O'ZBEKISTON RESPUBLIKASI OLIY VA
O'RTA MAXSUS TA'LIM VAZIRLIGI

A.T. IMOMNAZAROV

ELEKTROMEXANIK TIZIMLARNING ELEMENTLARI

Oliy ta'limning 5521300 — «Elektrotexnika, elektromexanika va elektrotexnologiyalar» bakalavriatura yo'nalishi talabalari uchun darslik

«TA'LIM» NASHRIYOTI
TOSHKENT – 2009

31.2
I-45

Ushbu darslikda sanoat korxonalarida keng qo'llanilayotgan zamonaviy elektromexanik tizimlarning tarkibiy tuzilishi, boshqariluvchi o'zgaruvchan va o'zgarmas tok o'zgartkichlarning turlari, ishlash asoslari va asosiy tavsiflari, boshqaruv tizimlarining analog hamda raqamli qurilma va bloklarining tuzilishi va ishlash asoslari hamda elektromexanik tizimlarni boshqarishda mikroprotsessorli tizimlarni qo'llashning asoslari bayon qilingan. Shuningdek, asinxron elektr yuritmali elektromexanik tizimlarda boshqariluvchi o'zgartkichlarni qo'llash negizida energiya tejamkorligiga erishish usullari kabi mavzular ham yoritilgan.

Darslik oliy ta'limning «Elektrotexnika, elektromexanika va elektrotexnologiyalar» bakalavriat yo'nalishi talabalari uchun mo'ljallangan bo'lib, undan shu sohada faoliyat olib boruvchilar ham foydalanishlari mumkin.

Mas'ul muharrir: **O.O.Hoshimov** — texnika fanlari doktori, professor.

Taqrizchilar: **M.M. To'laganov** — ToshDTUning «Elektrotexnika, elektromexanika va elektrotexnologiyalar» kafedrasi dotsenti, texnika fanlari nomzodi,

A.P. Ahmedov — Toshkent avtomobil-yo'llar institutining «Elektromexanika va avtomatika» kafedrasi dotsenti.

ISBN 978-9943-368-02-6

© «Ta'lim» nashriyoti, 2009-y.

KIRISH

Ishlab chiqarishdagi mashina va mexanizimlarning mehnat unumdorligini oshirish hamda sifatli mahsulot ishlab chiqarish ushbu sanoat qurilmalarining avtomatlashganlik darajasiga bevosita bog'liqdir. Sanoat qurilmalarining avtomatlashganlik darajasi bu qurilmalarning zamonaviy va energetik ko'rsatkichlari yuqori bo'lgan texnika vositalari bilan jihozlanishi yangilanadi. Sanoat qurilmalari ishchi organlarini harakatlantiruvchi va ularni boshqaruvchi avtomatlashtirilgan boshqaruv tizimlarining asosini elektromexanik tizimlar (EMT) tashkil etadi.

EMTning tashkil etuvchi elementlariga ishchi mashinaning ijrochi organini harakatga keltiruvchi elektr motor va uning koordinatalarini boshqaruvchi boshqariluvchi o'zgartkich, o'zgartkichning boshqaruv tizimi, turli o'lchov o'zgartkichlar, vazifalovchi qurilma hamda turli elektron moslama va qurilmalar kiradi. EMTni tashkil etuvchi elementlarning tahlili shuni ko'rsatadiki, aksariyat elementlar o'zining ishlash asoslari, ichki tuzilishi va boshqa xususiyatlari bilan talabalarga «Elektr mashinalari», «Elektr va elektron apparatlar», «Avtomatik boshqarish nazariyasi» va «Elektromexanik tizimlarning boshqariluvchi eneriya manbalari» fanlari bo'yicha ma'lumdir.

Akademik M.Z.Homudxonov hamda uning ilmiy maktabi tomonidan elektromexanika fanlarining O'zbekistonda shakllanishi va rivojlanishiga asos solindi. Ular yaratgan mustaqil invertorlarning nazariy asoslari va shular asosida yaratilgan tezligi chastotani o'zgartirib boshqariladigan asinxron motorli elektromexanik tizimlar elektromexanika fanlarining rivojlanishiga katta hissa bo'lib qo'shildi.

