.6. Tok, kuchlanish va quvvatni o'lchash

Yuqorida ko'rib chiqqan elektr o'lchash asboblari yordamida barcha elektr kattaliklar: tok, kuchlanish, quvvat va hokazolarni o'lchash mumkin. Qaysi kattalik o'lchanishiga qarab o'lchash sxemasi o'zgartiriladi.

Elektr tokini o'lchash. Tokni o'lchaydigan asbob *ampermetr* deb ataladi. Bu asbob elektr zanjiriga ketma-ket ulanadi. Demak, o'lchanadigan tok asbobning chulg'amidan o'tadi.

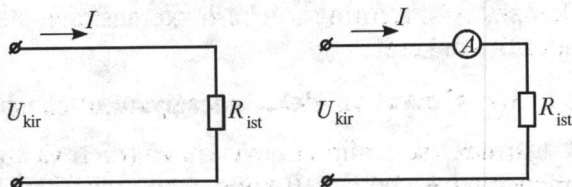
Yuqorida aytganimizdek, har bir o'lchash asbobi xatoliklarga yo'l qo'yadi. Tok Om qonuniga asosan, ampermetr zanjiriga ulanmaganda, quyidagicha aniqlanadi (5.6- rasm, a).

$$I = \frac{U}{R_{ist}}.$$

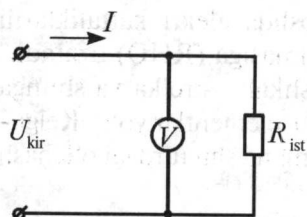
Ampermetr zanjiriga ketma-ket ulanganda tokning kattaligi birmuncha kamayadi, chunki maxrajda yana bir qarshilik — o'lchash mexanizmi chulg'amining qarshiligi kiritiladi va endi tok quyidagicha aniqlanadi (5.6- rasm, b).

$$I = \frac{U}{R_{ist} + R_A}.$$

Demak, o'lchash asbobining elektr zanjiriga ulanishi xatolikka olib kelyapti. Shu xatolikni iloji boricha kamaytirish uchun, ampermetrning ichki qarshiligi nolga intilishi kerak, boshqacha qilib aytganda, bu qarshilik iloji boricha



5.6- rasm.



5.7- rasm.

kichik bo'lib, hech bo'lmasa quyidagi shart bajarilishi kerak: $R \rightarrow 0$ yoki $R_A \ll R_{ist}$. Ya'ni ampermetrning ichki qarshiligi iste'molchining qarshiligidan ancha kichik bo'lishi shart. Ampermetrning o'lchash sxemasi ana shu shartni bajaradi.

Kuchlanishni o'lchash uchun zanjirning kuchlanishi o'lchanadigan qismiga voltmeter parallel ulanadi. Avvalgidek, zanjirga voltmeter ulanmagan holatni ko'rib chiqamiz. Faraz qilaylik, iste'molchi qarshiligi ulangan zanjir qismining kuchlanishini o'lchash lozim bo'lsin. O'lchanadigan kuchlanish (5.6- rasm).

$$U = I R_{ist}. \quad (1)$$

Endi voltmetrni zanjirning shu qismiga parallel ulaymiz (5.7- rasm). Kirxgofning birinchi qonuniga asosan:

$$I = I_{ist} + I_v.$$

Voltmetr yordamida o'lchanadigan kuchlanish.

$$U_v = I_{ist} \cdot R_{ist} = (I - I_v) \cdot R_{ist}. \quad (2)$$

(1) va (2) formulalardan ko'rinib turibdiki, voltmetrda o'tayotgan tok I_v qancha kichik bo'lsa, o'lchangan kuchlanish o'zining haqiqiy qiymatiga shuncha yaqin bo'ladi. Voltmetrdan o'tayotgan tok:

$$I = \frac{U}{R_v}.$$

Agar $R \rightarrow \infty$ bo'lsa, $I_v = \frac{U}{\infty} = 0$ yoki $R_2 \gg R_{ist}$.

Demak, voltmetrning o'lchash sxemasi ana shu shartni qanoatlantirishi kerak.

5.7. Quvvat va elektr energiyani o'lchash

O'zgarmas tok zanjirida quvvatni voltmeter va ampermetr yordamida o'lchasa bo'ladi. Buning uchun tok va kuchlanishni bir vaqtning o'zida o'lchab, ularni ko'paytirish kifoya.

Bir fazali o'zgaruvchan tok zanjirida aktiv quvvat quyidagicha aniqlanadi (5.8- rasm).

$$P = U \cdot I \cdot \cos\varphi.$$

Quvvat elektrodinamik o'lchash mexanizmi asosida ishlangan vattmetr bilan o'lchanadi. Bu o'lchash asbobining tok chulg'ami elektr sxemasiga ampermetr kabi ketma-ket, kuchlanish chulg'ami voltmetr kabi parallel ulanadi.

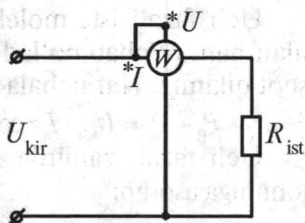
Fazalar siljishini asbobning o'zi hisobga oladi. Tok va kuchlanish chulg'amlari hosil qiladigan elektromagnit maydonlarni moslashtirish uchun har bir vattmetrda tok va kuchlanish chulg'amlarining boshi va oxiri, albatta yulduzcha belgilanadi.

Vattmetr bir bo'limining qiymati quyidagi formuladan topiladi:

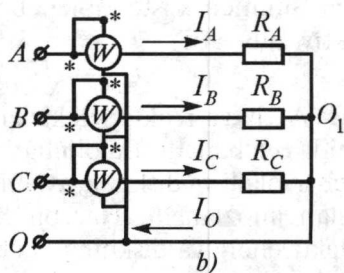
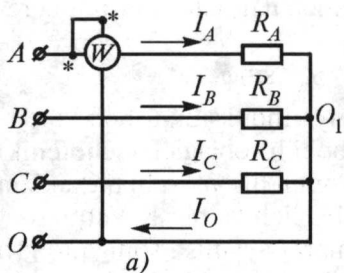
$$C = \frac{U_N \cdot I_N}{\varphi_N},$$

bunda U_N —vattmetrning nominal kuchlanishi, asbobning ko'rsatishi, I_N —vattmetrning nominal toki, asbobning ko'rsatishi, φ_N — asbobning maksimal bo'limlari soni.

Agar uch fazali simmetrik iste'molchining quvvatini o'lchamoqchi bo'lsak, bitta fazaning quvvatini uchga ko'paytirish kifoya (5.9- rasm, a). Agar uch fazali nosimmetrik iste'molchi bo'lsa, har bir faza vattmetr bilan alohida o'lchanishi lozim (5.9- rasm, b).



5.8- rasm.



5.9- rasm.

Uch fazali iste'molchilarning quvvatini ikkita vattmetr bilan ham o'lchab bo'ladi. Shunday imkoniyat mavjudligini isbot qilamiz. Har uchala faza quvvatlari:

$$P = P_A + P_B + P_C = U_{AO} \cdot I_A \cdot \cos \varphi_f + U_{BO} \cdot I_B \cdot \cos \varphi_f + U_{CO} \cdot I_C \cdot \cos \varphi_f \quad (1)$$

Uch fazali zanjirda nol sim bo'lmagan holda Kirxgof qonuniga asosan:

$$I + I + I = 0.$$

Bu ifodadan:

$$I_B = -(I_A + I_C). \quad (2)$$

Bu ifodani (1) formulaga kiritamiz:

$$P = U_{AO} \cdot I_A \cdot \cos \varphi_f - U_{BO} (I_A + I_C) + U_{CO} \cdot I_C \cdot \cos \varphi_f$$

Quyidagi ifodalarni hisobga olib, qayta yozamiz:

$$U_{AB} = U_{AO} - U_{BO}; \quad U_{CB} = U_{BO} - U_{CO};$$

$$P = U_{AB} \cdot I_A \cdot \cos \beta_1 + U_{CB} \cdot I_C \cdot \cos \beta_2.$$

Liniya kuchlanishlari va faza toklarining, mos ravishda, siljish burchaklari:

$$\beta_1 = U_{AB} \cdot I_A; \quad \beta_2 = U_{CB} \cdot I_C.$$

Shu formulaga asosan ikkita vattmetrni kuchlanishlar U_{AB} va U_{CB} ga va toklar I_A , I_C ga ulaymiz (5.10- rasm). Bu ikkita vattmetr uchala faza quvvatini ko'rsatadi.

Reaktiv quvvatni o'lchash. Reaktiv quvvatning liniya kuchlanishi va faza toki orqali ifodasi quyidagicha bo'ladi:

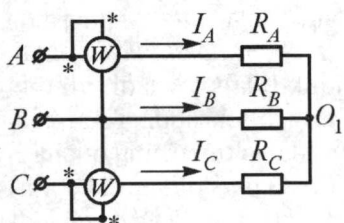
$$Q = U_{BC} \cdot I_A \cdot \sin(U_B \cdot I_A) = U_{DC} \cdot I_A \cdot \cos(90^\circ - \varphi).$$

Keltirish formulasiga asosan: $\sin \varphi = 90^\circ - \varphi$. Demak, reaktiv quvvatni o'lchash uchun vattmetrni quyidagicha ulashimiz kerak (5.11- rasm).

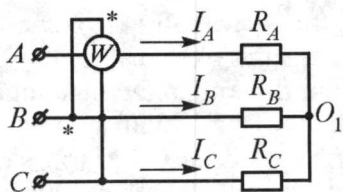
Simmetrik iste'molchi bo'lganda har uchala fazaning reaktiv quvvati:

$$Q_{ist} = \sqrt{3} \cdot U_{BC} \cdot I_A \cdot \sin \varphi.$$

Aktiv va reaktiv elektr energiya induksion asbob yordamida o'lchanadi. Bu o'lchash asbobi hisoblagich (schotchik) deb aytiladi va diskning aylanish sonini hisoblovchi mexanizm bilan jihozlanadi. Har bir hisoblagichda bir K·Vatt · soat elektr energiya diskning necha marta aylanish soniga to'g'ri kelishi ko'rsatiladi. Hozirgi vaqtda asosan bir fazali SA1 va



5.10- rasm.



5.11- rasm.

uch fazali SA3U, SA4U va SR4U hisoblagichlari qoʻllaniladi. SA3U (счётчик активный, трёхфазный, универсальный) hisoblagichi ikki elementlidir.

Noelektrik kattaliklarni elektr oʻlchash asboblari yordamida oʻlchash. Elektr oʻlchash asboblari noelektrik kattaliklarni oʻlchashda ham keng qoʻllanadi. Sababi elektr oʻlchashlar juda aniq olib boriladi va oʻlchash qulaydir. Noelektrik kattaliklarga misol tariqasida bosim, harorat, avtomobilning tezligini keltirish mumkin. Bu kattaliklarni elektr kattalikka — tok yoki kuchlanishga oʻzgartiruvchi mexanizm *datchik* deb ataladi. Avtomobilning tezligi taxogenerator bilan oʻlchanadi. Taxogeneratorning (TG) oʻqi ichki yonish dvigateliga (IYD) ulangan va demak, TGning chulgʻamidagi EYK IYDning aylanish tezligiga proporsional boʻlib, quyidagi ifodadan aniqlanadi:

$$E_{TG} = U_{TG} = C \cdot n \cdot \Phi,$$

bunda: C — oʻzgarmas koeffitsiyent, n — IYD oʻqining aylanish tezligi, Φ — TGning magnit oqimi, oʻzgarmas magnit hosil qiladi.

Demak, voltmetrning koʻrsatishi avtomobilning aylanish tezligiga proporsional ekan. Bunday asbob *spidometr* deyiladi. Bunday misollarni koʻplab keltirish mumkin, masalan, haroratni oʻlchash uchun termoparalar yoki termorezistor (termistor)dan foydalaniladi.

Induktiv va sigʻim *datchiklari*, silfon *datchiklar* ham amalda keng qoʻllaniladi.

Qator hollarda oʻlchash asboblarning oʻlchash chegarasini kengaytirish zaruriyati tugʻilib qolsa, masalan oʻzgarmas tok zanjiridagi ampermetrning oʻlchash chegarasini kengay-

tirmoqchi bo'lsak, o'lchash mexanizmiga parallel ravishda qarshilik ulanadi. Bunday qarshilik *shunt qarshilik* deyiladi. Qarshilikning kattaligi yuqori aniqlik bilan beriladi, chunki aynan mana shu kattalik asbobning o'lchashdagi xatosini belgilab beradi. O'zgarmas tok zanjirida voltmetrning o'lchash chegarasi o'lchash mexanizmiga alohida qarshiliklarni ketma-ket ulab kengaytiriladi. Bu turli qarshiliklar *qo'shimcha qarshilik* $R_{qo'sh}$ deyiladi. Har ikkala, ya'ni shunt qarshilik R_{sh} va qo'shimcha qarshilik $R_{qo'sh}$ ham zavodda asbobga qo'shib beriladi. O'zgaruvchan tok zanjirlarida asboblarning o'lchash chegarasini kengaytirish uchun alohida o'lchash transformatorlaridan foydalaniladi. O'lchash chegarasini kengaytirishning aynan shu usuli elektr tarmoqlarida keng qo'llaniladi. O'lchash transformatorlarining turlari, ularning ishlash prinsipi mazkur kitobning „Transformatorlar“ bo'limida bayon etilgan.

Har bir o'lchash asbobi qator shartli belgilarga ega. Bu shartli belgilar ayni o'lchash asbobini to'liq tavsiflab beradi va ularni ishlatishda qulaylik tug'diradi.

 — magnitoelektrik o'lchash mexanizmi;

 — elektromagnit o'lchash mexanizmi;

 — elektrodinamik o'lchash mexanizmi;

 — induksion o'lchash mexanizmi;

 yoki 2,0 — o'lchash asbobining aniqlik sinfi;

 — 2 kV yoki  — o'lchash asbobi g'ilofining o'lchash

sxemasi izolatsiyasining sinalgan kuchlanishi yoki yuqori kuchlanish;

 — o'lchash asbobining me'yoriy ishlash holatlari (gorizontal yoki vertikal holati);

Wh — aktiv elektr energiyasi hisoblagichi;

Whar — reaktiv elektr energiyasi hisoblagichi;

W — vattmetr.

VI BOB. TRANSFORMATORLAR

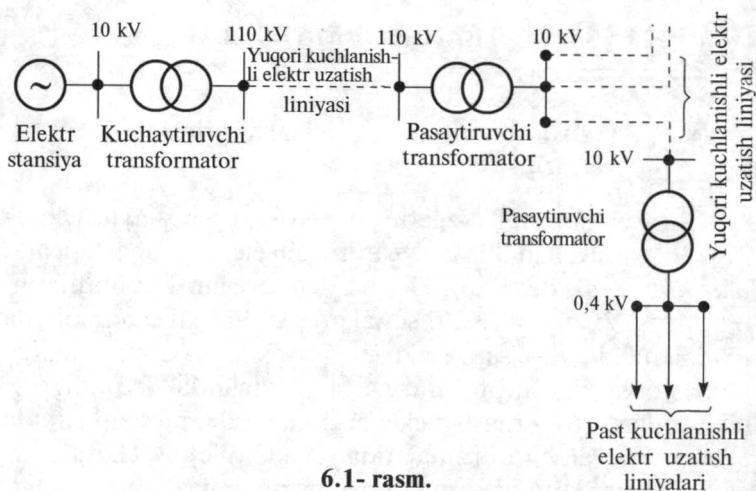
6.1. Transformatorlarning ishlash prinsipi va tuzilishi

Bir kuchlanishli o'zgaruvchan tokning boshqa kuchlanishli o'zgaruvchan tokka o'zgartiruvchi elektromagnit apparat *transformator* deyiladi. Transformatorlar kuchlanishni o'zgartirgich sifatida ko'p sohalarda va har xil maqsadlarda foydalaniladi. Xususan, elektr energiyasini uzoq masofalarga uzatish va iste'molchilarga taqsimlashda, qizdirish, payvandlash, to'g'rilash elektr qurilmalarida, radioapparatda avtomatika, aloqa qurilmalarida, elektr o'lchov texnikasida va hokazolarda transformatorlarning ahamiyati katta. Elektr energiyasini elektr o'tkazgichlar orqali uzoq masofalarga uzatishda elektr energiyasining bir qismi isrof bo'lishini biz bilamiz, ya'ni:

$$\Delta P = \frac{P^2 + Q^2}{U^2} \cdot R_0 \cdot l.$$

Bu formuladan quvvat isrofi kuchlanishning kvadratiga teskari proporsional ekanligi ko'rinib turibdi. Demak, kuchlanishning qiymati qancha katta bo'lsa, quvvat isrofi shuncha kam bo'lar ekan. Xulosa qilib shunday deyish mumkin, elektr energiyasini qancha uzoq masofaga uzatmoqchi bo'lsak, kuchlanish shuncha yuqori bo'lishi kerak. Iste'molchilarning asosiy qismi elektr energiyasini past kuchlanishda iste'mol qiladi. Elektr energiyasining kuchlanishini iste'molchiga yaqin masofaga olib kelgandan keyin pasaytirish lozim. Bu vazifani ham transformatorlar bajaradi. 6.1- rasmda yuqori kuchlanishli elektr tarmog'ining sxemasi ko'rsatilgan. Bu sxemadan kuchaytiruvchi va pasaytiruvchi transformatorlar elektr tarmoqlarida asosiy elementlardan biri ekanligi va uning ahamiyati ko'rinib turibdi.

Elektr tarmoqlarida ishlatiladigan transformatorlar kuch transformatorlari deb ataladi. 6.2- rasmda bir fazali transformatorning ishlash prinsipi va tuzilish sxemasi berilgan.



6.1- rasm.

Ferromagnit o'zakka birlamchi w_1 va ikkilamchi w_2 chulg'amlar o'ralgan. Elektromagnit maydon o'zakning o'lchamlari bilan cheklangan, chunki po'latdan yasalgan o'zakning magnit o'tkazuvchanligi μ_{em} havoning magnit o'tkazuvchanligi M dan ancha katta, ya'ni $\mu_{em} > \mu$; $\mu_p \gg \mu_x$.

Birlamchi chulg'am manbaga, ikkilamchi chulg'am esa iste'molchining qutblariga ulangan. Elektr energiyasi birlamchi chulg'amdan ikkilamchi chulg'amga o'zgaruvchan elektromagnit maydon orqali o'tadi. Birlamchi chulg'amdagi tok o'zinduksiya EYK ni hosil qiladi, bu EYK elektromagnit induksiya qonuniga asosan:

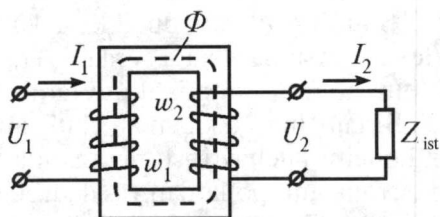
$$e_i = -L \frac{di_1}{dt} = -w_1 \frac{d\Phi}{dt},$$

bunda: $\Phi = \Phi_m \cdot \sin \omega t$ — transformator o'zagidagi magnit oqimi

$$\frac{d\Phi}{dt} = -\Phi_m \cdot \omega \cos \omega t = -\Phi_m \cdot \omega \cdot \sin \left(\omega t - \frac{\pi}{2} \right).$$

Bu ifodalardan EYK ning haqiqiy qiymatini topamiz:

$$E_1 = \frac{E_{1m}}{\sqrt{3}} = 4,44 \cdot f \cdot w_1 \Phi; \quad E_2 = \frac{E_{2m}}{\sqrt{2}} = 4,44 \cdot f \cdot w_2 \Phi_m.$$



6.2- rasm.

Birlamchi va ikkilamchi chulgʻamlar EYK larining nisbati *transformatorlash koeffitsiyenti* deyiladi va har ikkala chulgʻam yagona magnit oqim taʼsirida boʻlgani uchun:

$$K = \frac{E_1}{E_2} = \frac{w_1}{w_2}.$$

Agar $K > 1$ boʻlsa, transformator *pasaytiruvchi* deyiladi, chunki bu holda $E_2 < E_1$. Agar $K < 1$ boʻlsa, transformator *kuchaytiruvchi* deyiladi, chunki $E_2 > E_1$.