Zamonaviy EMTlarni loyihalash, tahlil qilish va yaratish jarayonida tarkibiy elementlarining vazifaviy xususiyatlarini, ya'ni ularning kirish va chiqish koordinatalari orasidagi o'zaro bog'lanishlarni bilish talab etiladi. «EMT elementlari» fanining asosiy vazifalaridan biri elementlarning koordinatalari orasidagi bog'lanishlarning matematik ifodasini aniqlash, vazifaviy va tuzilish sxemalarini yaratish, uzatish funksiyalarini hamda hisob sxemalarining kattaliklarini aniqlash, elementlarga dinamik zvenolar deb qarab, ularning xususiyatlarini tahlil qilish va ushbu texnik ko'rsatkichlar majmuasi asosida real elektromexanik tizimlar yaratishdan iboratdir.

«Elektromexanik tizimlarning elementlari» fani oliy ta'limning «Elektrotexnika, elektromexanika va elektrotexnologiyalar» bakalavriatura yo'nalishining ixtisoslik fanlari bilan umumiy texnikaviy asos fanlar oralig'idagi bog'lovchi ko'prik vazifasini o'taydi va ixtisos fanlarini o'zlashtirishda zarur nazariy va amaliy manba bo'lib xizmat qiladi.

TAYANCH SO'ZLAR VA SO'Z BIRIKMALARI

Elektromexanik tizim (EMT) – elektr energiyani mexanik energiyaga o'zgartiruvchi texnik qurilmalar tizimi.

EMTning elementlari – elektromexanik tizimning ishlashini ta'minlovchi texnik vosita, qurilma va moslamalar.

Boshqariluvchi o'zgartkichlar – kirish ko'rsatkichini o'zgartirish natijasida chiqish ko'rsatkichi boshqariladigan boshqariluvchi yarimo'tkazgichli va elektromexanik o'zgartkichlar.

Boshqariluvchi o'zgarmas tok o'zgartkichlari – o'zgarmas tok motorining chiqish ko'rsatkichlari: tezligi, tezlanishi, burilish burchagi va boshqa mexanik ko'rsatkichlarini boshqarishga xizmat qiluvchi boshqariluvchi yarimo'tkazgichli to'g'rilagichlar, o'zgarmas tok impuls kengligi o'zgartiriladigan o'zgartkichlar, parametrik o'zgartkichlar, o'zgarmas tok generatorlari.

Boshqariluvchi o'zgaruvchan tok o'zgartkichlari – o'zgaruvchan tok (asinxron va sinxron) motorlari chiqish ko'rsatkichlari: tezligi, tezlanishi, burilish burchagi va boshqa mexanik ko'rsatkichlarini boshqarishga xizmat qiluvchi yarimo'tkazgichli chastota o'zgartkichlar, yarimo'tkazgichli kuchlanish rostlagichlari, parametrik o'zgartkichlar, asinxron va sinxron generatorlar.

Boshqariluvchi o'zgarmas tok elektromexanik o'zgartkichlari – mustaqil qo'zg'aluvchan chulg'amli o'zgarmas tok generatorlari.

Elektromashina kuchaytirgichi (EMK) – generator rejimida ishlaydigan o'zgarmas tok generatori, ko'ndalang va bo'ylama magnit maydonlari vositasida birlamchi boshqaruv signalini kuchaytiruvchi o'zgarmas tok generatori.

Taxogeneratorlar – aylanish tezligini elektr signaliga o'zgartiruvchi generator rejimida ishlaydigan mikromashinalar.

Selsinlar – burchak burilishi yoki chiziqli siljishlarni burchak burilishiga o'zgartirib masofaga uzatuvchi sinxron aloqa vositasiga ega bo'lgan induksion qurilmalar.

Buriluvchi transformatorlar – burilish burchagini proporsional kuchlanishga o'zgartiruvchi o'zgaruvchan tok mikromashinalari.

Boshqariluvchi o'zgaruvchan tok elektromexanik o'zgartkichlari – asinxron va sinxron generatorlar.

Boshqariluvchi o'zgarmas tok elektr o'zgartkichlari – qiymati boshqarilmaydigan o'zgaruvchan tok kuchlanishini qiymati boshqariladigan o'zgarmas tok kuchlanishiga o'zgartiruvchi yarimo'tkazgichli to'g'rilagichlar.

Boshqariluvchi o'zgaruvchan tok elektr o'zgartkichlari – qiymati va chastotasi boshqarilmaydigan o'zgaruvchan tok kuchlanishining amplituda hamda chastotasini boshqarishga xizmat qiluvchi yarimo'tkazgichli o'zgartkichlar.

Impuls-fazali boshqaruv tizimi – o'zgarmas va o'zgaruvchan tok yarimo'tkazgichli o'zgartkichlarning tiristor, tranzistor hamda boshqa yarimo'tkazgich asboblarni boshqarishga xizmat qiluvchi texnik qurilma.

Vazifalovchi qurilma – elektromexanik tizimning ish rejimini belgilab beruvchi qurilma.

O'lchov o'zgartkich – elektrik yoki noelektrik kattaliklarni boshqaruv tizimi uchun mos ko'rinishga ega bo'lgan elektrik signal ko'rinishiga keltiruvchi qurilma.

Bevosita chastota o'zgartkich – amplituda va chastotasi o'zgarmas bo'lgan tarmoqdagi o'zgaruvchan tok kuchlanishini to'g'ridan-to'g'ri amplituda va chastotasi boshqariladigan o'zgaruvchan tok kuchlanishiga o'zgartiradigan yarimo'tkazgichli elektr o'zgartkich.

Bilvosita chastota o'zgartkich – tarmoqdan uzatilayotgan amplituda va chastotasi o'zgarmas bo'lgan o'zgaruvchan tok kuchlanishini avval qiymati boshqariladigan o'zgarmas tokka o'zgartirib, so'ngra amplituda va chastotasi boshqariladigan o'zgaruvchan tok kuchlanishiga o'zgartiruvchi yarimo'tkazgichli elektr o'zgartkich.

Avtonom invertor – o'zgarmas tok kuchlanishini chastotasi boshqariladigan o'zgaruvchan tok kuchlanishiga o'zgartiruvchi yarimo'tkazgichli elektr o'zgartkich.

Induktiv-sig'im o'zgartkichlar – o'zgaruvchan tok zanjiridagi tok va kuchlanish rezonansi hodisasi asosida tok yoki kuchlanish qiymatlarini ma'lum bir oraliqda stabil ushlab turuvchi parametrik o'zgaruvchan tok o'zgartkichlari.

EMTning asosiy elementlari – bevosita elektr energiya oqimining ko'rsatkichlarini o'zgartirib (boshqarib) motorga uzatuvchi texnik qurilmalar – boshqariluvchi o'zgartkichlar.

EMTning boshqaruv elementlari – o'zgaruvchan va o'zgarmas tok o'zgartkichlarini boshqarish uchun zarur bo'lgan axborotlarni ishlab chiqaruvchi hamda qabul qiluvchi, qayta ishlovchi va boshqaruv signallarini shakl-

lantiruvchi qurilmalar: impuls-fazali boshqaruv tizimi, har xil elektrik va noelektrik o'lchov o'zgartkichlari, kuchaytirgichlar, rostlagichlar, moslagichlar va hokazo.

Kompensatsion qurilmalar – elektr tarmog'i va unga ulangan asinxron motorlarning quvvat koeffitsiyentlarini orttirishga xizmat qiluvchi kondensator batareyalari va sinxron kompensatorlar.

Simmetriyalovchi qurilmalar – fazalardagi tok va kuchlanishlarni bir tekisda taqsimlashni amalga oshiruvchi induktiv hamda sig'imli yoki faqat sig'imlardan iborat bo'lgan texnik qurilmalar.