Salt yurish rejimida, yaʼni ikkilamchi chulgʻam uzilganda:

$$K = \frac{U_{2C}}{U_{2C}}.$$

6.2. Transformatorning salt va yuklangan rejimlarda ishlashi

Transformatorning salt ishlash rejimini batafsil koʻrib chiqamiz. Salt ishlash rejimida ikkilamchi chulgʻamdagi tok nolga teng boʻladi, lekin birlamchi chulgʻamdagi tok nolga teng emas. Ikkilamchi chulgʻam uzilganda birlamchi chulgʻamdagi tok salt ishlash toki deyiladi va I_s bilan belgilanadi. Transformatorning texnik tavsifida salt ishlash toki sifatida birlamchi chulgʻam kuchlanishi nominal qiymatga teng boʻlgan qiymati beriladi. Salt ishlash toki nominal tok I_n ning 2—10% ini tashkil etadi. Salt ishlash rejimida quvvat isrofi poʻlat oʻzakdagi isrofni anglatadi. Bu isrof oʻzakdagi uyurma toklar va qayta magnitlanish jarayonida vujudga kelgan quvvat isrofidir. Bu isrof R_0 harfi bilan belgilanadi va *poʻlat isrofi* deb yuritiladi. Transformator ishlashi uchun zarur boʻlgan kattaliklar salt ishlash toki va poʻlat isrofi orqali

hisoblanadi. Shuning uchun bu ikkala kattalik transformatorning texnik tavsifida albatta beriladi. Transformatorning salt ishlash quvvati isrofi nominal quvvatning 0,2—0,8% ni tashkil etadi. Birlamchi va ikkilamchi chulgʻamlarning oʻzaro magnit bogʻliqligini kuchaytirish maqsadida transformatorning oʻzagi ferromagnit pōʻlatdan yasaladi. Uyurma toklarni kamaytirish maqsadida oʻzak tunukalardan orasiga elektr toki oʻtkazmaydigan material qoʻyib, yasaladi.

Birlamchi chulgʻam uchun transformator salt ishlash rejimining elektr muvozanat tenglamasini yozamiz.

$$\dot{U}_1 = \dot{E}_1 + \dot{I}_0 \cdot r_{01} + j\dot{I}_0 X_{01},$$

bunda: r_{01} , X_{01} — mos ravishda, transformatorning aktiv va induktiv sochilish qarshiliklari; I_0 — salt ishlash toki.

Transformatorning yuklangan rejimda (nagruzka bilan) ishlashini koʻrib chiqamiz. Birlamchi va ikkilamchi chulgʻamlarning elektr muvozanat tenglamalarini Kirxgofning ikkinchi qonuniga asosan yozamiz:

$$\dot{E}_1 = -\dot{U}_1 + \dot{I}_1 \cdot Z_1; \quad \dot{E}_2 = \dot{U}_2 + \dot{I}_2 \cdot Z_2.$$

Bu tenglamalarda $Z_1 = R_1 + jX_1$ va $Z_2 = R_2 + jX_2$,

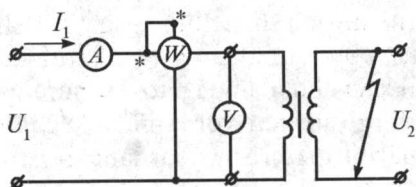
bunda R_1 va R_2 — mos ravishda, birlamchi va ikkilamchi chulgʻamlarning aktiv qarshiliklari, X_1 va X_2 — birlamchi va ikkilamchi chulgʻamlar magnit oqimi sochilishiga taʼsir etuvchi induktiv qarshiliklar, U_2 — isteʼmolchining kuchlanishi.

Chulgʻamlardagi kuchlanish pasayishi $I_1 Z_1$ va $I_2 Z_2$ birlamchi va ikkilamchi kuchlanishlarning bir necha foizinigina tashkil qiladi, shuning uchun uni hisobga olmasa ham boʻladi. Demak, yuqoridagi tenglamalarni quyidagicha yozish mumkin:

$$\dot{U}_1 = -\dot{E}_1 = -4,44f\omega_1 \cdot \Phi_m; \quad \dot{U}_2 = -\dot{E}_2 = 4,44f\omega_2 \cdot \Phi_m.$$

Transformatorning birlamchi chulgʻami ulangan elektr tarmoqning kuchlanishi va chastotasi oʻzgarmas kattalik boʻlganda:

$$\Phi_m = \frac{U_1}{4,44f\omega_2}.$$



6.3- rasm.

Ya'ni o'zakdagi asosiy magnit oqim iste'molchining tokiga bog'liq bo'lmay, birlamchi chulg'amning kuchlanishi bilan aniqlanadi. Demak, salt ishlash rejimidagi magnit oqimi bilan transformator yuklangan rejimda ishlagandagi magnit oqimlarini tenglashtirib olsak bo'ladi.

Ikkilamchi chulg'amning elektr muvozanat tenglamasini qator algebraik almashishlardan keyin, quyidagicha yozish mumkin:

$$\dot{U}'_2 = \dot{E}'_2 - \dot{I}'_2 \cdot r'_2 - j\dot{I}'_2 \div X'_2;$$

$$\dot{U}'_2 = K \cdot \dot{U}_2 \quad \dot{E}'_2 = K \dot{E}_2; \quad I_2 = \frac{I}{K} I_2;$$

$$r'_2 = K^2 r_2, \quad X'_2 = K^2 X_2; \quad Z'_2 = K^2 Z.$$

Bu munosabatlar ikkilamchi chulg'amni tavsiflovchi kataliklarning birlamchi chulg'amga keltirilgan qiymatlarini bildiradi.

Endi transformatorning qisqa tutashgan rejimdagi ishini ko'rib chiqamiz. Bunda transformatorning ikkilamchi chulg'ami qisqa tutashadi va uning to'la kompleks qarshiligi Z_{ist} nolga teng bo'ladi.

Ikkilamchi chulg'am qisqa tutashganda shu chulg'amdan oqayotgan tok nominal qiymatga ega bo'lganda birlamchi chulg'amdagi kuchlanish *qisqa tutashish kuchlanishi* deyiladi va U_q m harfi bilan belgilanadi. Qisqa tutashish kuchlanishi transformatorning asosiy texnik tavsiflaridan biri bo'lib, u birlamchi kuchlanish nominal qiymatining 5—15 % ini tashkil qiladi. Umuman olganda, qisqa tutashish rejimi avariya (shikastlanish) rejimi bo'lib, bunda tok nominal qiymatga nisbatan 10—20 marta oshib ketadi. Transformatorning quvvat isrofini va transformatorni ishlatish uchun zarur bo'lgan

qator kattaliklarni hisoblash uchun qisqa tutashish rejimi-ning kuchlanishi va bu rejimdagi quvvat isrofi juda kerak.

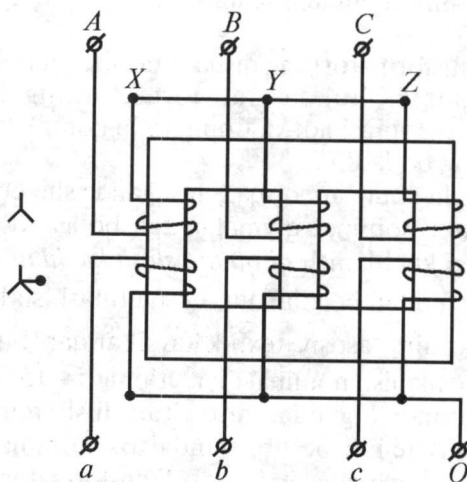
Bu rejimda ikkala chulg'amdagi toklar nominal kattalikka teng bo'lgani uchun vattmetr yordamida o'lchangan quvvat chulg'am o'ramlarini qizdirishga sarflangan isrof quvvatdir (6.3- rasm).

O'ramlar mis simdan ishlangani uchun bu isrof transformatorning misdagi isrofi deyiladi. Bu isrof transformator nominal quvvatining 1—3% ini tashkil qiladi va quyidagi formuladan topiladi:

$$P_m = I_2 \cdot R_{\text{ekv}}$$

6.3. Uch fazali transformatorlar. O'lchash transformatorlari

Uch fazali transformatorning uch o'zagi bo'lib, uchta o'zak sterjenning har birida bitta fazaning ikkita chulg'ami joylashgan. Bu uchta o'zak yagona elektromagnit zanjirni tashkil etadi. Birlamchi va ikkilamchi chulg'amlar yulduzcha yoki uchburchak usullarida ulanadi. Ikkilamchi chulg'amning ulanish usuli iste'molchining nominal kuchlanishiga qarab aniqlanadi. 6.4- rasmda kuch transformatorlarida keng qo'l-



6.4- rasm.

laniladigan birlamchi va ikkilamchi chulgʻamlar yulduzcha usulida ulangan uch fazali transformator koʻrsatilgan. Bu pasaytiruvchi transformator boʻlib, birlamchi 10 kV kuchlanishli chulgʻam yuqori kuchlanishli tarmoqqa ulanadi. Ikkilamchi chulgʻam esa past kuchlanishli tarmoqqa ulanadi. Past kuchlanishli chulgʻamning neytral simi chiqariladi. Demak, past kuchlanishli chulgʻamda faza va liniya kuchlanishlari mavjud. Rasmda X, Y, Z harflar bilan yuqori kuchlanishli chulgʻamlar, mos ravishda, tugash uchlari ham belgilangan.

Yuqori kuchlanishli tarmoqlarda elektr kattaliklarni transformatorlar yordamida ham oʻlchash mumkin. Yuqori kuchlanishli tarmoqlarda tok, kuchlanish, quvvat va elektr energiyasini oʻlchashda, xavfsizlikni taʼminlash va odatdagi oʻlchov asboblari oʻlchash chegaralarini oshirish maqsadida ikki xil oʻlchov transformatorlaridan foydalaniladi. Birinchi xil transformatorlarda oʻlchaganda transformator ikkilamchi chulgʻa-mining qarshiligi iloji boricha kam boʻlishi, yaʼni oʻlchash jarayonida qisqa tutashish rejimiga yaqin boʻlishi kerak. Transformatsiyalash koeffitsiyenti esa oʻzgarmas boʻlishi lozim:

$$K_1 = \frac{\omega_1}{\omega_2} = \frac{I_1}{I_2} = \text{const.}$$

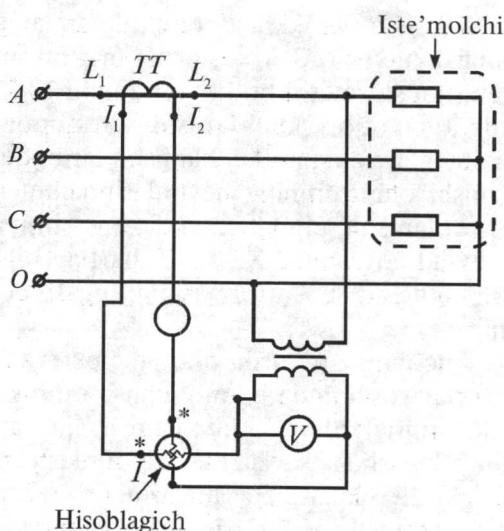
6.5- rasmda tok transformatorini yuqori kuchlanishli tarmoqqa ulash sxemasi koʻrsatilgan. Birlamchi chulgʻam w_1 isteʼmolchiga ketma-ket ulangan. Yuqori kuchlanishli tarmoqning toki quyidagi formuladan topiladi:

$$I_1 = K_1 \cdot I_2.$$

Tok transformatorining ikkilamchi chulgʻamiga ampermetrdan tashqari vattmetr yoki elektr energiyasini hisoblagich ham ulanadi.

Ikkinchi xil oʻlchash transformatorlari kuchlanish transformatori boʻlib, ularning transformatsiyalash koeffitsiyenti oʻzgarmasdir:

$$K_i = \frac{w_2}{w_1} = \frac{U_2}{U_1} = \text{const.}$$



6.5- rasm.

Kuchlanish transformatorlarining ikkilamchi chulg'amiga voltmetrdan tashqari elektr energiyasi hisoblagichining kuchlanish chulg'ami ham ulanadi. 6.5- rasmda bu transformatorni ulash sxemasi berilgan. Birlamchi chulg'am iste'molchi bilan parallel ulangan bo'lib, yuqori kuchlanishli tarmoqning kuchlanishi quyidagi formuladan aniqlanadi:

$$U_1 = K_{TN} \cdot U_2.$$

Ko'pincha avtotransformatorlar ham qo'llaniladi. Transformatorlarda birlamchi va ikkilamchi chulg'amlar orasida elektr bog'liqlik bo'lib, ikkilamchi chulg'am birlamchi chulg'amning bir qismidir. Transformatsiyalash koeffitsiyenti bu yerda avvalgidek quyidagi ifodadan aniqlanadi:

$$K = \frac{n_1}{n_2} = \frac{w_1}{w_2}.$$

Maxsus moslama yordamida ikkilamchi chulg'amning o'ramlar soni w_2 o'zgartiriladi, demak kuchlanish o'zgartirilishi mumkin.

Transformatorni ishlatish uchun qator kattaliklar ma'lum bo'lishi kerak. Bulardan asosiylari salt ishlash va qisqa tutashish rejimlarini tavsiflovchi kattaliklardir: R_0 — salt ishlash quvvat isrofi; I_0 — salt ishlash toki, nominal tokdan foiz hisobida beriladi; R_q — qisqa tutashish quvvat isrofi; U_q — qisqa tutashish kuchlanishi, nominal kuchlanishdan foiz hisobida beriladi.

Bundan tashqari, transformator chulg'amlarining ulash usuli (yulduzcha yoki uchburchak), nominal tok va kuchlanish, transformatorlarning nominal quvvati berilishi lozim.

Transformatorning foydali ish koeffitsiyenti (FIK):

$$\eta = \frac{P_2}{P_1} = \frac{P_2}{P_2 + \Delta P_n + \Delta P_0}, \quad \beta = \frac{S_{ist}}{S_{nom}},$$

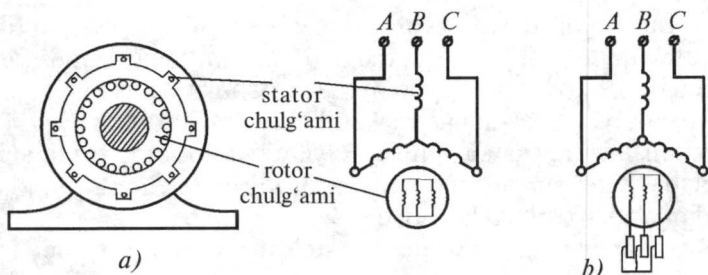
bunda P_1 — transformator tarmoq qutblaridagi quvvat, P_2 — iste'molchi qutblaridagi quvvat, S_{ist} — iste'molchining to'liq quvvati, S_{nom} — transformatorning nominal quvvati, β — yuklanish koeffitsiyenti. Bu transformatorning asosiy ko'rsatkichlaridan biri bo'lib, me'yor (nominal) rejimida $\beta = 0,7 \div 0,85$ ga teng. Elektr podstantsiyadagi ikki transformatorning yuklanish koeffitsiyenti β ni 1,2—1,4 gacha ko'tarish mumkin. 6.7- rasmda transformatorning FIK va yuklanish koeffitsiyentining bog'liqlik grafigi ko'rsatilgan. Transformatorlarni loyihalashda yuklanish koeffitsiyenti 0,7—0,85 ga teng bo'lganda eng katta (maksimal) FIK ta'minlanadi. Transformatorlarning maksimal FIK $\eta = 0,95 \div 0,97$.

7.1. Asinxron dvigatellarning tuzilishi va ishlash prinsipi

Elektr mashinalar vazifasiga ko'ra ikki xil bo'ladi. Birinchi xil mashinalar mexanik energiyani elektr energiyaga aylantirib beradi. Bu mashinalar *elektr generatorlar* deyiladi. Bug' yoki gaz turbinalari, ichki yonuv dvigatellari (masalan, dizel) generatorlarni harakatga keltiradigan birlamchi mexanik energiya manbai bo'lib hisoblanadi. Generatorlar asosan elektr stansiyalarida ishlatiladi. Elektr energiyasini mexanik energiyaga aylantirib beradigan ikkinchi xil elektr mashinalar *dvigatellar (motorlar)* deyiladi. Elektr dvigatellar xalq xo'jaligining deyarli hamma sohasida ishlatiladi.

Generatorlar ishlab chiqaradigan yoki dvigatellar iste'mol qiladigan tok turi jihatidan o'zgaruvchan tok generatori yoki dvigateli deyiladi. Barcha elektr mashinalari qaytuvchanlik xossasiga ega, ya'ni qaytar jarayonda ishlay oladi. Masalan, elektr dvigatel generator rejimida, generator esa dvigatel rejimida ishlashi mumkin. Quyida o'zgaruvchan elektr mashinalarining bir turi — asinxron dvigatellarni ko'rib chiqamiz.

Asinxron motorlar (asinxron dvigatel) elektr energiyasini mexanik energiyasiga aylantirib beradi. Bu dvigatellar konstruksiyasining soddaligi, arzonligi, ishda ishonchliligi sababli sanoat, qishloq xo'jaligi va xalq xo'jaligining barcha sohalarida keng qo'llaniladi. Har qanday elektr mashinalari kabi asinxron dvigatel generator rejimida ham ishlashi mumkin. Avvallari asinxron dvigatelning generator rejimida ishlashi iqtisodiy-texnik jihatdan maqsadga muvofiq emas, deb hisoblanar edi. Ammo keyingi yillarda o'tkazilgan ilmiy tadqiqotlar, asinxron mashinalarning generator sifatida ishlatilishi qator afzalliklarga ega ekanligini ko'rsatdi. Hozirgi vaqtda asinxron mashinalar asosan uch fazali dvigatellar sifatida ishlatiladi.



7.1- rasm.

Asinxron dvigatel qo'zg'almas qism — stator va aylanuvchi qism — rotordan tashkil topgan. Statorda ayrim elektrotexnik po'lat plastinkalardan yig'ilgan o'zak o'rnatilgan bo'lib, uning sirtidagi ariqchalarga (pazlarga) fazoda 120° ga siljigan mis simdan iborat uchta o'ram joylashtirilgan. Bu o'ramlar yulduzcha yoki uchburchak usulida ulangan uch fazali elektr tarmog'iga tutashtirilgan. Stator chulg'amlarining natijaviy magnit maydoni aylanuvchi bo'lib, rotorning chulg'amlarini kesib o'tadi.

Asinxron dvigatelning rotori silindr shaklida ishlangan bo'lib, uning ham o'zagi ayrim elektrotexnik po'lat plastinkalardan yasalgan. Uning ariqchalarida (pazlarida) chulg'amlar joylashtirilgan. Asinxron dvigatellar rotor chulg'ami ishlanishiga ko'ra ikkiga bo'linadi. Rotori qisqa tutashgan asinxron dvigatel, aluminiy sterjenlardan tayyorlangan bo'lib, bunday asinxron dvigatelning rotori qisqa tutashgan asinxron dvigatel deyiladi (7.1.- rasm, a).

Agar rotor chulg'ami oddiy mis yoki aluminiy simlardan uch fazali qilib ishlangan, bunday asinxron dvigatel faza rotorli asinxron dvigatel deyiladi (7.1- rasm, b). Uning chulg'amlari yulduzcha usulida ulanib, maxsus mexanizm vositasida har uchala faza qarshiliklari birdaniga o'zgartirilishi mumkin. Faza rotorli asinxron dvigatellar qisqa tutashgan rotorli asinxron dvigatellarga nisbatan qator afzalliklarga ega. Bu afzalliklar haqida keyinroq gapirishamiz.

Stator chulg'amlari natijaviy magnit maydonining aylanish tezligi quyidagi formuladan topiladi:

$$\eta_0 = \frac{60 \cdot f}{P},$$

bunda: f — o'zgaruvchan tok chastotasi, p — juft qutblar soni.

Bu magnit maydon rotorning chulg'amlarini kesib o'tib, chulg'amlarda EYK va demak, berk kontur bo'lganda tok hosil bo'ladi. Har qanday tokli o'tkazgichni magnit maydonga kiritsak, bu o'tkazgichga mexanik kuch ta'sir qiladi. Shunga binoan, rotorga ta'sir qiluvchi aylanuvchi moment vujudga keladi. Agar magnit maydon va rotor birga aylansa, bunday aylanish sinxron aylanish deyiladi. Asinxron dvigatellarda rotorning aylanish tezligi dvigatelning o'qi (val) dagi ish mashinasi hosil qilgan tormozlovchi momentga bog'liq. Demak, rotorning aylanish tezligi magnit maydon aylanish tezligidan farq qiladi. Mana shu farqni xarakterlovchi kattalik „sirpanish“ deyiladi va bu kattalik quyidagi formuladan aniqlanadi:

$$S = \frac{n_0 - n_1}{n_0},$$

bunda n — magnit maydonning aylanish tezligi, n_1 — rotorning aylanish tezligi.

Dvigatelni yurgizish paytida $n = 0$; $S = 1$. Dvigatelning salt ishlash rejimida: $n_0 = n_1$, $S = 0$. Demak, sirpanish $S = 1 \div 0$ atrofida o'zgaradi.