1-bob. ELEKTROMEXANIK TIZIM ELEMENTLARINING ASOSIY KO'RSATKICHLARI VA TAVSIFLARI

Bu bobda avtomatlashgan elektr yuritma elementlarining vazifaviy xususiyatlari, ularning tavsiflari va ishlash asoslari hamda tizimda tutgan o'rni to'g'risida ma'lumot beriladi. EMT har bir elementining ichki tuzilishini noma'lum deb qarab, ammo uning tashqi xususiyatlari, ya'ni kirish va chiqish ko'rsatkichlari ma'lum deb qaraladi.

1.1. ELEKTROMEXANIK TIZIM ELEMENTLARI TO'G'RISIDA TUSHUNCHA

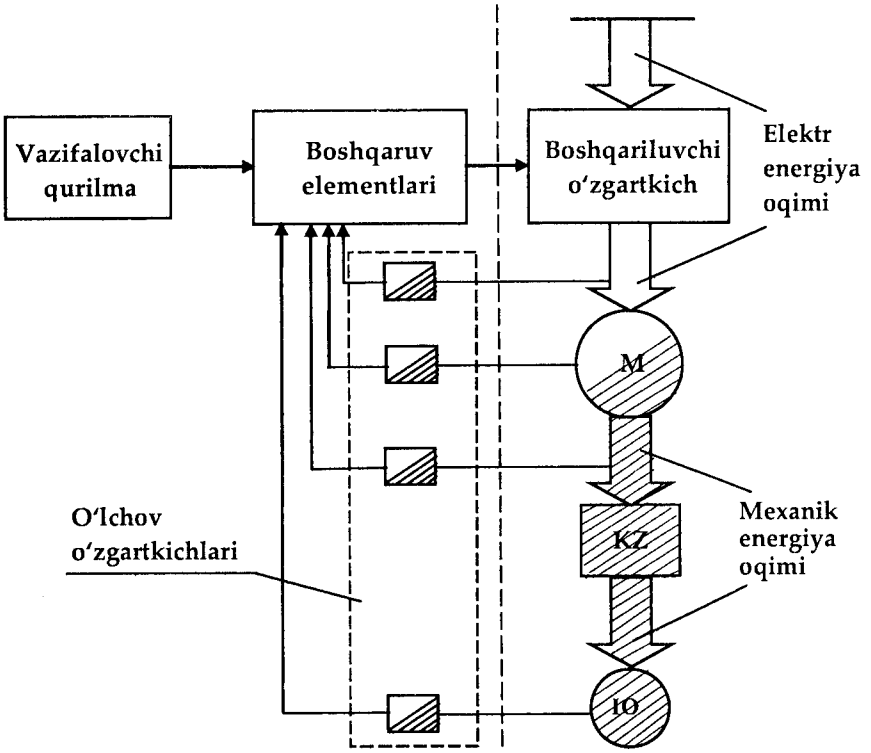
«EMTning elementlari» atamasi qo'llanilganda elektromexanik tizim tarkibiga kiruvchi boshqaruv tizimlari va ma'lum boshqaruv vazifalarini bajaruvchi konstruktiv yoki texnik qurilmalar tushuniladi. EMTning har bir elementi bu matematik andoza yoki zveno bo'lmay, balki konstruktiv jihatdan tugal texnik qurilmadir. Elementlarning ichki tuzilishi, ishlash asoslari, ichki jarayonlarning kechishi va qurilmalarning texnik jihatdan murakkablik darajasi xilma-xil bo'lishi mumkin.

1.1- rasmda EMTning tizim sxemasi tasvirlangan. EMTning tarkibiga kiruvchi elementlar o'zining bajaradigan vazifalari va tizimdagi tutgan o'rniga qarab bir necha turga bo'linadi.

EMTning elementlari energetik holati nuqtayi nazaridan qaraganda ***ishchi*** va ***boshqaruv*** elementlarga bo'linadi.

Ishchi elementlardan o'tayotgan asosiy elektr energiya oqimi, mexanik energiyaga aylantirilib, ishchi organ (IO)ga uzatiladi, bu qismlar ***EMTning energetika qismi*** deb ham yuritiladi (1.1- rasmning punktirli chiziqdan o'ng tarafida joylashgan qismlar).

Elektromexanik tizimning ishchi elementlariga motor (M), boshqariluvchi o'zgartkich (BO') va ishchi organ (IO) bilan Mni bog'lovchi kinematik zanjir (KZ)lar kiradi. Motorning kirish elektr zanjirlari ko'rsatkichlari bilan chiqish mexanik ko'rsatkichlari orasidagi bog'lanishlar «Elektr yuritma asoslari» kursida mufassal o'rganiladi. Ushbu kursda esa EMT ning ishchi elementlaridan, asosan, boshqariluvchi o'zgartkichlargina o'rganiladi.



1.1- rasm. Elektroomexanik tizimning tarkibiy tuzilishi.

Boshqariluvchi o'zgartkichlar vazifaviy xususiyatlariga qarab uch toifaga bo'linadi: ***kuchlanish o'zgartkichlari*** (kuchlanish manbalari), ***tok o'zgartkichlari*** (tok manbalari) va ***chastota o'zgartkichlari***. Energiyani o'zgartirish vositalariga qarab o'zgartkichlar ***elektromexanik*** (o'zgarmas va o'zgaruvchan tok generatorlari), ***elektromagnit*** (magnit) ***kuchaytirgichlar, induktiv-sig'imli parametrik tok o'zgartkichlari*** va ***elektr*** (yarimo'tkazgichli) ***o'zgartkichlar***ga bo'linadi.

Zamonaviy o'zgartkichlarning asosiy qismini yarimo'tkazgichli o'zgartkichlar, ya'ni tiristorli va tranzistorli o'zgartkichlar tashkil etib, ular o'zgaruvchan tokni o'zgarmasga, impuls kengligi boshqariladigan o'zgarmas tok va bevosita hamda bilvosita chastota o'zgartkichlar sifatida elektromexanik tizimlarda keng qo'llaniladi.

Boshqaruv elementlari EMT tarkibida egallagan o'rniga qarab ikki guruhga bo'linadi:

1. EMTning dinamik va statik xususiyatlarini hamda harakat vazifalarini shakllantiruvchi elementlar, bular EMT boshqaruv tizimini tashkil etuvchi rostlagichlar, o'lchov o'zgartkichlar, har xil o'zgartkichlar va boshqa shunga o'xshash vazifalarni bajaruvchi elementlar.

2. Ishchi element tarkibiga ajralmas bo'lak bo'lib kiruvchi va elementning matematik ifodasida u bilan yaxlitlikni aks ettiruvchi elementlar, bular masalan, tiristorlarni boshqarishda ishlatiladigan kommutatsion zanjirlar.

Birinchi guruhga kiruvchi boshqaruv elementlari ushbu kursda mufassal o'rganiladi va bu guruh o'z navbatida bir necha guruhchalarga bo'linadi, bular:

EMT ko'rsatkichlarini rostlashga xizmat qiluvchi turli xildagi sozlovchi va rostlovchi qurilmalar;

teskari bog'lanish zanjirlaridagi signallarni hosil qiluvchi va shakllantiruvchi sifatida foydalaniladigan elektrik hamda noelektrik o'lchov o'zgartkichlari;

boshqaruv qismlari kirish va chiqish signallarining o'zaro tok turi, darajasi kabi ko'rsatkichlari bo'yicha moslashtiruvchi qurilmalar.

Texnik ijrosi nuqtayi nazaridan ushbu guruhlashtirish EMT boshqaruv elementlarining juda xilma-xil bo'lishi mumkinligini taqozo qiladi. Misol uchun, vazifalovchi qurilma uzluksiz va uzlukli-raqamli tezlatkich uzatkichlar asosida yaratilishi yoki mantiqiy elementlar asosida dasturiy bloklardan iborat bo'lishi mumkin.

Rostlagich qurilmalar sifatida operatsion kuchaytirgichlar asosida yaratilgan tipik bloklar ishlatilmoqda.