7.2. Asinxron dvigatel rotor chulg'amingin EYK va chastotasi. Yurgizish toki

Asinxron dvigatelning rotorida hosil bo'ladigan EYK ning chastotasi quyidagi formuladan aniqlanadi:

$$f_{\text{rot}} = \frac{(n_0 - n_1) \cdot p}{60},$$

bunda: $n_0 - n_1$ — magnit maydon va rotor aylanish tezliklarining ayirmasi, p — juft qutblar soni.

Bu formulani magnit maydonning aylanish tezligiga ko'paytirib bo'lamiz:

$$f_2 = \frac{(n_0 - n_1) P \cdot n_0}{60 n_0} = S \cdot f_2.$$

Demak, rotorning EYK va tokining chastotasi sirpanish kattaligi bilan aniqlanadi. Sirpanish kattaligi esa yuqorida aytib o'tganimizdek dvigatelning mexanik yuklanishi bilan aniqlanadi.

Rotorda vujudga keladigan mexanik EYK, elektromagnit induksiya qonuniga asosan, transformatorning ikkilamchi chulg'ami EYKinikiga o'xshash formuladan aniqlanishi mumkin:

$E_2 = 4,44 \cdot f_2 \cdot w_2 \cdot \Phi$, biz bilamizki, $E'_1 = 4,44 \cdot w_2 \cdot \Phi$, shunda $E_2 = E'_1 \cdot S$.

Demak, rotorning EYK ham sirpanishga bog'liq.

Asinxron dvigatelning induktiv qarshiligi:

$$X_L = w_2 \cdot L_2 = 2\pi f_2 \cdot L_2 = X'_2 \cdot S.$$

Shunday qilib, asinxron dvigatelning rotorini xarakterlovchi kattaliklar: EYK, chastota, induktiv qarshilik, sirpanish ekan. Rotorning toki Om qonuniga asosan:

$$I_2 = \frac{E_2}{Z_{\text{rot}}} = \frac{E'_1 \cdot S}{\sqrt{R_2 + (X'_2 \cdot S)^2}}.$$

Normal rejimda ishlaydigan asinxron dvigatelning sirpanishi $S = 0,01 \div 0,06$ chegarada o'zgaradi. Sirpanishning nominal qiymatini nazarga olib bu ifodani tahlil qilamiz. Dvigatelni yurgizish paytida sirpanish eng katta (maksimal) $S = 1$ qiymatga erishadi. Rotor toki formulasining ham surati, ham maxrajida sirpanish kattaligi bor. Lekin tokning miqdoriga suratdagi sirpanish maxrajdagi sirpanishga nisbatan ko'proq ta'sir qiladi. Shu tufayli dvigatelni yurgizish paytida sirpanish maksimal — o'z nominal qiymatidan o'nlab marotaba katta qiymatga, rotor toki ham nominal qiymatidan 8—12 marta katta qiymatga erishadi. Asinxron dvigatelni yurgizish paytida o'tkinchi jarayon juda qisqa vaqtda — sekundning o'ndan bir hissasi davomida o'tsa ham, rotor toki va demak, stator toki ham nominal tokka nisbatan o'nlab marotaba oshadi. Bu asinxron dvigatelning kamchiligidir.

7.3. Asinxron dvigatelning energetik ko'rsatkichlari va aylanish momenti

Asinxron dvigatelning energetik diagrammasi va aylanish momentini ko'rib chiqaylik. Asinxron dvigatelning uch fazali elektr tarmog'idan olayotgan quvvati:

$$P_1 = \sqrt{3} \cdot U \cdot I_1 \cdot \cos \varphi_\Phi.$$

Bu aktiv quvvatning bir qismi ΔR_M stator chulg'amingning qizishiga sarflanadi. Tarmoqdan olingan quvvatning qolgan qism bu elektromagnit maydon orqali rotorga o'tadi va elektromagnit quvvat deyiladi. Elektromagnit quvvatning bir qismi rotor chulg'amingning qizishiga sarflanib, qolgan qismi rotorning aylanishiga sarflanadi, ya'ni mexanik quvvatga aylanadi:

$$P_{em} = P_2 - \Delta P_q.$$

Bu ifodada P_2 — mexanik quvvat.

Mexanik quvvatning bir qismi ΔP_1 ishqalanishga sarflanadi, qolgan qismi esa foydali quvvat bo'lib, dvigatel o'qi (vali)da aylanuvchi moment hosil qiladi:

$$P_{em} = P_2 - (\Delta P_q + \Delta P_1).$$

Rotorga berilgan elektromagnit quvvati: $P_{em} = \omega_0 \cdot M$.

Rotorning mexanik quvvati: $P_{mex} = \omega_1 \cdot M$, bunda ω_0 — magnit maydonning burchak tezligi. Bunda $\omega_0 = \frac{2\pi \cdot n_0}{60}$ — rotorning burchak tezligi.

Elektromagnit va mexanik quvvatlarni tenglashtirib olamiz va qator soddalashtirishlardan keyin quyidagi formulani chiqaramiz:

$$M = 9550 \frac{P_{mex}}{n_1}$$

Asinxron dvigatel o'qining aylanish momenti:

$$M = K \cdot \Phi \cdot I_{ish} \cdot \cos\varphi.$$

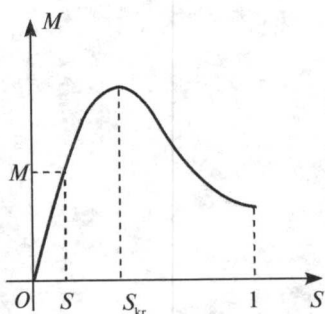
Bu formulada: $K = \frac{4,44 \cdot M \cdot w_2 \cdot K_2 \cdot f_2}{w_0}$ — o'zgarmas kattalik.

Rotorning toki: $I_2 = \frac{E_2^1}{Z_2} \cos\varphi_2$.

Demak, dvigatelning o'qidagi aylanuvchi moment sirpanishga bog'liq ekan.

7.2- rasmda dvigatel aylanish momentining sirpanishga bog'liqlik grafigi ko'rsatilgan. Grafik va formulalarning tahlili shuni ko'rsatadiki, sirpanish 0 dan kritik qiymatgacha

o'zgarganda asinxron dvigatel barqaror ishlaydi. Sirpanish kritik qiymatdan o'zining maksimal qiymatigacha o'zgarganda ishi barqaror bo'lmaydi. Dvigatelning eng katta (maksimal) qiymati kritik sirpanishga to'g'ri keladi. 7.2-rasmda ko'rsatilgan grafikka ko'ra, dvigatelni yurgizish paytida sirpanish $S = 1$ bo'lib, aylanuvchi moment nominal qiymatidan kam bo'ladi, ya'ni M aylanuvchi momentga baravar bo'lganda rotorda rejim o'rnatiladi.



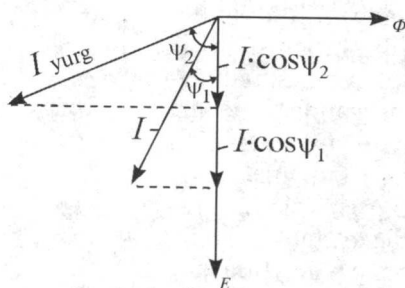
7.2- rasm.

7.3- rasmda asinxron dvigatelning vektor diagrammasi ko'rsatilgan. Vektor diagrammani magnit oqimdan boshlagan ma'qul, chunki magnit maydon o'zgarmas kattalik bo'lib, aylansa ham shu maydonga proporsional magnit oqim rotorga nisbatan o'z yo'nalishini o'zgartirmaydi. Rotorning EYK bu oqimga nisbatan 90° siljigan bo'ladi. Yurgizish paytida o'zining maksimal qiymati $S = 1$. Shu sababli rotorning toki ham maksimal qiymatiga erishib, nominal tokdan 8—12 marotaba oshadi. Lekin bu tokning aylanuvchi moment hosil qiladigan tashkil qiluvchisi 7.3- rasmda tasvirlangan vektor diagrammaga ko'ra katta bo'lmaydi. Rotorning aylanish tezligi ortgan sari sirpanishning nominal qiymati 0,06 dan $= 0,01 \div 0,06$ gacha kamayadi va demak, rotorning toki ham kamayadi. Lekin bu tokning aylanuvchi moment hosil qiladigan tashkil qiluvchisi ko'payadi. Shunday qilib, yurgizish paytida rotor toki o'zining eng katta qiymatiga ega bo'lsa ham, bu tok hosil qiladigan yurgizish momenti M aylanish momentining qiymatidan kam. Yuqorida asinxron dvigatel rotor tezligining ifodasi keltirilgan edi:

$$n_1 = n_1 (1 - S) = \frac{60 \cdot f}{P} (1 - S).$$

Bu formulaning tahlili shuni ko'rsatadiki, asinxron dvigatel rotor tezligini o'zgartirish uchun:

- elektr tarmoq chastotasini o'zgartirish kerak;
- rotorning sirpanishi S ni o'zgartirish kerak;
- juft qutblar soni P ni o'zgartirish kerak.



7.3- rasm.

Elektr tarmog'ining chastotasi o'zgarmas kattalikdir. Shu sababli rotor aylanish tezligini bu yo'l bilan o'zgartirish uchun maxsus chastota o'zgartirgichlardan foydalaniladi. Juft qutblar soni dvigatelni loyihalash paytida aniqlanadi. Juft qutblar soni magnit maydonni va demak, rotorning ham aylanish tezligini o'zgartiradi. Quyidagi jadvalda juft qutblar soni va magnit maydonning aylanish tezligi ko'rsatilgan:

Juft qutblar soni	P	1	2	3	4
Magnit maydonning aylanish tezligi	$n_o, \frac{\text{ayl}}{\text{s}}$	3000	1500	1000	750

Juft qutblar sonini faqat maxsus dvigatellarda o'zgartirish mumkin. Rotorning aylanish tezligini bu usulda o'zgartirish qisqa tutashtirilgan rotorli dvigatellarda qo'llaniladi.

Sirpanishni rotor chulg'aming aktiv qarshiligini o'zgartirish yo'li bilan o'zgartirish mumkin. Bu usul faza rotorli dvigatellarda qo'llaniladi. Faza rotorli asinxron dvigatellarda rotorning har uchala chulg'ami maxsus moslama vositasida aktiv qarshilikka ulanadi.

Bu aktiv qarshiliklar o'zgartirilganda sirpanish o'zgaradi va demak, rotorning aylanish tezligi ham o'zgaradi. Yuqorida dvigatelning aylanish momenti formulasini chiqargan edik, ya'ni

$$M = 9550 \frac{P_{\text{mex}}}{n_1}$$

Rotorning aylanish tezligi n kamayganda, rotorning o'qi (vali) dagi quvvat o'zgarmagan holda, uning aylanish mo-

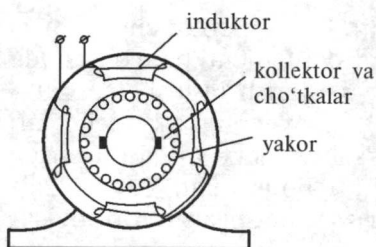
menti ham o'zgaradi (ko'payadi). Demak, rotor chulg'amiga ulangan qarshilik o'zgarsa, aylanish momenti ham o'zgaradi. Faza rotorli dvigatellar asosan ko'tarish-tashish mashinalarida qo'llaniladi. Bu dvigatellarning geometrik o'lchovlari katta, boshqarish ancha murakkab va narxi qisqa tutashgan rotorli dvigatellarga nisbatan katta bo'lsa ham, qator afzalliklarga ega: a) yurgizish toki qisqa tutashgan rotorli dvigatellarga nisbatan kichik; b) yurgizish momenti katta; d) rotor aylanish tezligini pog'onali boshqarish mumkin.

7.4. O'zgarmas tok mashinalari

O'zgarmas tok dvigatellari hozirgi vaqtda asosan elektr transportda — metro, trolleybus, tramvayda qo'llanilmoqda. Bunga sabab barcha elektr dvigatellar orasida faqat o'zgarmas tok dvigatellarining aylanish tezligini ravon va bir tekis o'zgartirish mumkin. O'zgarmas tok generatorlarining kuchlanishi ravon boshqariladi. Shunga muvofiq bu generatorlar avtomatika va telemexanika qurilmalarida keng qo'llaniladi. O'zgarmas tok mashinalari qaytarlik xossasiga ega. Barcha o'zgarmas tok dvigatellari generator rejimida, generatorlar esa dvigatel rejimida ishlay oladi. O'zgarmas tok mashinasi (O'TM) uchta qo'zg'almas qism, aylanuvchi qism va kollektordan tuzilgan. Mashinaning qo'zg'almas qismi — induktorda bosh va yordamchi qutblar joylashgan bo'lib, bu qutblarning o'zagi elektrotexnik po'lat plastinkalardan yig'ilgan. Bosh qutblarda uyg'otish chulg'amlari joylashtirilgan bo'lib, ketma-ket ulangan va ular asosiy magnit maydonni hosil qiladi. Bosh qutblar orasiga yordamchi qutblar joylashtirilgan. Faqat katta quvvatli mashinalardagina yordamchi qutblar bo'ladi. Ular cho'tkalar ostidagi uchqunni kamaytirish uchun qo'shimcha magnit maydon hosil qiladi.

Mashinaning aylanuvchi qismi yakor deyiladi. Yakorning o'zagi ham elektrotexnik po'lat plastinkalardan silindr shaklida ishlangan. Yakor ariqchalariga chulg'am joylashtirilgan. Chulg'amning ketma-ket ulanuvchi ikki seksiyani tutash-tiradigan uchlari kollektor plastinkalariga ulangan (7.4- rasm).

Kollektor alohida mis plastinkalardan silindr shaklida yasaladi. Har bir kollektor 5080 ta plastinkadan yig'ilgan. Kollektor generatorda mexanik to'g'rilagich vazifasini



7.4- rasm.

asoslangan. Statorda joylashgan uyg'otish chulg'amlaridan o'zgaras tok o'tganda, bu tok bir jinsli o'zgaras magnit maydon hosil qiladi. Yakor tashqi mashina vositasida magnit maydonda aylantirilganda uning chulg'aming har bir seksiyasida EYK hosil bo'ladi. Bu EYK quyidagi formuladan aniqlanadi:

$$E = B \cdot v \cdot l \cdot \sin \alpha.$$

Har bir seksiya EYK ini kollektor va cho'tkalar orqali bir tomonga yo'nalgan pulsatsiyalanuvchi tok hosil qiladi. Seksiyalar soni va demak, kollektordagi plastinkalar soni ham ko'p bo'lgani tufayli EYK ning qiymati yetarli darajada katta bo'ladi, tokning pulsatsiyalanishi pasayadi. Yuqoridagi EYK formulasidagi chiziqli tezlikni quyidagicha ifodalash mumkin:

$$v = 2 \cdot p \cdot r \cdot \frac{n}{60},$$

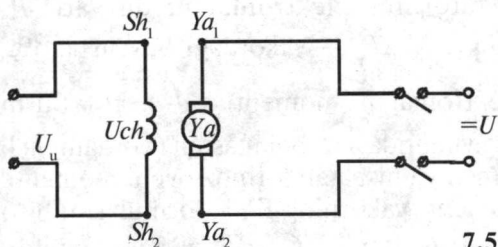
bunda: p — juft qutblar soni r — qutblar markazlari orasidagi masofa (radius), n — yakorning aylanish tezligi.

Agar magnit oqimi $\Phi = \frac{e}{r}$ ekanligini nazarda tutsak, yakorning EYK formulasini quyidagicha yozish mumkin: $E = C \cdot n \cdot \Phi$,

bundan: $C = \frac{P \cdot w}{60 \cdot x}$ — EYK doimiysi — konstruktiv o'zgaras

kattalik bo'lib, bunda: w — yakor chulg'amidagi o'ramlar soni.

7.5- rasmda mustaqil uyg'otishli generatorning elektr sxemasi ko'rsatilgan. Induktorda joylashgan uyg'otish chulg'ami hosil qilgan magnit maydonda yakor aylantiriladi. Yakor



7.5- rasm.

toki $\frac{\tau}{T} = 0$ bo'lib, $n = \text{const}$, ya'ni yakorning aylanish tezligi o'zgarmas bo'lganda, yakor EYK ning uyg'otish tokiga bog'liqlik grafigi. Mustaqil uyg'otish generatorining salt ishlash xarakteristikasini sharhlashdan oldin uyg'otish toki magnit oqimiga proporsionalligini eslab o'tish kerak. Uyg'otish tokini noldan oshirib borilsa, EYK formulasiga muvofiq, salt ishlash rejimi bo'lgani uchun oshib boradi va 1- egri chiziq yasaladi. Uyg'otish tokini kamaytirib borib 2- egri chiziq yasaladi.

Bu grafikning to'g'ri chizikli qismi yakorning o'zagi to'yinmagan holatiga, egri chizikli qismi esa to'yingan holatiga to'g'ri keladi. Uyg'otish toki nolga teng bo'lganda, formulaga muvofiq, EYK ham nolga teng bo'lishi kerak. Lekin xarakteristikada EYK nolga teng emas. Bu barcha elektrotexnik materiallarga xos bo'lgan qoldiq magnit maydon (magnetizm) ta'siridir.

7.5. O'zgarmas tok generatorining tenglamasi va aylanish momenti

Generatorning yakor zanjiri uchun Kirxgofning ikkinchi qonuniga binoan elektr muvozanat tenglamasini yozamiz:

$$U = E - I_{ya} \cdot R_{ya}; \quad E = U_G + I_{ya} \cdot R_{ya}.$$

Bu tenglama generatorning asosiy tenglamasi deyiladi.

Tenglamada $E = C \cdot n \cdot \Phi$; $U_G = C \cdot n \cdot \Phi - I_{ya} \cdot R_{ya}$.

Agar uyg'otish toki $I_u = \Phi$ yoki yakorning aylanish tezligini ravon (silliq) o'zgartirsak, generatorning kuchlanishi va demak, iste'molchining toki $I_i = I_{ya}$ ham ravon o'zgartiriladi.

Asosiy tenglamaning har ikki tomonini yakor tokiga ko'paytirsak $U_G \cdot R_{ya} = E \cdot I_{ya} - I_{ya}^2 \cdot R_{ya}$ yoki quvvat $R_E = P_2 - \Delta P_{ya}$,

bunda P_E — generatorning elektromagnit quvvati, P_2 — iste'molchining quvvati, ΔP_{ya} — yakordagi quvvat isrofi.

Generatorning elektromagnit momenti: $M = \frac{P_E}{\omega}$. Bu moment generatorning yuqoridagi tashqi mashina yordamida hosil qilinadigan momentga nisbatan tormozlovchi momentdir. Elektromagnit moment, yakorning EYK formulasini hisobga olsak: $M_E = C_1 \cdot \Phi \cdot I_2$, bunda C_1 — o'zgarmas kattalik.

Demak, generator momenti magnit oqimi va yakor to'kiga proporsional ekan.

7.6. O'zgaras tok generatorlari

Generatorlar uyg'otish usuliga ko'ra ikki turga bo'linadi:

1. Uyg'otish chulg'ami tashqi o'zgaras tok manbayiga ulangan generatorlar. Bunday generatorlar mustaqil uyg'otish chulg'ami generatorlar deyiladi (7.7- rasm, *a*). Yuqorida generator bu turining sxemasi va salt yurish xarakteristikasini (egriligini) ko'rib chiqqan edik (7.6- rasm).

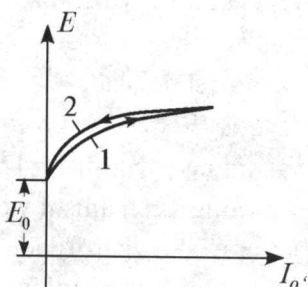
2. O'z-o'zini uyg'otish generatori. Bunday generatorlarning uyg'otish chulg'ami shu generatorning o'zidan tok oladi. Bunda generatorni uyg'otish uchun yakorning o'zagi-dagi qoldiq magnit maydondan foydalaniladi.

O'z-o'zini uyg'otish generatorlari 3 xil bo'ladi:

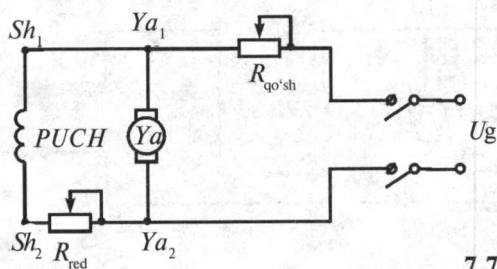
a) parallel uyg'otishli generator. Bunda generatorni uyg'otish uchun chulg'amlar parallel ulanadi. Bu chulg'amning qutblari 7.6- rasm, *b* da PUCH harflari bilan belgilangan;

b) ketma-ket uyg'otishli generator. Bunda uyg'otish chulg'ami (KUCH) yakorga ketma-ket ulanadi. Bu chulg'am 7.7- rasmda KUCH harflari bilan belgilangan;

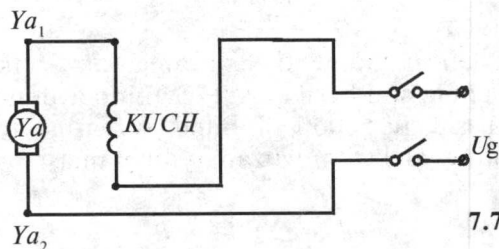
d) aralash uyg'otishli generator. Bunda generatorning ikkita uyg'otish chulg'amining biri yakorga parallel, ikkinchisi ketma-ket ulanadi (7.8- rasm). Bu chulg'amlar mos ravishda parallel va ketma-ket ulangan uyg'otish chulg'amlari deyiladi.



7.6- rasm.



7.7- rasm, a.



7.7- rasm, b.

O'z-o'zini uyg'otish generatorlarida, yakor nominal aylanish tezligi bilan qoldiq magnit oqimini kesib o'tganda, yakorda kichik qiymatli EYK, shuningdek, uyg'otish toki oqa boshlaydi. Uyg'otish toki nominal qiymatgacha o'sib boradi. Generator o'z-o'zidan uyg'onishi uchun uchta shart bajarilishi kerak:

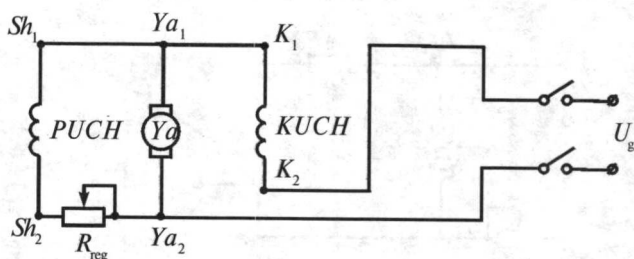
1. Yakorning o'zagida qoldiq magnit maydoni bo'lishi shart.

2. Qoldiq magnit oqimining yo'nalishi uyg'otish toki hosil qilingan magnit oqimi yo'nalishiga mos kelishi zarur.

3. Uyg'otish chulg'amining qarshiligi uncha katta bo'lmazligi kerak.

7.7. O'zgarmas tok dvigatellari

O'zgarmas tok mashinalari qaytarlik xossasiga ega. O'zgarmas tok generatorining kuchlanishini asta-sekin kamaytirsak, mashina o'zgarmas tok elektr tarmog'idan elektr energiyasi iste'mol qila boshlaydi va dvigatel rejimiga o'tadi. Ya'ni mashinaning yakoridagi aylanish momenti tormozlovchi emas, balki o'zi elektromagnit moment hosil qilib tashqi mashinani aylantira boshlaydi.



7.8- rasm.

Bu aylanish momenti yakorning tokli o'tkazgichlari, uyg'otish chulg'ami hosil qilgan magnit maydonning o'zaro ta'siri natijasida hosil bo'ladi. Bunda o'zgarmas tok dvigateli (motori)ning elektr muvozanat tenglamasi quyidagicha yoziladi.

$$U = E + I_{ya} \cdot R_{ya}.$$

Tenglamada $E = C \cdot n \cdot \Phi$ ekanligini hisobga olsak:

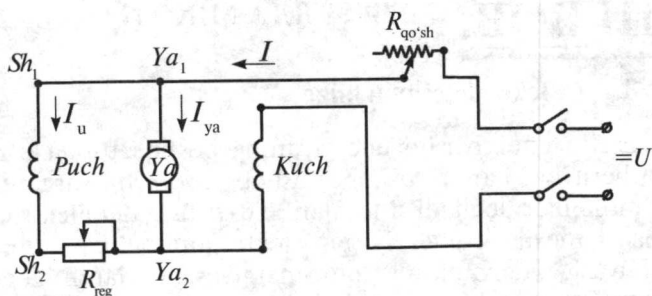
$$U = C \cdot n \cdot \Phi + I_{ya} \cdot R_{ya}.$$

$$\text{Bundan: } n = \frac{U - I \cdot R_{ya}}{C \cdot \Phi}.$$

Agar magnit oqimining uyg'otish tokiga proporsionaligini ($I_{ya} = F$) nazarda tutsak, yakorning aylanish tezligini uyg'otish tokini o'zgartirish yo'li bilan ravon, bir tekis o'zgartirish mumkinligi formuladan ko'rinib turibdi. Asosiy tenglama yakor tokiga nisbatan yechilsa, quyidagi ifoda hosil bo'ladi:

$$I = \frac{U - C \cdot n \cdot \Phi}{R_{ya}}.$$

Dvigatelni yurgizish paytida yakorning aylanish tezligi $n = 0$ bo'ladi, demak, yakorning kuchlanishiga qarshi yo'nalgan EYK $E = c \cdot n \cdot \Phi$ ham nolga teng bo'ladi. Yakor chulg'aming qarshiligi juda kichik bo'lgani uchun dvigatelning toki nominal tokdan $10 \div 20$ marotaba katta bo'ladi. Katta tok o'tganda yakorning chulg'ami kuyib ketishi mumkin. Bunday rejim shikastlanish (avariya) rejimi deyiladi. Bunday



7.9- rasm.

rejimlarga yo‘l qo‘yib bo‘lmaydi. Shu sababli, dvigatel tar-
moqqa ulanadigan zanjirga qo‘shimcha qarshilik kiritiladi
(7.9-rasm).

Dvigatel elektr tarmog‘iga qo‘shilgan paytda qo‘shimcha
qarshilik eng katta qiymatiga oshib borgan sari, EYK ning
kattaligi ham osha boradi, yakor toki esa kamayadi, keyin
qo‘shimcha qarshilik kamaytiriladi.

O‘zgarmas tok dvigatellari ham generatorlar kabi
mustaqil va o‘z-o‘zini uyg‘otish dvigatellariga bo‘linadi.

Dvigatelning aylanma momenti formulasi: $M_{ya} = K \cdot \Phi \cdot I_{ya}$.
Demak, momentning tokka bog‘liqligi to‘g‘ri chiziqli ekan.
Dvigatelning FIK:

$$\eta = \frac{P_2}{P_1} \cdot 100\%,$$

bunda P_1 — dvigatelning elektr tarmog‘idan oladigan quvvati.

Yakorning aylanish tezligi formulasini yuqorida tahlil
qilgan edik.

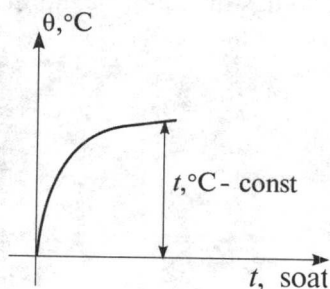
8.1. Elektr iste'molchilar

Elektr energiyasini energiyaning boshqa turiga o'zgartirib beruvchi barcha uskuna, asbob va qurilmalarga elektr iste'molchilar deyiladi. Masalan, elektr dvigatel elektr energiyasini mexanik energiyaga, elektr lampochka — yoritish energiyasiga, dazmol — issiqlik energiyasiga aylantirib beradi. Elektr iste'molchilar kuchlanishi, fazalar soni va boshqa kattaliklari bilan bir-biridan farq qiladi.

Iste'molchilar uchta rejimda ishlaydi. Bu rejim dvigatelning yoki boshqa qurilmaning me'yoriy haroratiga qarab belgilanadi. Ish jarayonida elektr uskuna va qurilmalarning harorati me'yordan oshmagan holda ularni ishlab chiqargan zavod tomonidan belgilangan ishlash muddati ta'minlanadi. Shu asosda qurilmalarning ish rejimi aniqlanadi.

1. Uzoq muddat to'xtamay ishlaydigan dvigatellar. Ularning ishlash rejimi atrof-muhitga ajralib chiqayotgan issiqlik miqdori bilan belgilanadi. 8.1- rasmda ko'rsatilgan egri chiziq shu dvigatel ishini ko'rsatadi. Dvigatel ishga tushgandan so'ng ma'lum vaqt o'tgach, undan ajralib chiqadigan issiqlik miqdori atrof-muhitga uzatilayotgan issiqlik miqdoriga tenglashadi va dvigatelning harorati uzoq muddat, 2—3 smena davomida (14 soat) o'zgarmaydi. Dvigatelning o'zgarmas haroratini pasaytirish maqsadida uning atrof-muhit bilan to'qnashuvchi korpusi yuzasini kengaytirish lozim bo'ladi.

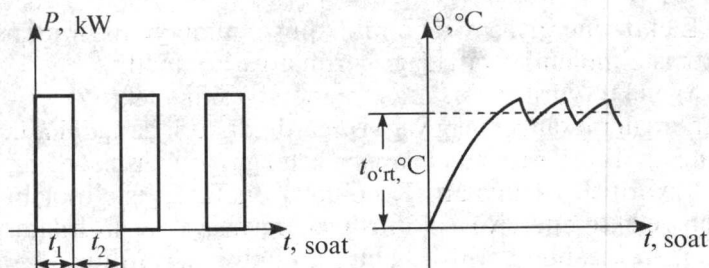
2. To'xtab-to'xtab ishlaydigan dvigatellar. Bu rejimda



8.1- rasm.

ishlaydigan dvigatellarga tokarlik dastgohi sovitgichini misol qilib keltirish mumkin. Bunday dvigatel ma'lum vaqt ishlaydi, keyin tarmoqdan avtomatik tarzda uziladi va t_2 vaqtdan keyin qayta ulanadi. 8.2- rasmda bu dvigatelning ishlash rejimi (a) va haroratining o'zgarishi egri chizig'i (b) ko'rsatilgan.

Bu rejimda ishlaydigan dvigatellarning pasportida ularni



8.2- rasm.

qo'shimcha xarakterlovchi kattalik — qayta ulanish vaqti foiz hisobida ko'rsatiladi va dvigatelni tanlashda hisobga olinadi:

$$PV, \% = \frac{t_1}{t_1 + t_2}.$$

Dvigatelning nominal quvvati

$$P_{\text{nom}} = m_n \cdot \sqrt{PV},$$

bunda t_1 — dvigatelning ishlash vaqti, t_2 — dvigatelning tarmoqdan uzilgan vaqti, P_N — dvigatelning pasportda ko'rsatilgan quvvati.

3. Qisqa muddatli rejimda ishlaydigan dvigatellar. Bir sutka davomida bir yoki yarim soatgina ishlaydigan uskuna va mexanizmlar shular jumlasidandir. Masalan, kemalarni o'tkazib yuborish uchun ko'prikn ajratadigan uskuna. Bu rejimda ishlovchi iste'molchilarning ishlash vaqti sovutilish vaqtidan ancha qisqa.

Umumsanoat iste'molchilari ham mavjud. Bu iste'molchilarga kompressorlar, ventilatorlar, nasoslar va ko'tarib tashuvchi mexanizmlar kiradi. Bu mexanizmlarning ishlash rejimi sanoatning qay sohasidan qat'i nazar bir xil va quvvati 0,22 dan 1000 kW gacha bo'lib, 1- tur (kategoriya)ga kiradi. Masalan, agar nasosning ishi ishlab chiqarish texnologiyasi bilan bog'liq bo'lsa, elektr ta'minotidan uzilishi katta talafotlarga olib kelishi mumkin. Ko'pincha texnologik rejim katta bosimli havo bilan bog'liq bo'ladi va hokazo.

2- tur dvigatellar — mahsulot ishlab chiqarish texnologiyasi bilan bevosita bog'liq 1- tipli iste'molchilar. Masalan, n dona ip yigiruvchi dastgohlar.

Elektr energiyasini iste'mol qilish nuqtayi nazaridan elektr iste'molchilar quyidagi guruhlarga bo'linadi:

a) elektr yuritmalar. Elektr energiyasini elektr dvigatellar orqali mexanik energiyaga o'zgartiradi, turli dastgohlarda ishlatiladi. Bu xil iste'molchilar eng katta guruhni tashkil etadi;

b) yoritish uskunolari. Ko'pincha bir fazali iste'molchi bo'lib, elektr energiyasi yoritish energiyasiga aylantiriladi. Umuman olganda yoritish uchun umumiy quvvatning 10—15% i sarflanadi;

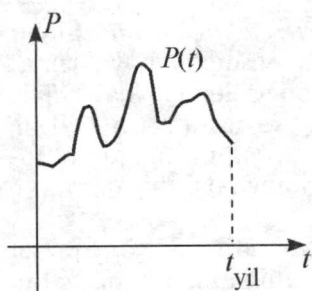
d) elektrotermik yoki termik uskunalar. Elektr energiyasi issiqlik energiyasiga o'zgartiriladi. Bunday iste'molchilarga elektrotexnik po'latning eng sifatli ko'rinishlarini ishlab chiqaruvchi elektrotermik uskunalar kiradi;

e) elektrotexnologik uskunalar. Elektr energiyasi bevosita ishlab chiqarish texnologiyalarida ishlatiladi. Masalan, elektrolit uskunolari, elektr payvandlash, chigitni saralash va hokazo.

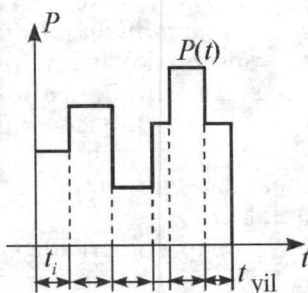
Har bir iste'molchining smena, sutka, kvartal va yil davomidagi iste'mol qilgan quvvati grafiklari olinadi. Bu grafiklar elektr iste'molini hisoblash, iste'molchi va tarmoq o'rtasidagi oldi-sotdi munosabatlari va elektrotexnik uskunalarni tanlashda katta ahamiyatga ega. Har bir ishlab chiqarishning o'ziga xos iste'mol grafigi mavjud va bu grafiklar ma'lumotnomalarda ko'rsatiladi. Shuni ta'kidlab o'tish kerakki, ma'lumotnomalarda keltirilgan grafiklar Rossiya ob-havosiga moslangan. Iste'mol grafiklari o'lchash asboblari yordamida aniqlab olinadi. Ikki xil o'lchash asbobi bor. Birinchisi iste'molni uzluksiz o'lchaydigan asbob. Elektr o'lchash asbobining bu turi bilan olingan iste'mol grafigi 8.3- rasmda, elektr hisoblagichidan olingan ma'lumot asosida tuzilgan iste'mol grafigi 8.4- rasmda ko'rsatilgan. Ko'rinib turibdiki, 8.3- rasmdagi grafik aniqligi yuqori, chunki har bir nuqtaning iste'moli o'lchanadi. 8.4- rasmda ko'rsatilgan grafikda esa umumiy iste'mol oddiy yig'indi asosida aniqlangan.

Ikkinchi usul aniqligi uncha yuqori bo'lmasa ham oddiy. Ko'pincha aynan ana shu usul muhandislik hisoblarida qo'llanadi.

Elektr iste'mol grafiklari har bir iste'molchi uchun, bir guruh uchun, bir xil xossali iste'molchilar uchun, butun korxona uchun olinishi mumkin. Amalda grafik bir kvartal



8.3- rasm.



8.4- rasm.

yoki yil uchun olinadi. Shu asosda korxona va tarmoq orasida hisob-kitoblar amalga oshiriladi.

Elektr iste'molchilarning ishonchlilik darajasi. Barcha iste'molchilar elektr bilan ta'minlashning uzluksizligi bo'yicha uchta ishonchlilik darajasiga bo'linadi:

1. Birinchi darajali iste'molchilar jumlasiga elektr iste'moli uzilganda odamlarning hayotiga xavf tug'diruvchi, ishlab chiqarish texnologiyasi uzoq muddatga buzilib, katta miqdorda iqtisodiy zarar keltiruvchi iste'molchilar kiradi.

2. Ikkinchi darajali iste'molchi deb, elektr iste'moli uzilganda ishlab chiqarish mahsulotlarining katta miqdori buzilishiga olib keladigan iste'molchilarga aytiladi.

3. Uchinchi darajali iste'molchilar jumlasiga birinchi va ikkinchi darajali iste'molchilarga kirmaydigan iste'molchilar kiradi.

8.2. Elektr yuklama (nagruzka) va elektr energiya sarfini hisoblash

Elektr energiya iste'moli ko'pincha „elektr yuklama“ yoki „yuklama“ tushunchasi bilan yuritiladi. Sanoat korxonalarini loyihalashda yuklamani hisoblash katta ahamiyatga ega, chunki aynan shu kattalik asosida barcha elektrotexnik asbob-uskunalar, EUL (elektr uzatish liniyasi) podstantsiyalar transformatorlarining quvvati, kommutatsion qurilmalar va hokazolar tanlanadi, demak, kapital mablag'ning qiymati aniqlanadi.

Hozirgi vaqtda hisobiy yuklamani aniqlash usullari ko'p. Hisobiy yuklamani aniqlashning qator usullarini ko'rib chiqamiz.

Yuklamaning solishtirma quvvat zichligi usuli. Elektr ta'minotini loyihalashning dastlabki bosqichida, yuklamaning taxminiy qimmatini aniqlashda bu usuldan foydalaniladi.

Bu usul bo'yicha har bir sexning yuzasini F (m^2) bilgan holda, har bir sohaning solishtirma quvvatini ma'lumotnomalardan olib, butun korxona sexlarining taxminiy quvvatini aniqlaymiz.

Ishlab chiqariladigan mahsulotga sarflanadigan quvvat asosida ham butun korxona yoki sexning umumiy quvvatini aniqlash mumkin. Masalan, bir juft poyabzal (ko'rinishiga qarab) ishlab chiqarish uchun $A = A_0 \cdot M_y$ elektr energiya sarflandi deylik, bu raqam ma'lumotnomalarda beriladi. Shunga asoslanib, bir yil davomida sarflanadigan elektr energiya hisoblanadi. Bu formulada: M_y — bir yilda ishlab chiqariladigan mahsulot. Agar korxona ikki-uch xil mahsulot ishlab chiqarsa, ularning yig'indisi olinadi. Butun korxonaning elektr energiya iste'moli:

$$A_{\Sigma} = A_{01} \cdot M_{1y} + A_{02} \cdot M_{2y} + (A_{01} \cdot M_{1y} + A_{02} \cdot M_{2y}) \cdot 0,01.$$

Bu ifodaning ikkinchi tashkil qiluvchisi elektr ta'minlash tarmog'i isrofini hisobga oladi. Bu ham taxminiy hisoblash usulidir va faqat loyihalashtirishning dastlabki bosqichlarida qo'llaniladi.

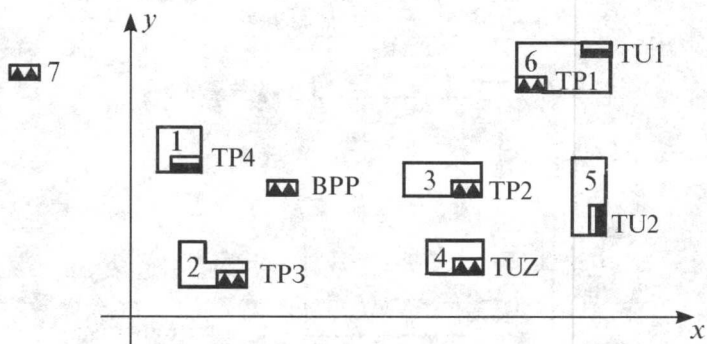
Bir fazali iste'molchilar asosan yoritish asboblari bo'lib, tok fazalararo taqsimlanadi. Taqsimlashda har bir fazadagi yuklamaning bir-biridan farqi 15 % dan oshmasligi shart. Sanoat korxonalarida yoritish yuklamasi umumiy yuklamaning 7—15% ini tashkil etadi.

8.3. Elektr ta'minoti sxemalari

Sanoat korxonalarining elektr ta'minoti sxemasi shartli ravishda ichki elektr ta'minot va tashqi elektr ta'minot sxemalariga bo'linadi. Taqsimlash yoki mahalliy elektr tarmoqlariga sanoat korxonalarining tashqi elektr ta'minoti sxemasi sifatida qoraladi.

Sanoat korxonasi quriladigan joy ma'lum bo'lgandan keyin uning tashqi ta'minot sxemasi tanlanadi. Tashqi elektr ta'minot sxemalarining uch ko'rinishi mavjud:

1. Korxona hududida 35/6 yoki 35/10 kVli pasaytiruvchi podstantsiya qurish va korxonaning ichki hududida elektr



8.5- rasm.

1 — nasoslar, 2 — 2- sex, 3 — 3- sex, 4 — kompressorlar, 5 — ma'muriy bino, 6 — asosiy ishlab chiqarish binosi, 7 — elektr tarmog'iga qarashli podstansiya.

energiyasini sexlar va bo'limlarga 6 yoki 10 kV li kuchlanishda taqsimlash.

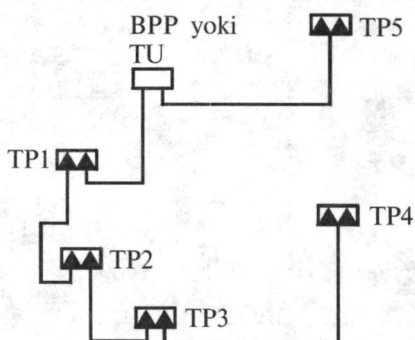
2. Korxona hududida 6 yoki 10 kV li taqsimlash uskunasini qurish, sexlar va bo'linmalarga elektr energiyasini 6 yoki 10 kV li kuchlanishda uzatish.

3. Tarmoq 35/6 yoki 35/10 kV li pasaytiruvchi podstansiyadan kabel EULni bevosita sex 6/0,4 yoki 10/0,4 kV li pasaytiruvchi podstansiyalar bilan bog'lash. Ana shu elektr ta'minot sxemasini ko'rib chiqamiz.

Faraz qilaylik, 8.5- rasmda sanoat korxonasi va tarmoq podstansiyasi, ya'ni elektr tarmoqlar boshqarmasiga qarashli 35/10 yoki 35/6 kV kuchlanishli podstansiya berilgan. Korxonaning elektr ta'minoti tizimini (ETT) loyihalashtirish kerak. Har bir sex yoki bo'linma va butun korxonaning elektr yuklamasi (nagruzkasi) jadvaldan aniqlanadi.

Loyihalashtirishning birinchi bosqichida tashqi elektr ta'minoti tanlanadi. Yuqorida ko'rsatganimizdek, bu masala uch variantda yechilishi mumkin. Shuni hisobga olish kerakki, transformatorlarning isrofi uning pasport kattaliklariga bog'liq bo'lsa, havo yoki kabel EULning isrofi uning masofasiga va kuchlanishiga bog'liq:

$$\Delta m_{EUL} = \frac{P^2 + Q^2}{U^2} \cdot R_0 \cdot l.$$



8.6- rasm.

Faraz qilaylik, tarmoq podstansiyadan BPPgacha birinchi variant sifatida 35 kV li EUL, ikkinchi variantda 10 kV li EUL qurishni mo'ljallasak, birinchi variantda ikkinchi variantga nisbatan isrof keskin kamayadi, chunki yuqoridagi formula maxrajida $U_H^2 = 35^2 = 1225$, ikkinchi variant maxrajida $U_H^2 = 10^2 = 100$. Demak, isrof 1,225 marotaba kam bo'ladi. Lekin kapital xarajat ko'payadi, chunki 35 kV li EUL transformatorlari va kommutatsion apparatlari 10 kV liga nisbatan ancha qimmat. Shuning uchun tarmoq podstansiyasi va BPP orasidagi masofa, korxonaning umumiy quvvati va hokazolarni nazarga olib ikkala variant hisoblanadi hamda elektr tarmoqlarda texnik-iqtisodiy ko'rsatkichlarni hisoblash asosida istalgan variant qabul qilinadi.

Agar birinchi variant qabul qilinsa, yuklamalar markazida 35/0 yoki 36/6 kV li pasaytiruvchi podstansiya qurilishi lozim. Sex va bo'linmalargacha kabel EUL 10 yoki 5 kV li bo'ladi.

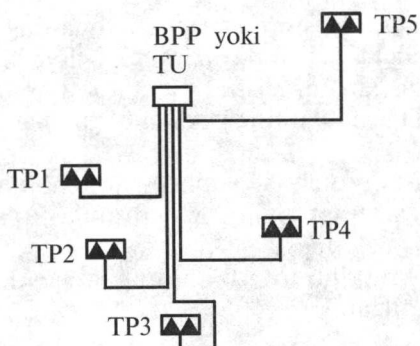
Agar ikkinchi variant qabul qilinsa, korxonaning ichki sxemasi quyidagicha bo'lishi mumkin:

1. Yuklanmalar markazida 10/0,4 yoki 6/0,4 kV li podstansiya quriladi. Barcha sex va bo'limlar 0,4 kV kabel EUL orqali elektr bilan ta'minlanadi. Ushbu variant arzon bo'lsa ham korxonaning ichki EULda isrof ancha katta bo'ladi.

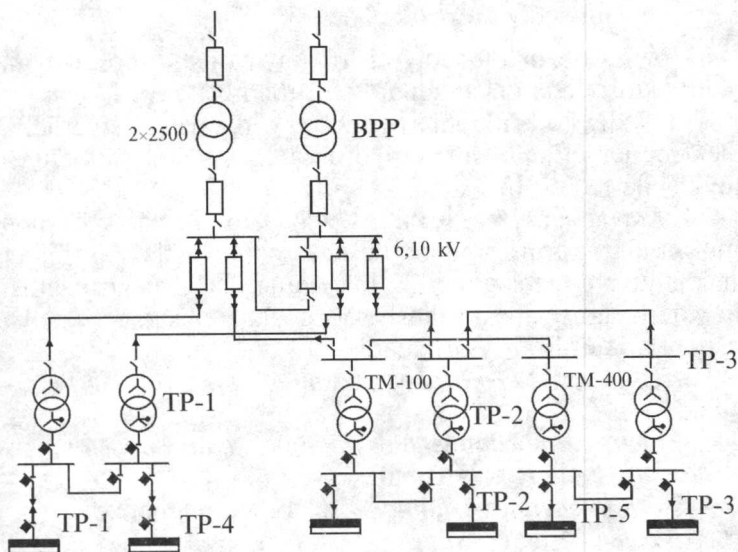
2. Yuklanmalar markazida 10 kV li taqsimlash uskunasi quriladi.

Barcha sex va bo'limlar 10 yoki 6 kV li EUL orqali elektr bilan ta'minlanadi. Har ikki yoki uchta sex yoki bo'linma uchun bitta 10/0,4 yoki 10/0,6 kV li podstansiya quriladi.

Korxonaning ichki elektr ta'minotining kuchlanishidan



8.7- rasm.



8.8- rasm.

qat'i nazar BPP, taqsimlash uskunasi, sex va bo'linmalar radial yoki magistral sxemada qurilishi mumkin. Radial sxema bo'yicha barcha sex yoki bo'linma podstantsiyalari BPP yoki taqsimlash uskunasidan alohida kabel EUL orqali elektr bilan ta'minlanadi. Magistral sxemada sex yoki bo'linma podstantsiyalari ketma-ket ulanadi. 8.6- rasmda TP1, TP2, TP3, TP4 magistral sxema bo'yicha elektr bilan ta'minlash ko'rsatilgan. TP5 magistral sxemani kiritish befoyda, chunki bu holda kabel EUL ning uzunligi oshadi. Vaholanki, magis-

tral sxemani qo'llashdan asosiy maqsad korxonaning ichki elektr ta'minotida kabel EUL ning uzunligini iloji boricha kamaytirish, ya'ni tejashdir. Magistral sxema qo'llanilganda butun elektr ta'minoti tarmoqlarning ishonchliligini kamaytir-masligi kerak.

Shuning uchun iste'molchilar yuqori ishonchlilikni ta-lab qilganda, elektr ta'minot tizimi 8.7- rasmda ko'rsatil-ganday radial sxemada bajariladi.

8.8- rasmda elektr ta'minot tizimining magistral bir liniyali sxemasi ko'rsatilgan.

8.4. Elektr ta'minoti tizimining texnik-iqtisodiy ko'rsatkichlari

Hozirgi bozor iqtisodiyoti tobora rivojlanib borayotgan vaqtda iqtisodiy ko'rsatkichlar katta ahamiyatga ega.

Iqtisodiy ko'rsatkichlarni chuqur o'rganish talab etiladi. Elektroenergetikada iqtisodiyotning asosiy ko'rsatkichlari quyidagilar:

1. *Kapital mablag'*, K bilan belgilanadi. Davlat va boshqa muassasalar, xorijiy banklar va shaxsiy mablag'lar hisobidan shakllanuvchi mablag' bo'lib, inshootlar, ya'ni elektr uzatish liniyalari, stansiya, podstansiya va boshqa elektroenergetika inshootlari qurilishiga sarflanadi.

2. *1 kW·soat elektr ene rgiyasining narxi*, β bilan belgi-lanadi.

3. *Elektr tarmoqdan yil davomida foydalanishning umumiy xarajatlari*, I bilan belgilanadi.

4. *Elektr energiyasi tannarxi*, β_0 bilan belgilanadi.

5. *Ziyon*. Elektr bilan ta'minlash uzilganda sanoat korxonasi ko'rgan ziyon, U bilan belgilanadi.

6. Elektr stansiya, EUL, podstansiyalar xarajatlarining sof daramad hisobidan *qoplanadigan vaqt*, T_0 bilan belgilanadi.

Elektr sistemaning kapital mablag'i uning tashkil qiluv-chilari, ya'ni elektr stansiya, podstansiya, EUL ning kapi-tal mablag'laridan iborat.

$$K_{el.sist} = K_{el.st} + K_{p.st} + K_{EUL} + K_{taqs. uskun}$$

Ko'pincha, taqsimlash uskunalari deganimizda elektr podstansiya tushuniladi. Lekin, ayrim hollarda taqsimlash uskunalari alohida quriladi.

Elektr sistema inshootlaridan yil davomida foydalanish xarajatlari (эксплуатационный расходи). Bu kattalik quyidagi tashkil qiluvchilardan iborat:

$$H = H_1 + H_2 + \Delta H,$$

bunda H_1 — inshootdan foydalanishdagi xarajatlar, ya'ni jo-riy ta'mirlash va xizmatchilarning maoshi, H_2 — renovasion xarajatlar, ya'ni fizika va ma'naviy jihatdan eskirgan usku-nalarni almashtirish uchun sarflanadigan xarajatlar:

$$H_1 = a_0 \cdot K,$$

bunda: a_0 — ma'lumotnomalardan olinadigan koeffitsiyent, K — kapital mablag'.

Hali foydalansa bo'ladigan, lekin texnik ko'rsatkichlari iqtisodiy talablarga javob bermaydigan asbob-uskunalar ma'naviy eskirgan deyiladi. Fizik jihatdan eskirganlari foydalanib bo'lmaydigan uskunalardir:

$$H_2 = a_1 \cdot K,$$

bunda a_1 — ma'lumotnomalardan olinadigan koeffitsiyent.

Elektr tarmoq isrofining qiymati:

$$\Delta H = \Delta A \cdot \beta_1,$$

bunda ΔA — elektr tarmoqda, ya'ni elektr uzatish liniya-larida va transformatorlarda isrof bo'lgan elektr energiya miqdori, β_1 — 1 kW · soat elektr energiyasi miqdori.

Transformatorlarda va elektr uzatish liniyalaridagi elektr energiyasi isrofining ifodasini avvalgi boblarda tahlil qilgan edik.

Ikki va undan ortiq elektr tarmoq yoki sanoat korxona-sining elektr ta'minot tizimini tuzish variantlari orasida, yuqorida ko'rib chiqqan sxemalar asosida, eng arzoni qu-yidagi ifoda asosida topiladi:

$$Z = E \cdot K + H + Y,$$

bunda: Z — barcha xarajatlarning keltirilgan qiymati, $E = \frac{1}{T_0}$ — samaradorlik koeffitsiyenti. Bu koeffitsiyent sof daromad hisobidan kapital xarajatni qoplash vaqtiga teskari propor-sionaldir. Agar T_0 — 6 yil bo'lsa, $E = \frac{1}{T_0} = 0,12$. Elektr tarmoqlaridan foydalanishda eng muhim narsa bu isrofni kamaytirishdir.

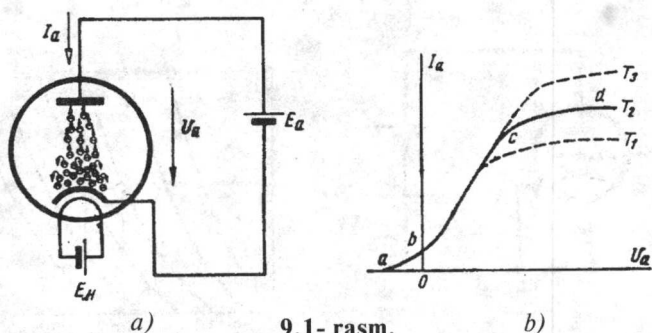
9.1. Umumiy tushunchalar

Elektronika — gaz, qattiq jism, vakuum va boshqa muhitda elektromagnit maydon ta'siri natijasida hosil bo'lgan elektr o'tkazuvchanlikni o'rganish va undan foydalanish masalalari bilan shug'ullanuvchi fan sohasidir.

Qaysi muhitda elektr o'tkazuvchanlik hosil bo'lishidan qat'i nazar, bu o'tkazuvchanlik zaryadlangan zarrachalarining (elektron, ion va hokazo) harakati bilan bog'liq.

Raqamli texnologiyalarning rivoji hozirgi zamon avtomatika va telemexanika, kosmik va harbiy texnika, hisoblash texnikasining rivoji, aynan elektronika fanining nazariy va amaliyotining misli ko'rilmagan darajadagi rivojlanganiga asoslangan. Ishonch bilan ta'kidlash mumkinki, yaqin yillarda mikroelektronika deb atalmish elektronika fani bir qismining rivojlanishi hayotning barcha sohalariga, sanoat ishlab chiqarishi, sotsial-ijtimoiy, uy-ro'zg'or, qurilish va hokazolarga katta ta'sir ko'rsatadi. Elektronika fanining rivojlanishiga elektrovakuum asboblari asos bo'ldi. Bu asboblarning hozirgi vaqtda qo'llanilmaydi. Lekin elektron asboblarning ishlash prinsipini aynan shu priborlar misolida ko'rib chiqish maqsadga muvofiqdir.

Elektron vakuum asbob ichiga ikki elektrod — anod va katod joylashtirilgan bo'lib, havosi so'rib olingan shisha idishcha(ballon)dan iborat. Uning ishlash prinsipini termoelektron emissiyasiga, ya'ni vakuumda qizdirilgan metallardan elektronlar uchib chiqishiga asoslangan. Elektrodlardan biri — katod elektr toki bilan qizdiriladi. Qarama-qarshi elektrod — anodni musbat ishorali qutbga ulasak, katoddan otilib chiqayotgan manfiy ishorali zaryadlangan zarrachalar — elektronlar anodga qarab yo'naladi. Demak, elektr toki hosil bo'ladi. Anod manfiy qutbga ulansa tok o'tmaydi. Bunday elektron asbob *diod* deb ataladi va uning asosiy xossasi tokni bir tomonlama o'tkazishdir, ya'ni undan faqat ma'lum ishorali tok o'tadi. Diodning sxemasi 9.1- rasm, *a* da, uning volt-amper xarakteristikasi 9.1- rasm, *b* da ko'rsatilgan.



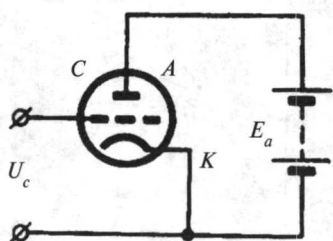
9.1- rasm.

9.1- rasm, *b* da ko‘rinib turibdiki, anod va katod o‘rtasidagi kuchlanishni oshirgan sari zanjirdan o‘tadigan tok ko‘payadi va teskari ishorali kuchlanish bo‘lganda tok kamayadi. Diodning asosiy xossasi mana shunda.

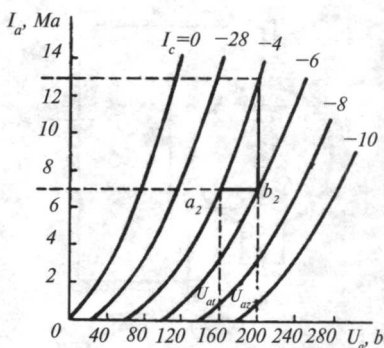
Agar anod va katod o‘rtasiga yana bitta elektrod kiritsak, shu to‘r deb ataluvchi elektrodning katodga nisbatan kuchlanishi (potensial) o‘zgartirilsa, elektronlar oqimini va demak, tokni ham o‘zgartirish mumkin. Bunday asbob *triody* deb atalgan. Bu asbob anod tokining kattaligini boshqaradigan asbobdir. 9.2- rasm, *a* da triodning sxemasi, 9.2- rasm, *b* da anod — to‘r bog‘lanuvchi egri chiziq ko‘rsatilgan.

Diodning asosiy xususiyati tokni bir yo‘nalishda o‘tkazib beradi, dedik. Uning bu xususiyatidan ko‘pincha o‘zgaruvchan tokni o‘zgarmas tokka aylantirishda foydalaniladi. Triodlar esa elektr signalni, ya‘ni axborot tashuvchi elektr kattalikni (signalni) kuchaytirishda qo‘llaniladi. Bu holda signal to‘r — katod kuchlanishi ko‘rinishda triodga ulanadi va bu axborot tashuvchi kattalik anod — katodga ulangan manba hisobiga kuchaytiriladi.

Yarimo‘tkazgichli asboblarning xususiyatlari elektron asboblarnikiga o‘xshash bo‘lgani uchun qator afzalliklarga ega. Hozirgi vaqtda elektron tuzilmalarda faqat shunday asboblardan qo‘llaniladi. Yarim o‘tkazgichli materiallar o‘zlarining elektr o‘tkazuvchanligiga ko‘ra o‘tkazgichlar (masalan, mis yoki aluminiy) va dielektriklar, ya‘ni elektr tokini o‘tkazmaydigan materiallar orasida joylashgan. Ular kristall, amorf va suyuq ko‘rinishda bo‘lishi mumkin. Hozirgi vaqtda ko‘proq selen, kremniy va germaniydan yasalgan yarimo‘tkazgichlar qo‘llaniladi.



a)



b)

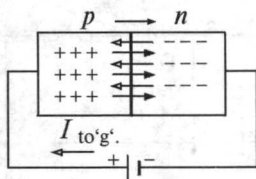
9.2- rasm.

Moddalar ularning tarkibida erkin zaryadlangan zar-rachalar borligi tufayli elektr o'tkazuvchanlik xossalariga ega. Yarimo'tkazuvchi materiallarda elektr o'tkazuvchanlik ular tarkibida elektron va „teshik“ borligiga asoslangan. Teshik — bu atom atrofida o'z orbitalari bilan aylanuvchi elektron-larning qandaydir ta'sir natijasida yo'qotgan o'rni. Demak, teshik elektronlari yetishmaydigan atom bo'lib, uning zaryadi musbat. Yarim o'tkazgich moddalarda tok paydo qilish uchun ko'rsatiladigan ta'sir har xil bo'ladi. Bu moddaning qizishi, elektromagnit maydon ta'siri, yorug'lik (fotodiod) ta'siri bo'lishi mumkin. Yarimo'tkazgich moddalarda o'zining elektr o'tkazuvchanligidan boshqa aralash o'tkazuvchanlik ham bo'ladi. Bu aralash o'tkazuvchi modda „elektronli“ yoki „teshikli“ bo'lishi mumkin. Aralash yarimo'tkazgichning o'tkazuvchanligi „teshikli“ bo'lsa, bunday yarimo'tkazgich *p*-turli, aksincha bo'lsa, *n*- turli deyiladi.

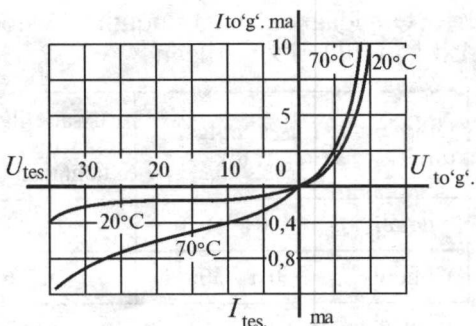
9.2. Yarimo'tkazgichli asboblari

Ikkita *p*- turli va *n*- turli tutashgan yarimo'tkazgichlar *p*-*n*- o'tish deyiladi. Yarimo'tkazgichli diodning xarakteristikasi mana shu *p*-*n*- o'tishning xossalarini aniqlaydi. 9.3- rasmda *p*-*n*- o'tish va diodning shartli belgisi ko'rsatilgan.

Ma'lum yo'nalishli kuchlanish *p*-*n*- o'tishning qarshi-ligini keskin kamaytiradi, demak, tok o'tadi. Bu *p*-*n*- o'tishning ochiq „to'g'ri“ yo'nalishidir. *p*-*n*- o'tishga, ya'ni diodga „teskari“ kuchlanish bilan ta'sir etilsa, *p*-*n*- o'tish yopiladi, ya'ni uning qarshiligi keskin kamayadi, tok deyarli

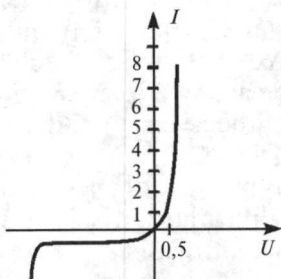


9.3- rasm.



9.4- rasm.

nolga teng bo'ladi. Yarimo'tkazgichli diodning volt-ampér xarakteristikasi aynan ana shu xossani aks ettiradi. To'g'ri „ U_G “ kuchlanish bilan ta'sir etganda, p - n - o'tishga ta'sir qiluvchi elektr maydon qarshilikni keskin kamaytiradi, tok esa keskin oshadi. Bu kuchlanish teskari ishorali bo'lganda, kuchlanish o'nlab marotaba oshganiga qaramasdan, (9.4-rasm) tok kichik bo'ladi. Bu diodning asosiy xususiyati hisoblanadi. Agar yarimo'tkazgichli diod va lampani diodning volt-ampér xarakteristikasiga (9.2- rasm, b) solishtirsak, har ikkala asbob tokni bir tomonlama o'tkazish xususiyatiga ega ekanligini ko'ramiz, lekin yarimo'tkazgichli diodda bu xususiyat yaqqolroq namoyon bo'ladi. Keyingi mavzularda diodning, aynan ana shu xossasiga asoslangan tuzilma — to'g'rilagichlar haqida fikr yuritamiz. Tuzilishiga ko'ra yarimo'tkazgichli diodlar: „nuqtali“ va „yalpoqli“ diodlarga bo'linadi. Ular volt-ampér xarakteristikalarining umumiy ko'rinishida farq kam. „Nuqtali“ diodlarning „to'g'ri“ toki kichik, lekin katta chastotaga, bir necha Mgs moslangan. 9.5- rasmda ham yalpoqli, ham nuqtali diodning volt-ampér xarakteristikasi ko'rsatilgan. Atrof-muhitning harorati 20°C bo'lganda o'tayotgan tok $I_t = 400$ A dan ham oshishi mumkin. 9.5- rasmda nuqtali diodning volt-ampér xarakteristikasi ko'rsatilgan. Atrof muhitning harorati 20°C bo'lganda eng katta tok 10 A dan oshmaydi.



9.5- rasm.

Quyidagi jadvalda nuqtali va yalpoqli diodlarning asosiy ish kattaliklari keltirilgan.

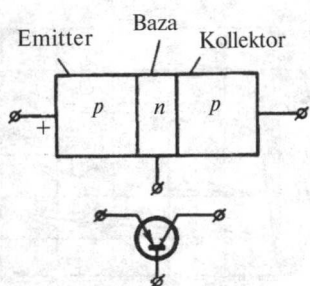
Diod turlari	Ruxsat etilgan to'g'ri tok, A	Ruxsat etilgan teskari kuchlanish, B	Teskari qarshilik, MOm
Nuqtali	÷ 0,01 0,1	÷ 25 150	÷ 0,5 10
Yalpoqli	÷ 0,1 500	÷ 50 600	÷ 0,01 1,0

Agar teskari kuchlanishni uning ruxsat etilgan qiymatidan oshirsak (jadvalda ko'rsatilgan), teskari tok keskin oshadi, diodning harorati juda ko'tarilib shikastlanadi, ya'ni elektr teshilish yuz berib, diod yemiriladi. Lekin, haroratning yo'l qo'yib bo'lmaydigan qiymatgacha ko'tarilishining oldini olsak, diod teskari kuchlanishda ishlashi mumkin. Bunday asbob stabilatron deyiladi. Bu asbob elektr zanjiri yoki mexanizmlarning kuchlanishi ma'lum qiymatdan oshib ketmasligini ta'minlaydi. Demak, stabilatron elektron mexanizm yoki uning bir qismining kuchlanishini ma'lum kattalikdan oshmasligini ta'minlovchi asbob ekan. Haroratning yo'l qo'yib bo'lmaydigan qiymatgacha ko'tarilishining har xil usullar bilan oldi olinadi. Masalan, puflab stabilatron atrofini biroz sovitish. Diodlar va stabilatronlar elektron mexanizmlarda keng qo'llaniladi.

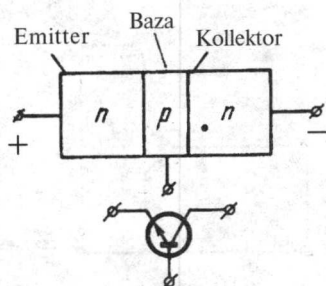
9.3. Tranzistorlar va tiristorlar

Tranzistor — ikki va undan ortiq *p-n*- o'tishdan tuzilgan yarimo'tkazgich asbob bo'lib, signalni kuchaytirish yoki signalni shakllantirish uchun xizmat qiladi. Signal axborot tashuvchi elektr kattalik, tok yoki kuchlanish bo'lishi mumkin. Axborot tok yoki kuchlanishning amplitudasi, chastotasi yoki boshlang'ich fazasi orqali, masalan, ovoz elektromagnit amplitudasi orqali ifodalanadi. Bu elektromagnit to'lqin alohida qabul qiluvchi mexanizm yordamida tok yoki kuchlanishga aylantiriladi. Bu signal kuchaytiriladi va qator qayta ishlashlardan keyin radiodinamik mexanizmida ovozga aylantiriladi.

Tranzistorlar ikkita *p-n*- o'tishdan iborat bo'lib, bu o'tishlar navbatlashib kelishiga qarab ikki turga bo'linadi: *p-*



9.6-rasm.



9.7- rasm.

$n-p$ — tranzistor va $n-p-n$ — tranzistor. Tranzistorlarda uchta qatlam bo'lib, o'rtadagi qatlam *baza* deb, ikki tomondagisi *emitter* va *kollektor* deb ataladi.

Emitter qatlami zaryadlangan zarrachalar (elektronlar va teshiklar) bilan ta'minlovchi qatlamdir.

Kollektor — zaryadlarni qabul qiluvchi qatlam. 9.6- rasmda $p-n-p$ — triodning qatlamlari va ularning shartli belgilanishi ko'rsatilgan.

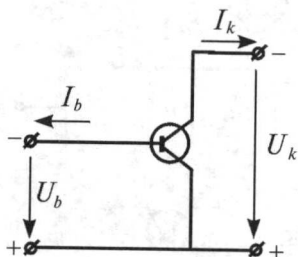
Tranzistor qutblarining ishorasi ularni ulash sxemasiga bog'liq. Sanoat elektrotexnikasida ko'pincha umumiy emitter sxema qo'llaniladi (9.8- rasm). 9.9- rasmlarda umumiy emitter sxemaning xarakteristikasi ko'rsatilgan.

Yarimo'tkazgichli triodning me'yoriy ishlashi diodnikiga o'xshash bo'lib, uning haroratiga bog'liq. Umuman, yarim o'tkazgichli barcha asboblarning ishlash xususiyati atrof-muhitning, demak, uning o'zining haroratiga bog'liq.

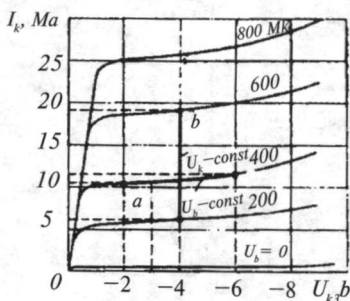
Tiristor — yarimo'tkazgichli boshqariladigan diod bo'lib, bu asbobda anod va katod tokining boshqarish imkoniyati mavjud. U to'rt qatlamli $p-n$ - o'tishdan iborat va P_2 qatlamidan alohida qutb chiqariladi (9.10- rasm). Undan boshqarish toki I_b o'tganda anod — katod qarshiligi $R_A = 0$, demak, zanjirdan tok o'tadi. Boshqarish qutbiga alohida manba ulanadi. 9.10- rasmda tiristorning qatlamlari, shartli belgisi va volt-amper xarakteristikasi ko'rsatilgan.

Bu yarimo'tkazgichli asbob chastota o'zgartirgichlarda ko'p qo'llaniladi.

Yarimo'tkazgichli fotodiod. Fotodiod — bitta yoki ikkita $p-n$ - o'tishdan iborat yarim o'tkazgichli asbob bo'lib, uni yoritganda qarshiligi keskin kamayib ketib tok o'tkazadi. 9.11-



9.8- rasm.



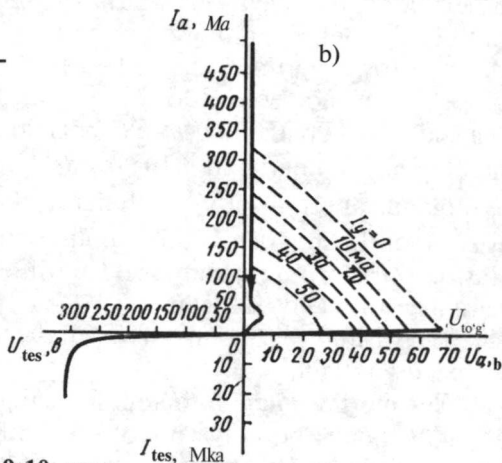
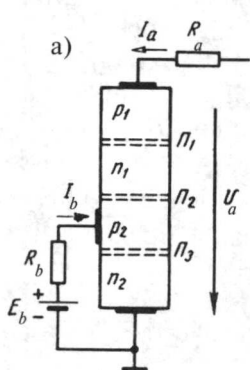
9.9- rasm.

rasmda fotodiodning shartli belgisi va ulanish sxemasi ko'rsatilgan. Bu asbob avtomatik boshqarish va nazorat uskunalarida qo'llanadi. Bu asbobning diodga o'xshash ikkita: tokni o'tkazuvchi va o'tkazmaydigan holatlari mavjud.

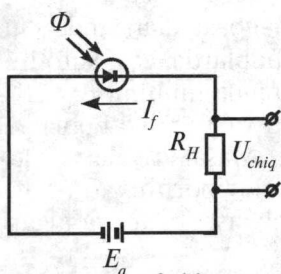
Ikkita holatda ishlaydigan asboblarni, masalan, elektron yoki yarimo'tkazgichli diodni „ventil“ tushunchasi bilan ham ifodalash mumkin. Fotodiod „ventilli fotodiod“ deb ham ataladi.

Fotorezistor ham yarimo'tkazgichli asbob bo'lib, uning qarshiligi yorug'lik oqimiga nisbatan uzluksiz o'zgaradi. 9.12-rasmda shu o'zgarish oqimining egri chizig'i ko'rsatilgan.

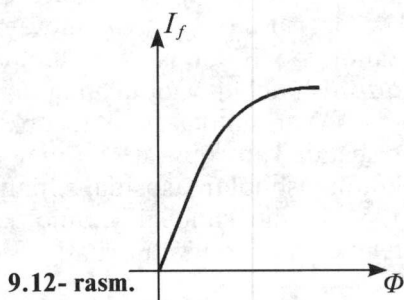
Elektron nurli naychalar. Elektron mexanizmlar orasida hozirgi vaqtda, faqat elektron nurli naychalar (электроннолучевые трубки) qo'llaniladi, chunki ularning yarimo't-



9.10- rasm.



9.11- rasm.



9.12- rasm.

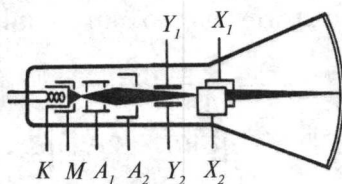
kazgichli ko‘rinishi topilmagan. Bu asbob televizorlarda, ossillograf va EHMLarning monitorlarida keng qo‘llaniladi. Bu asbobda elektron oqim ingichka nur ko‘rinishida shakllanadi. Tor elektronlar oqimi kuchlanish yordamida boshqariladi. Tor elektronlar oqimi elektr maydon orqali, masalan, ossillograflarda yoki elektromagnit maydon orqali televizorlarda shakllantiriladi va boshqariladi. Elektron nurli naycha quyidagicha tuzilgan: shisha idish (ballon) ichida gorizontall va vertikal yo‘nalishlarda elektron nurni beruvchi ikki juft plastinka joylashgan. Shisha idishdan havo so‘riladi va vakuum ($10^{-7} - 10^{-8}$ simob ustuni, mm) hosil qilinadi. Shisha idishning oxiri „ekran“ deb ataladi va uning ichki tomoni fluoressent modda — luminoform bilan qoplangan. Elektron nur ekranga urilib uni yoritadi va ekran bo‘ylab burilgan yorug‘ iz qoldiradi. Shunday qilib, ekranda elektron nur qoldirgan yorug‘ iz tasviri shakllanadi.

9.13- rasmda elektron nurli naychanning tuzilishi ko‘rsatilgan. Yarimo‘tkazgichli asboblari qator afzalliklarga ega.

Yuqorida ta’kidlab o‘tganimizdek, lampali elektron asboblari faqat elektron nurli naychalarda qo‘llaniladi. Buning sababi quyidagilar:

1. Geometrik o‘lchamlari kichik va yengil.

2. Qimmat va ishonchliligi past bo‘lgan qizdirish katodi yo‘q.



9.13- rasm.

3. Yarimo'tkazgichli mexanizm manbaga ulanganda shu zahotiyoq ishlab ketadi, lampali asboblarda esa katodni qizdirish uchun vaqt talab qilinadi. Bu juda muhim.

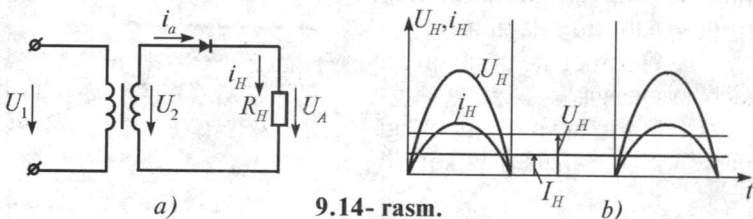
4. Yarimo'tkazgichli asboblarning elektr vakuumli asboblarga nisbatan kam quvvat iste'mol qiladi. Masalan, elektr vakuum asboblari asosida ishlangan televizorning quvvati 135 W, shu sinfdagi yarimo'tkazgichli asbobdan yasalgan televizorning quvvati esa atigi 35 W.

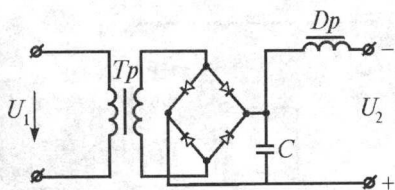
9.4. O'zgaruvchan tokni to'g'rilash mexanizmlari

Biz bilamizki, elektr energiyasi, asosan, o'zgaruvchan uch fazali tok ko'rinishida ishlab chiqariladi. Ko'pincha o'zgarmas tok manbayi zarur bo'ladi. Shunday hollarda to'g'rilagichlardan foydalaniladi. To'g'rilagichlarning eng sodda sxemasi bir davrli, bir fazali to'g'rilagichlardir. Uning sxemasi va to'g'rilangan tokning vaqt diagrammasi 9.14- rasmda ko'rsatilgan. Yarimo'tkazgichli diod tokning faqat bir ishorali qismini o'tkazadi. Demak, to'g'rilagichning kirish qismida bir fazali o'zgaruvchan tok bo'lsa, chiqishida faqat musbat ishorali yarim davrlari qoladi.

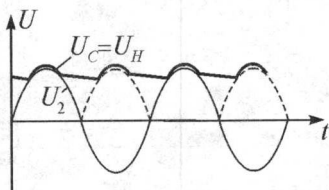
Ko'pincha to'g'rilagichlar transformatorlarning ikkilamchi chulg'amiga ulanadi, chunki o'zgarmas tok iste'molchisi, masalan, magnitofonning kuchlanishi $U = 9V$. Demak, to'g'rilagich bu yerda elektr tarmoq va o'zgarmas tok iste'molchisi o'rtasida kuchlanishni moslash mexanizmi bo'lib ham xizmat qiladi.

9.14- rasmdan ko'rinib turibdiki, to'g'rilagichning chiqish qutblaridagi kuchlanish manfiy ishorali o'zgaruvchan impulsdir. To'g'rilagich bu ko'rinishda qo'llanilmaydi. Ko'pincha, 9.15- rasmda ko'rsatilgan ko'pri to'g'rilagichlardan foydalaniladi. Bu to'g'rilagichda diod xossasidan foydalanilib, o'zgaruvchan tokning manfiy yarim davriy qiymati yo'nalishi

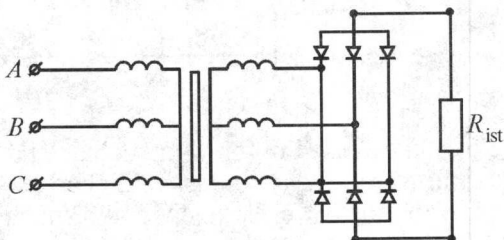




9.15- rasm.



9.16- rasm.



9.17- rasm.

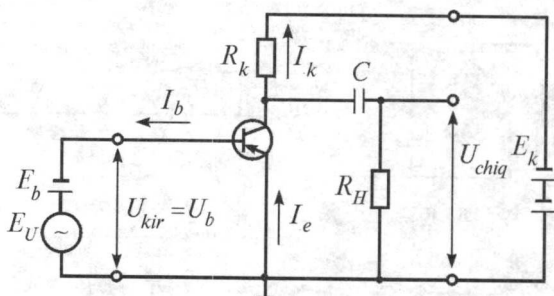
o'zgartiriladi. Natijada chiqish qutblarida faqat musbat ishorali yarim davriy qiymat ta'sir ko'rsatadi.

Lekin bu shakldagi kuchlanish ham iste'molchilarni qanoatlantirmaydi. Shuning uchun to'g'rilagichning chiqish qutblariga parallel ravishda sig'im va ketma-ket induktivlik ulanadi. Bu ikki element kuchlanishga ta'sir ko'rsatadi, kuchlanishni tekislab, vaqt davomida kattaligi o'zgarmaydigan kattalikka yaqinlashtiradi (9.16- rasm). Bu turdagi to'g'rilagich radioteleapparaturada, payvandlash apparaturasi va hokazolarda keng qo'llaniladi.

Uch fazali elektr tokini to'g'rilashda 9.17- rasmda ko'rsatilgan sxema qo'llaniladi. Har uchala faza toklari bir-biridan 1200 elektr gradusga siljigani tufayli chiqish kuchlanishining shakli ancha tekis bo'lib, bu yerda silliqlovchi L, C filtrning zarurati yo'q. Sxemaning bu turi avtomobilda qo'llanadigan uch fazali sinxron generator va shahar elektr transportini (metro, tramvay, trolleybus) o'zgarmas tok bilan ta'minlovchi tortish podstantsiyalarida qo'llaniladi.

9.5. Kuchaytirgichlar

Kuchaytirgich kirish qutblaridagi signalning kichik o'zgarishlarini o'zgarmas tok manbayi hisobiga keskin kuchaytiruvchi mexanizmdir. Signal o'ziga axborotni mujassam-



9.18- rasm.

lashtirgan elektr kattalik, ya'ni tok yoki kuchlanishdir. Axborot tok yoki kuchlanishning amplitudasi yoki chastotasida ifodalanagan (mujassamlangan) bo'ladi. Demak, kuchaytirgichlar qaysi kattalik kuchaytirilishiga qarab kuchlanish kuchaytirgichi, tok kuchaytirgichi va quvvat kuchaytirgichlariga bo'linadi. Kuchaytirgichlar qanday chastota oralig'ida ishlashiga ko'ra quyidagilarga bo'linadi:

1. Asta-sekin o'zgaruvchi signalni bir gers chastotaning kichik ulushlaridan boshlab bir necha kilogersgacha oshirib beradigan kuchaytirgichlar shartli ravishda o'zgarmas tok kuchaytirgichlari deyiladi.

2. Past chastotali kuchaytirgichlar signalining chastotasi 10 Hz — 20 kHz oralig'ida o'zgaradi.

3. Chastota orqali keng kuchaytirgichlar — 1 Hz ÷ 10 MHz.

4. Saylovchi kuchaytirgichlar — ma'lum bir chastotali signalni kuchaytiruvchi kuchaytirgichlar.

Kuchaytirgichlar 10—6 ÷ 10—7 voltli kuchlanish va 10—14 ÷ 10—6 amperli tokni kuchaytirish xususiyatiga ega. Yarimo'tkazgichli kuchaytirgichlar, yuqorida ta'kidlab o'tganimizdek, umumiy emitterli, umumiy bazali va umumiy kollektorli bo'ladi. Sanoat elektronikasida ko'pincha umumiy emitterli kuchaytirgichlar qo'llaniladi. Bu turdagi kuchaytirgichning sxemasi 9.18- rasmda ko'rsatilgan va bu sxema quyidagicha ishlaydi.

$U_{kir} = 0$ bo'lganda, ya'ni signal nolga teng bo'lganda, baza toki I_b o'zgarmas, kollektor va emitter toki I_k ham o'zgarmas kollektor-emitter kuchlanishi:

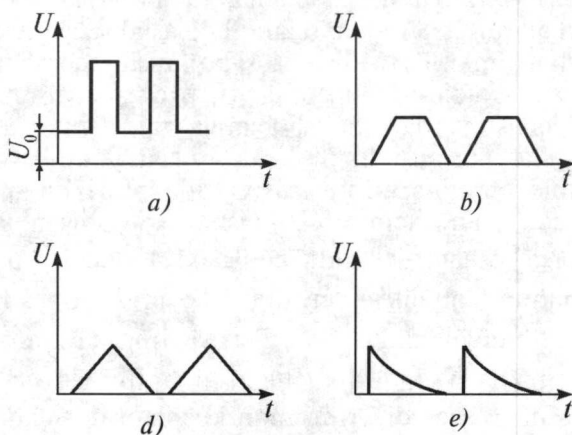
$$U_{Ko} = -(E_k - I_k \cdot R_k).$$

Signalning kirish kuchlanishi turtkisimon o'zgarganda kollektor toki ham o'zgara boshlaydi, demak, chiqish kuchlanishi $U_{\text{chiq}} = I_k \cdot R_{\text{ist}}$ ning o'zgarishi ancha katta bo'ladi, chunki kollektor-emitter tokining o'zgarishi shu manba hisobiga kuchaytiriladi. Sig'im S_s chiqish toki i ning o'zgar-mas tashkil qiluvchisini iste'molchi tomon o'tkazmaydi. Umuman olganda, kuchaytirgichlarning turlari va bajaradigan vazifasi keng doirada o'zgaradi. Hozirgi vaqtda mikrosxemalar asosida yaratilgan operatsion kuchaytirgichlar ishlab chiqarilmoqda. Bu kuchaytirgichlarning amplituda-chastota xarakteristikasi ularni keng ko'lamda ishlatish imkoniyatini beradi. Bu kuchaytirgichlarning kuchaytirish koeffitsiyenti (K) 10^3 dan 10^5 gacha, chastota kuchaytirish oralig'i (f) 10 dan 100 MHz gacha o'zgaradi.

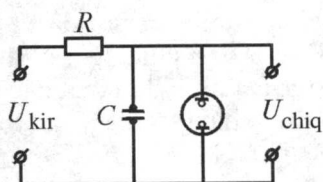
9.6. Turtki impuls mexanizmlari

Hozirgi zamon texnika va texnologiyasi kundan kunga raqamli uskunalar, EHM, nazorat mexanizmlari, avtomatik elektr yuritmalar va hokazolar bilan jihozlanmoqda.

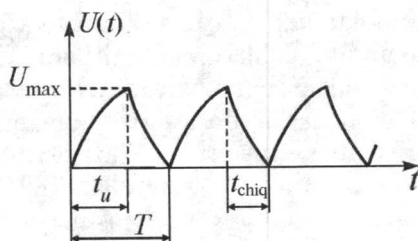
Barcha raqamli uskunalarining ishlash prinsipi turtki rejimda ishlovchi mexanizmlarga asoslangan. Turtki impuls deb, qisqa vaqt ichida qiymatini o'zgartirib turuvchi elektr (tok, kuchlanish, quvvat va hokazo) kattalikka aytiladi. Turtkning shakli 9.19- rasm, *a* va *b* da ko'rsatganimizdek har xil bo'lishi



9.19- rasm.



9.21- rasm.



9.22- rasm.

masi 9.21- rasmda ko'rsatilgan. Bu sxema neon lampa asosida ishlaydi.

Kirish kuchlanishi t_1 vaqt davomida ma'lum U_m kattalikka yetgandan keyin neon lampaning qarshiligi keskin kamayadi va t_2 vaqt davomida bu kuchlanish qariyb nolgacha pasayadi. Shu onda neon lampaning qarshiligi tiklanadi va kirish kuchlanishi yana ko'payadi. Jarayon takrorlanadi. Chiqish kuchlanishi U_{chiq} ning shakli arrasimon bo'lgani uchun bu tur o'zgartirgichlar arrasimon kuchlanish generatorlari deyiladi (9.22- rasm). Elektron nurli naychalarda elektron nurni gorizontall yo'nalishda burish uchun avtomobillarning yondirish sistemasida va hokazolarda qo'llaniladi.

9.7. Mikrosxemalar to'g'risida tushuncha

Hozirgi vaqtda mikrosxemalar, EHM, avtomatik sistemalarda, o'lchash va nazorat sistemalarida, xullas, raqamli texnologiya qo'llaniladigan barcha sohalarda qo'llaniladi. Mikrosxema — yig'ilgan juda kichik elektron mexanizmdir.

Integral mikrosxema (IMS) — ma'lum funksional vazifani bajaruvchi mikrosxema. Funksional vazifasiga ko'ra, IMS signalni o'zgartiruvchi, qayta ishlovchi, axborotni to'plovchi va hokazo ko'rinishda ishlanadi. IMSning asosiy xususiyati shundan iboratki, u ma'lum funksional vazifani to'la bajaradi, ya'ni IMS kuchaytirgich, trigger, turtkilar, hisoblagich, mantiqiy mexanizm va hokazo.

Mikrosxemada butun bir mexanizm kichik bir hajmda simsiz, bevosita zavodning o'zida, mahsulot birligi sifatida ishlab chiqariladi. IMS ning elementlari diod, triod, sig'im,

induktivlik, rezistor yarimoʻtkazgich kristallning sirtida va hajmida zichlab joylashtiriladi. IMSni ishlab chiqarish oʻta murakkab texnologiyadir. Bu texnologiya alohida bir ilm-u fan sohasi boʻlib tez rivojlanyapti. Bu sohaning rivoji katta integral sxemalarni qoʻllashga olib keldi (KIS).

Raqamli texnologiyalarda KIS koʻrinishida tuzilmalarning turtki raqamli texnologiyalarning KIS koʻrinishida ishlab chiqaradigan ayrim elementlarning bajaradigan funksional vazifasi nuqtayi nazaridan koʻrib chiqamiz.

Jamlagich (сумматор) — ikki raqamli sonlar ustida arifmetik amallarni bajaradi.

Hisoblagich (счётчик) — turtkilarni hisoblovchi mexanizm. Sonlar hisoblagichida ikki raqamli („1“ va „0“) sana koʻrinishida beriladi.

Registr — shartli raqamli belgi (kod)larni qabul qilish, saqlash va buyruq boʻyicha chiqarib berish uchun xizmat qiladi.

Shartli belgilagich (shifrlar) — raqamli shartli belgilarni (turtkilarni) mantiqiy buyruqlarga aylantiruvchi mexanizm.

Shartli belgini ochgich (deshifrator) — shifrator bajaradigan oʻzgartirgichning aksi. Masalan, oʻnli sanani ikkili sanaga aylantiruvchi shifrator boʻlsa, deshifrator teskari vazifani bajaradi.

Mikroprosessor — axborotga ishlov berish va boshqarish mexanizmi. Mikroprosessor xotira, axborotni kiritish-chiqarish qurilmalari bilan birga ishlaydi. Mikroprosessor arifmetik — mantiqiy boshqarish, tezkor xotira EHM va boshqa ichki qurilmalardan iborat.

EHM va boshqa raqamli texnologiyalar asosida ishlaydigan uskunalarda koʻp mexanizmlar mavjud. Biz asosiylari ustida qisqacha toʻxtalib oʻtdik. Raqamli texnologiyalar asosida ishlaydigan qurilmalarning ishonchliligi yuqori. Hozirgi vaqtda barcha sohalaridagi mutaxassislar raqamli texnologiyalarning asosi bilan tanish boʻlishlari shart.

10.1. Boshqarish apparatlarining elementlari

Elektromagnit kontaktorlar. Elektr zanjirlarini masofadan turib ulab-uzish uchun mo'ljallangan elektromagnit boshqarish apparati *elektromagnit kontaktor* deyiladi. 10.1-rasmda elektromagnit kontaktorning prinsipial sxemasi ko'rsatilgan.

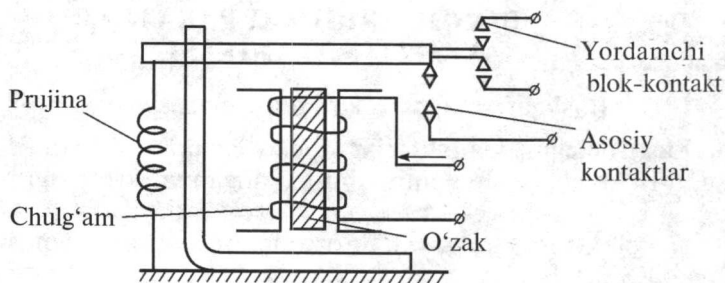
Elektromagnit kontaktorning chulg'amidan boshqarish toki I_b o'tganda, elektromagnit maydon ta'sirida qo'zg'aluvchi qism tortiladi va unga o'rnatilgan asosiy kontaktlar yopiladi, elektr dvigatel yoki uskuna tarmoqqa ulanadi. Elektromagnit kontaktorning qo'zg'aluvchi qismida asosiy kontaktlardan tashqari yordamchi — blok-kontakt deb ataluvchi kichik tokli kontaktlar ham bor. Bu kontaktlar elektr uskunaning boshqarish va dvigatel holatidan xabar berish (signalizatsiya) sistemasida ishlatiladi.

Qo'zg'aluvchi qism tortilganda blok-kontaktlarning biri yopilsa, ikkinchisi ochiladi. Asosiy va blok kontaktlar bir nechta bo'lishi mumkin. Asosiy kontaktlardan o'tadigan o'zgaruvchan tok miqdori 200—2500 A atrofida, o'zgarmas tokning miqdori esa 20—600 A atrofida bo'ladi. Katta tokli kontaktorlar yoyni o'chirish mexanizmi bilan alohida jihozlangan, tutashtiruvchi va ajratuvchi kontaktlar farq qilinadi. Tutashtiruvchi kontaktlar elektromagnit chulg'amida boshqarish toki I_b o'tganda, o'z kontaktlarini (qutblarini) tutashtiradi (yopadi). Ajratuvchi kontaktlar esa chulg'amdan boshqarish toki o'tganda o'z kontaktlarini (qutblarini) ajratadi.

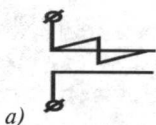
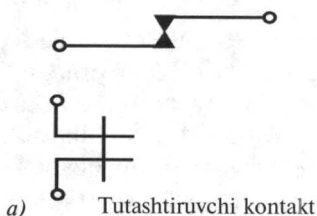
Tutashtiruvchi (10.2- rasm, *a*) va ajratuvchi (10.2- rasm, *b*) kontaktlar va bu kontaktlarning elektr sxemalarda shartli belgilanishi, kontaktorning elektromagnit chulg'amida boshqarish toki $I_b = 0$ holat ko'rsatilgan.

Kontaktlarni ulab-uzish vaqti sekundning yuzdan bir hissasidan tortib o'n hissasigacha davom etadi. Agar kontaktlarda yoyni o'chiruvchi alohida mexanizm bo'lsa, u 10.3-rasmda ko'rsatilganday shartli belgi bilan ifodalanadi.

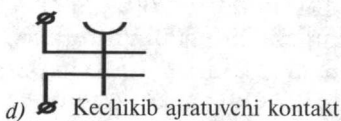
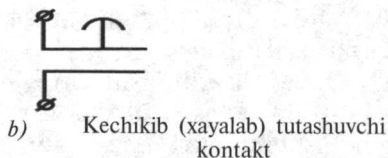
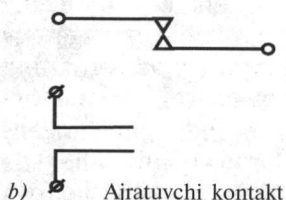
Rele. Tashqi xabar (signal) yordamida elektr zanjirlarini uzib-ulaydigan mexanizm *rele* deyiladi. Relening o'z



10.1- rasm.



Yoyni o'chirish mexanizmi kontaktor



10.2- rasm.

10.3- rasm.

kontaktlari bo'lib, bu kontaktlarning ikki barqaror: tutashirilgan va ajratilgan holatlari bo'ladi. Tashqi xabar datchiklar vositasida olinadi. *Datchik* — bu biror fizik kattalik, masalan, issiqlik, vaqt, bosim va hokazolarni elektr xabar (signal)ga aylantiruvchi sezgir mexanizm. Issiqlik releasi, vaqt releasi, kuchlanish yoki tok relelari bo'ladi.

Vaqt relelari vazifasiga ko'ra kechikib tutashadi va kechikib ajraladigan relelarga bo'linadi. Kechikish vaqti — bu vaqt releasining xabar (buyruq) berilgandan keyin kontaktlarni tutashtira yoki ajrata boshlashigacha o'tadigan vaqt oralig'i. Elektr zanjirlarida vaqt releasining shartli belgilanishi 10.3- rasmda ko'rsatilgan.

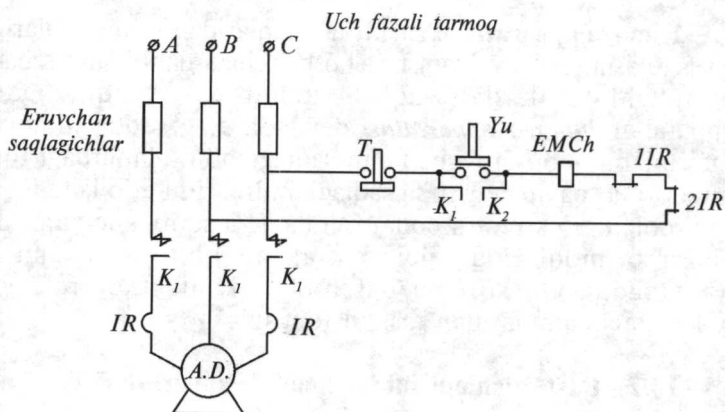
Himoya apparatlari. Elektr tarmoqlarida iste'molchilarni qisqa tutashuv, o'ta yuklanish va boshqa shikastlanishlarga sabab bo'luvchi xavflardan saqlash uchun xizmat qiladigan apparatlar *himoya apparatlari* deyiladi. Eng sodda himoya mexanizmi — bu eruvchan sim saqlagichdir. Zanjirdagi tok miqdori ko'payib ketganda saqlagichning simi erib ketadi va iste'molchi elektr tarmoqdan ajraladi. Yuqori kuchlanishli elektr tarmoqlarida releli murakkab himoya sistemasi qo'llaniladi. Bu sistema datchiklar, kontaktlar, rele va hokazolar majmuasidan tashkil topgan.

10.2. Past kuchlanishli boshqarish apparatlari

Dastaki boshqarish apparatlari. Bu xil apparatlar 500 V gacha kuchlanishli o'zgaruvchan yoki o'zgarmas tok zanjirlarida qo'llaniladi. Ularda yoyni o'chirish mexanizmi yo'q, shuning uchun ular kichik tokli zanjirlarda qo'llaniladi. Bu turkumdagi apparatlarga rubilnik, paketli uzgich, kontroller kabi apparatlar kiradi. Rubilnik ikki va uch qutbli qilib ishlab chiqariladi. Ikki qutbli rubilniklar bir fazali elektr tarmoqlarida, uch qutbli esa — uch fazali elektr tarmoqlarida, kichik va o'rtacha quvvatli asinxron dvigatellarni boshqarish (to'xtatish yoki yurgizish)da ishlatiladi. Rubilniklarning geometrik o'lchamlari katta. Paketli uzgichlarning geometrik o'lchamlari kichik bo'lib, ularning qo'zg'almas kontaktlari izolatsiyalangan paketlar ichiga o'rnatiladi. Dvigatelni soatiga 120 km gacha yurgizib to'xtatish va aylanish yo'nalishini o'zgartirish kerak bo'lganda kontrollerlardan foydalaniladi. Kontrollerlarning ulab-uzish kontaktlari yuqori temperaturaga chidamli materialdan ishlanadi. Kontrollerlarning kontaktlari baraban yoki kulachok ko'rinishida ishlab chiqariladi.

Magnitli ishga tushirgich. Elektr dvigatel va boshqa iste'molchilarni elektr tarmog'iga masofadan turib ulab-uzadigan, ularni qisqa tutash va o'ta yuklanish rejimlaridan himoyalaydigan kontaktor, rele va knopkalardan iborat boshqarish apparati *magnitli ishga tushirgich* deyiladi.

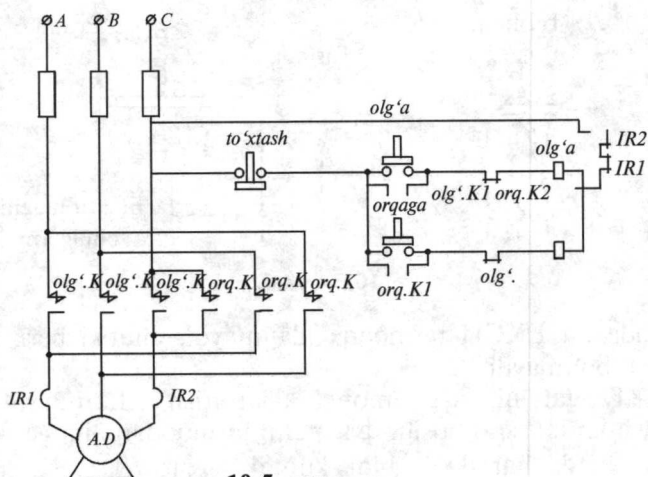
10.4- rasmda asinxron dvigatelni magnitli ishga tushirgich (MIT) yordamida boshqarish elektr sxemasi ko'rsatilgan. Bu MIT uch fazali kontaktorning yordamchi kontaktlari va issiqlik releli bor.



10.4- rasm.

MIT elektr saqlagich bilan birga ishlatilishi lozim, chunki uning qisqa tutashishdan himoyalovchi tuzilmasi yo‘q. 10.5-rasm, *a* dagi sxemada shartli tasvirlar quyidagilarni bildiradi: IR — issiqlik relesi, $1IR$, $2IR$ — issiqlik relesini ajratuvchi kontaktlar, $EMCh$ — elektromagnit kontaktorning chulg‘ami, L_1 — EKCH ning asosiy, yoy o‘chirish tuzilmasi bilan tutashuvchi kontaktlari, K_2 — EKCH ning blok-kontakti, T — to‘xtatish knopkasi (tugmasi), Y — yurgizish knopkasi.

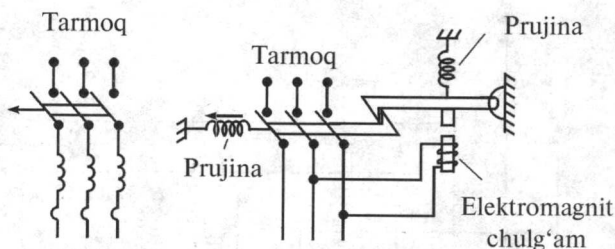
Yurgizish knopkasini bosganda kontaktorning elektromagnit chulg‘ami (EKCH) uch fazali tarmoqning liniya kuchlanishiga ulanadi. Demak, elektromagnit kontaktor chulg‘amidanda tok o‘tadi va kontaktor o‘zining asosiy kontaktlari K_1 va blok-kontakti K_2 ni tutashtiradi. Asinxron dvigatel tarmoqqa ulanadi va ishga tushadi. Endi yurgizish knopkasini bosib turishning hojati yo‘q, chunki bu knopkaga parallel ulangan blok-kontakt K_2 qo‘shilgan bo‘lib, EKCH tarmoqdan shu boshqarish blok-kontakti orqali tok oladi. Agar dvigatelni to‘xtatmoqchi bo‘lsak to‘xtatish knopkasi T ni bosamiz, EKCH zanjiri uziladi va undan tok o‘tmaydi, demak, kontakt K_1 ochilib dvigatelni tarmoqdan ajratadi. O‘ta yuklantirish rejimida dvigatelning toki nominal qiymatga ko‘ra oshganda, tokning ajratib chiqaradigan issiqligi oshadi, demak, issiqlik relelarining kontaktlari $1IR$ va $2IR$ ochilib, EKCH ni tarmoqdan ajratadi. EKCH dan tok o‘tmaganda uning kontaktlari K_1 ochilib, asinxron dvigatel tarmoqdan ajraladi.



10.5- rasm, a.

Ko'p elektr uskunalarda, masalan, ko'tarish-tashish mashinalarida, aylanish yo'nalishini o'zgartirishga to'g'ri keladi. Bu holda rotorning aylanish yo'nalishini o'zgartiradigan (reverslaydigan) magnit ishga tushirgichdan foydalaniladi. 10.5- rasmda bunday magnit ishga tushirgichning elektr sxemasi ko'rsatilgan. Yuqorida — 4- bobda ta'kidlab o'tgan edikki, aylanuvchi magnit maydonning yo'nalishini o'zgartirish uchun uch fazali tarmoqning istalgan ikki fazasini almashtirish kifoya. Bu sxema mana shu fazalarni almash-tirishni amalga oshiradi. Sxemada tegishli knopkalar bor.

Masalan, „olg'a“ knopkasini bosganda, „olg'. K“, ya'ni olg'aga yurgizish elektromagnit chulg'ami tarmoqqa ulanadi. Natijada asosiy uch fazali „olg'. K“ kontaktlari va „olg'. K₁“ boshqarish blok-kontaktlari tutashadi. Asinxron dvigatel ishga tushadi. Dvigatelning aylanish yo'nalishini o'zgartirish uchun „A“ va „B“ fazalar simining o'rnini almashtirish lozim. Agar „olg'. K“ va „orq. K“ kontaktlari birdaniga tutashtirilsa, fazalararo qisqa tutashish yuz beradi. Bu qisqa tutash ehtimolini bartaraf qilish uchun orqaga K₂ elektr magnit chulg'am zanjirida „olg'a“ ajratuvchi blok-kontakt va „orqaga“ EKCH zanjirida „olg'a“ blok-kontakt kiritilgan. Masalan, „olg'a“ knopkasini bosganda: „orqaga“ EKCH zanjiriga ulangan „olg'a K₂“ blok-kontakt ochiladi. Endi „orqaga“ knopkasini bos-



10.5- rasm, b.

ganda bu EKCH tarmoqqa ulanmaydi, chunki berk zanjir hosil bo'lmaydi.

Dvigatelni orqa tomonga aylantirish uchun avval tutashish knopkasini bosib, dvigatelni tarmoqdan ajratish kerak. Bu paytda har ikkila blok-kontakt, „orq. K_2 “ va „olg'. K_2 “ tutashadi. Keyin „orqaga“ knopkasini bosish mumkin.

Magnitli ishga tushirgichlar avtomatik boshqarishda, faza rotorli dvigatellarda, aylanish tezligini o'zgartirishda va boshqa qator maqsadlarda foydalaniladi.

Avtomatik uzgich. Avtomatik uzgich iste'molchini tarmoqqa dastaki ulaydi, qisqa tutashish, o'ta-yuklanish kabi hodisalar yuz berganda avtomatik ravishda iste'molchini tarmoqdan ajratadi. 10.5- rasm, b da avtomatik uzgichning prinsipial sxemasi ko'rsatilgan. Iste'molchi tarmoqqa dastaki ulandandan keyin dvigatel yoki boshqa iste'molchi ishlab ketadi.

Agar iste'molchida qisqa tutashish yuz bersa, elektromagnitning o'zagi prujina ta'sirida tortilib, iste'molchi tarmoqdan ajraladi. Avtomatik uzgichda issiqlik relesi ham mavjud. Agar qisqa tutashish rejimidan elektromagnit himoya qilinsa, o'ta yuklanish rejimidan issiqlik relesi himoya qiladi. Boshqa bir turdagi avtomatik uzgichlarda kuchlanish pasayishi yoki eng kam tok va hokazolardan himoya qiluvchi tuzilmalar bo'lishi mumkin. Avtomatik uzgichlar bir fazali va uch fazali qilib ishlab chiqariladi. Qator afzalliklari tufayli avtomatik uzgichlardan keng foydalaniladi.

Yuqori kuchlanishli apparatlarga qisqacha to'xtalib o'tamiz. Yuqori kuchlanishli tarmoqlarga 6 kV, 10 kV, 35 kV, 110 kV, 220 kV, 500 kV kuchlanishli tarmoqlar kiradi. Hozirgi vaqtda o'ta yuqori 750 kV kuchlanishli o'zgaruvchan tok tarmoqlari va 800 kV, 1150 kV kuchlanishli o'zgarmas

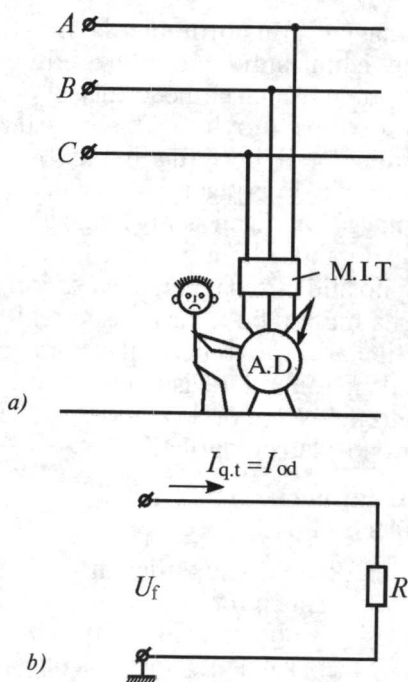
tok tarmoqlari mavjud. Bu tarmoqlarda moyli ulab-uzish apparatlari keng ishlatiladi. Moyli uzgich dastaki yoki avtomatik ravishda iste'molchini tarmoqqa ulaydi va uzadi. Bunda ulab-uzgich kontaktlari moyli bakka botirilgan bo'ladi. Kontaktlar orasida hosil bo'ladigan elektr yoyi, moyni kuydirish natijasida paydo bo'lgan gaz yoyni tez so'ndiradi. Moyli uzgichda moyga botirilgan asosiy kontaktlardan tashqari, yordamchi blok-kontaktlar ham bo'ladi. Bu blok-kontaktlar moyli uzgichning holatidan xabar beradi va yuqori kuchlanishli tarmoqlarda uncha muhim bo'lmagan, ishonchli himoya rele sistemasini tashkil etadi. Moyli uzgichlar kontaktlari maxsus yuritma yordamida avtomatik ravishda yoki qo'lda harakatga keltiriladi. Moyli uzgichlar yuqorida ko'rsatilgan hamma nominal kuchlanishlarda ishlab chiqariladi.

10.3. Elektr tarmoqlarida xavfsizlik texnikasi

Elektr tokining odam organizmiga ta'siri har xil shikastlanishlarga sabab bo'lishi mumkin. Asosiy shikastlanish bu kuyish, zarba berish va odamlarning ichki a'zolariga ta'siri. Odam badanidan 1 A dan katta miqdorda tok o'tganda o'tadigan tokning kvadratiga proporsional miqdorda undan issiqlik ajralib chiqadi va bu issiqlik odamga zarar yetkazadi, ya'ni kuyadi.

Odamga bir necha yuz milliamper tok ta'sir qilganda zarba berish yuz beradi. Bunda tok quvvati kichik bo'lgani tufayli kuyish yoki asab a'zolarining shikastlanishi yuz bermaydi. Tok odamning asab sistemasi va muskullariga yoqimsiz ta'sir ko'rsatsa, jiddiy shikastlanish yuz bermaydi. Elektr toki ichki a'zolarga kuchliroq ta'sir ko'rsatishi natijasida yurakning muskullari shikastlanib, odamning hayoti xavf ostida qoladi, hatto halok bo'lishi ham mumkin. Odam badanidan 0,025—0,1 A tok o'tsa hayoti xavf ostida qoladi, agar tok miqdori 0,1 A dan oshsa, kishi halok bo'lishi mumkin. Shunday qilib elektr toki ta'sirining eng xavfli bu kishi ichki a'zolarining shikastlanishidir.

Elektr tarmoqlari va uskunalarida xizmat qiladigan shaxslarni elektr tokidan himoya qilish maqsadida xavfsizlik texnikasi ishlab chiqilgan. Elektr shikastlanishlarning oldini olish maqsadida rezina qo'lqoplar, etiklar, gilamchalar, izolatsiyalovchi shtangalar va shunga o'xshash boshqa



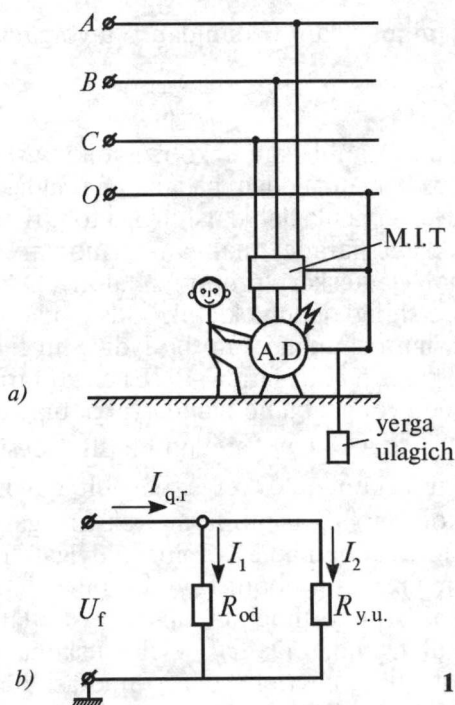
10.6- rasm.

texnikaviy vositalar ishlatiladi. Elektr shikastlanishdan himoyalovchi asosiy vosita yerga ulashdir. Yerga ulash elektr shikastlanish xavfini keskin kamaytiradi.

Faraz qilaylik, asinxron dvigatel yerga ulashmasdan ishlayapti (10.6- rasm, a). Qandaydir sabab tufayli uch fazali tarmoqning bir fazasi dvigatel korpusiga (qobig'iga) tegdi, korpusda bir fazali qisqa tutashish yuz beradi. 10.6- rasm b, da asinxron dvigatelning elektr sxemasi va shu uskunada ishlaydigan shaxs ko'rsatilgan. Qisqa tutashish toki I_{qt} odamdan o'tayotgan tokka I_{od} teng bo'lib, faqat odam qarshiligi bilan cheklanadi. Om qonuniga asosan:

$$I_{q,t} = I_{od} = \frac{U_f}{R_{od}}.$$

Qisqa tutashish toki odam badanidan o'tayotgan tokka baravar. Endi faraz qilaylik, asinxron dvigatel himoyalash maqsadida yerga ulangan (10.7- rasm, a). Bunda dvigatel va unda ishlaydigan shaxsning elektr sxemasi parallel ulangan ikki



10.7- rasm.

tarmoqdan iborat bo'ladi. Bu sxemada $I_{od} = I_1$ odam badanidan o'tayotgan tok, I_2 — yerga ulagichning toki. Har ikkala parallel ulangan qarshiliklarning ekvivalent qarshiligi:

$$R_{ekv} = \frac{R_1 \cdot R_2}{R_1 + R_2},$$

bunda: $R_1 = R_{od}$; $R_2 = R_{yerga\ ulagich}$

Zanjirning umumiy tarmoqdagi qisqa tutash toki quyidagi ifodadan aniqlanadi:

$$I_{q.t} = \frac{U_f}{R_{EKV}},$$

bu formuladan: $U_f = I_{q.t} \cdot R_{EKV}$.

Odam qarshiligi ulangan tarmoqdagi tok:

$$I_1 = \frac{U_f}{R_1} = I_{q.t} \cdot R_{EKV} \frac{1}{R_1} = \frac{R_1 \cdot R_2}{(R_1 + R_2) \cdot R_1} I_{q.t} = I_{q.t} \frac{R_2}{R_1 + R_2}.$$

Shunday qilib, odam badanidan o'tayotgan tok:

$$I_1 = I_{q.t} \frac{R_2}{R_1 + R_2}.$$

Bu ifodaning tahlili shuni ko'rsatadiki, uskunada faza qisqa tutash yuz berganda odam badanidan o'tadigan tok qisqa tutash tokiga va yerga ulagich qarshiligiga to'g'ri proporsional bo'lib, har ikkala parallel ulangan tarmoqlar qarshiliklarining yig'indisiga teskari proporsionaldir. Demak, yerga ulagichning qarshiligi qancha kichik bo'lsa, odam badanidan o'tadigan tok ham shuncha kam bo'ladi. Shu sababli elektr uskunalarini o'rnatish qoidalarida (PUE) elektr tarmoqlaridagi kuchlanish 1000 voltgacha bo'lganda yerga ulagichning qarshiligi $R_{\text{yerga ulagich}} \leq 4 \Omega$ dan katta bo'lmasligi tavsiya qilinadi.

Har bir elektr uskunaning yerga ulagich qarshiligi elektr ta'minlash korxonalari tomonidan tekshirilgandan keyin foydalanishga ruxsat beriladi. Ko'pincha dvigatelning qobig'i (korpusi) uch fazali tarmoqning nol simiga ham ulanadi, nol sim esa transformatorning neytral nuqtasi bilan tutashgan bo'lib, yerga ulangandir. Demak, elektr uskunaning qobig'i va transformatorning neytral (befarq) nuqtasi bilan bevosita metall bog'lanish hosil bo'ladi.

Shunday qilib, elektr uskunalarining (dvigatellarning) qobig'ini yerga ulash elektr tokidan shikastlanish xavfini keskin kamaytiradi, chunki qisqa tutash toki yerga ulagich orqali yerga yo'naltirilgan.

Elektr uskunalarini va qurilmalarning qobig'ini yerga ulash xavfsizlik texnikasini elektr tokidan zararlanish xavfini kamaytirish asosiy choralaridan biridir.

Yerga ulash qurilmasining 1,5—2 metri yerga ko'miladi, yer ustki qismi uzunligi 3,5—4 metr. U diametri 400 mm bo'lgan po'lat truba yoki sterjendan iborat bo'lib, yerga o'tkazgichning elektr qurilma bilan tutashtiruvchi simlaridan tashkil topgan. Yuqorida ta'kidlab o'tganimizdek, 1000 voltgacha bo'lgan elektr tarmoqlarida yerga ulash qurilmasining umumiy qarshiligi 4Ω dan katta bo'lmasligi kerak.

FOYDALANILGAN ADABIYOTLAR

1. *Karimov A.S., Mirhaydarov M.M.* Nazariy elektrotexnika. T., „O‘qituvchi“, 1979.
2. *Rahimov G. R.* Elektrotexnika. T., „O‘qituvchi“, 1966.
3. *Majidov S.* Elektrotexnikadan ruscha-o‘zbekcha lug‘at-spravochnik. T., „O‘qituvchi“, 1985.
4. *Karimov A.S., Mirhaydarov M.M.* va b. Elektrotexnika va elektronika asoslari. Texnika oliy o‘quv yurtlarining talabalari uchun darslik. T., „O‘qituvchi“, 1995.
5. *Azizov A. A.* Русско-узбекский краткий словарь. T., „O‘qituvchi“, 1989.
6. *Xoldorova S.M., Doniyorov R., Usmonova A.A.* Ruscha-o‘zbekcha o‘quv lug‘ati. T., „O‘qituvchi“, 1984.
7. *Морозов А. Г.* Электротехника, электроника и импульсная техника. М., „Высшая школа“, 1987.
8. *Rojkova L.D., Kozulin V.S.* Stansiya va podstansiya-larning elektr asbob-uskunalari. T., „O‘qituvchi“, 1986.
9. *Karimov A. S. va b.* „Elektrotexnika va elektronika asoslari“ (Programmalashtirilgan savollar va masalalar to‘plami), T., „O‘qituvchi“, 1978.
10. Qisqacha politexnika lug‘ati. O‘zbek ensiklopediyasi bosh tahririyati. T., „Fan“, 1992.

MUNDARIJA

SO‘ZBOSHI	3
-----------------	---

I bob. Elektromagnit maydon haqida umumiy tushuncha

1.1. Elektr maydon	5
1.2. Magnit maydon	6
1.3. Materiallarning magnit xossalari	8
1.4. Elektromagnit induksiya qonuni	10

II bob. O‘zgarmas tok elektr zanjirlari

2.1. Elektr zanjirlari va ularni tavsiflovchi kattaliklar	12
2.2. Oddiy va murakkab zanjirlar. Kirxgof qonunlari	15
2.3. Murakkab elektr zanjirlarini hisoblash usullari	19

III bob. Sinusoidal o‘zgaruvchan tok zanjirlari

3.1. O‘zgaruvchan tokka oid umumiy tushuncha	21
3.2. Sinusoidal o‘zgaruvchi kattaliklarni kompleks sonlar orqali ifodalash	25
3.3. Bir fazali o‘zgaruvchan tok zanjiri. Uning aktiv, induktiv va sig‘im qarshiliklari	27
3.4. O‘zgaruvchan tok zanjirlarini hisoblash, ularning vektor diagrammalari	30
3.5. Quvvat. Quvvat koeffitsiyenti	35
3.6. Rezonans hodisasi	38

IV bob. Uch fazali elektr zanjirlari

4.1. Uch fazali tok va kuchlanishni hosil qilish	43
4.2. Uch fazali o‘zgaruvchan tok zanjirini „yulduzcha“ usulida ulash	45
4.3. Uch fazali zanjirlarni „uchburchak“ usulida ulash	48
4.4. Aylanuvchi magnit maydon hosil qilish	51

V bob. Elektr o‘lchashlar

5.1. Elektr o‘lchashlar va elektr o‘lchash asboblari haqida umumiy ma’lumot	55
5.2. Magnitoelektrik o‘lchash mexanizmi	56
5.3. Elektromagnit va elektrodinamik o‘lchash mexanizmlari	57
5.4. Elektrodinamik o‘lchash mexanizmi	58
5.5. Induksion va raqamli o‘lchash mexanizmi	59
5.6. Tok, kuchlanish va quvvatni o‘lchash	61
5.7. Quvvat va elektr energiyani o‘lchash	62

VI bob. Transformatorlar

- 6.1. Transformatorlarning ishlash prinsipi va tuzilishi 67
- 6.2. Transformatorning salt va yuklangan rejimlarda ishlashi .. 69
- 6.3. Uch fazali transformatorlar. O'lchash transformatorlari . 72

VII bob. Elektr mashinalari

- 7.1. Asinxron dvigatellarning tuzilishi va ishlash prinsipi 76
- 7.2. Asinxron dvigatel rotor chulg'amingin EYK va chastotasi. Yurgizish toki 78
- 7.3. Asinxron dvigatelning energetik ko'rsatkichlari va aylanish momenti 79
- 7.4. O'zgarmas tok mashinalari 83
- 7.5. O'zgarmas tok generatorining tenglamasi va aylanish momenti 85
- 7.6. O'zgarmas tok generatorlari 86
- 7.7. O'zgarmas tok dvigatellari 87

VIII bob. Elektr ta'minoti

- 8.1. Elektr iste'molchilar 90
- 8.2. Elektr yuklama (nagruzka) va elektr energiya sarfini hisoblash 93
- 8.3. Elektr ta'minoti sxemalari 94
- 8.4. Elektr ta'minoti tizimining texnik-iqtisodiy ko'rsatkichlar 98

IX bob. Elektronika va elektron tuzilmalar asoslari

- 9.1. Umumiy tushunchalar 100
- 9.2. Yarimo'tkazgichli asboblar 102
- 9.3. Tranzistorlar va tiristorlar 104
- 9.4. O'zgaruvchan tokni to'g'rilash mexanizmlari 108
- 9.5. Kuchaytirgichlar 109
- 9.6. Turtki impuls tuzilmalari 111
- 9.7. Mikrosxemalar to'g'risida tushuncha 113

X bob. Boshqarish apparatlari va xavfsizlik texnikasi

- 10.1. Boshqarish apparatlarining elementlari 115
- 10.2. Past kuchlanishli boshqarish apparatlari 117
- 10.3. Elektr tarmoqlarida xavfsizlik texnikasi 121
- Foydalanilgan adabiyotlar 125

MELS TURSUNOVICH TURDIYEV
ELEKTROTEXNIKA VA ELEKTRONIKA
ASOSLARI

5-nashri

*Akademik litsey va kasb-hunar kollejlari
uchun o'quv qo'llanma*

„O'qituvchi“ nashriyot-matbaa ijodiy uyi
Toshkent — 2014

Muharrirlar: *D. Abbosova, N. G'oirov*
Badiiy muharrir *D. Mulla-Axunov*
Texn. muharrir *S. Nabiyeva*
Kompyuterda sahifalovchi *F. Hasanova*
Musahhih *Z. G'ulomova*

Nashriyot litsenziyasi AI №161 14.08.2009. Original-maketdan
bosishga ruxsat etildi 17.12.2014. Bichimi 84×108/₃₂. Tayms garniturası.
Ofset bosma usulida bosildi. Ofset qog'ozi. Shartli b.t. 6,72. Bosma t. 8,0.
Hisob nashr t. 5,66. Adadi 1258 nusxa.
Buyurtma №250-14

O'zbekiston Matbuot va axborot agentligining „O'qituvchi“
nashriyot-matbaa ijodiy uyi. Toshkent—129, Navoiy ko'chasi, 30-uy.
// Toshkent, Yunusobod dahasi, Yangishahar ko'chasi, 1-uy.
Shartnoma №07-84-14