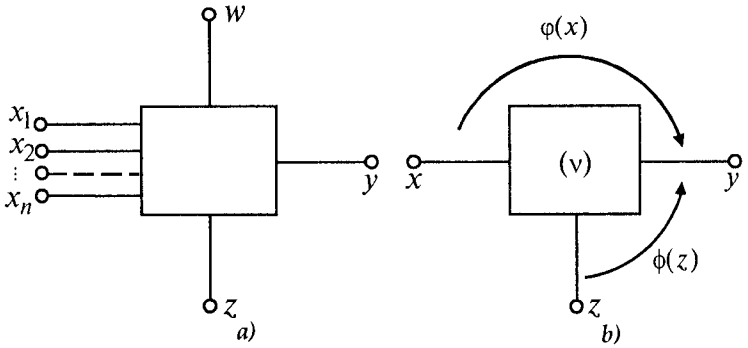
O'zgaruvchan va o'zgarmas tok taxogeneratorlari, selsinlar, induktivli hamda optik aylanuvchi o'lchov o'zgartkichlar, shuningdek, tok, kuchlanish, quvvat va boshqa elektr kattaliklar o'zgartkichlari ham o'lchov o'zgartkichlari guruhini tashkil etadi.

Fazaviy detektorlar, emmitorli qaytargichlar, quvvat kuchaytirgichlar, raqam-uzluksiz va uzluksiz-raqamli o'zgartkichlar moslovchi qurilmalarni tashkil etadi.

Shunday qilib, rostlagichlar, o'lchov o'zgartkichlari va moslashtiruvchi elementlar vazifasini faqat uzluksiz signallarda ishlovchi qurilmalargina emas balki diskret-raqamli qurilmalar ham bajarishi mumkin. Uzluksiz signallarda ishlovchi vazifalovchi va rostlagichlar sifatida moslashtirilgan mikro EHMning hisoblash qurilmalari ham ishlatilishi mumkin.

1.2. ELEKTROMEXANIK TIZIM ELEMENTLARINING KO'RSATKICHLARI VA TAVSIFLARI

EMTning har qanday elementining matematik andozasi ushbu elementning ko'p qutbli «qora quticha» shartli tasviri orqali ifodalanadi (1.2-*a* rasm): $x_1, x_2, .., x_n$ – kirish – boshqaruv ta'siri, y – chiqish kattaligi, W – energiya manbayining g'alayonli ta'siri, z – yuklanishning g'alayonli ta'siri.



1.2- rasm. Elektromexanik tizim elementlarining «qora quticha» ko'rinishdagi tasviri.

EMT elementlarining ko'rsatkichlari tabiatiga qarab uzluksiz yoki uzluksiz-diskret bo'lishi mumkin, biroq ularni uzatuvchi kattaliklar ularning fizik xossalariga mos kelmasligi ham mumkin, ya'ni nazoratdagi o'lchanadigan va olinadigan xabarlar har xil fizik tabiatli bo'lishi mumkin. Masalan, boshqaruv ta'siri sifatida faza qabul qilingan bo'lsa, uning fizik uzatuvchisi bo'lib elektr impulsi bo'lishi mumkin; chiqish kattaligi sifatida davr tezligi (chastota) o'lchanishi yoki nazorat qilinishi kerak bo'lsa, uning fizik ifodasi kuchlanish, tok, impulslar bo'lishi mumkin.

Har qanday elementda qandaydir bir ν ichki koordinata bo'lishi mumkinki, bu koordinata tashqi chiqish kattaligini shakillantirishda muhim rol o'ynaydi. Misol uchun, tashqi koordinatasi elektr yurituvchi kuch (EYuK) bo'lgan o'zgarmas tok generatorining ichki koordinatasi qo'zg'atuvchi chulg'amning magnit yurituvchi kuchi (MYuK) bo'lsa, tiristorli o'zgarmas tok o'zgartkichining ichki koordinatasi boshqaruv burchagi α bo'ladi.

Mutloqo aksariyat EMT elementlarining chiqish kattaligi EYuK yoki kuchlanish bo'lib, bu qurilmalarning quvvati elektr energiya manbayining quvvatiga nisbatan juda kichik bo'lgani uchun W – energiya manbayining

g'alayonli ta'sirini hisobga olmaslik mumkin, shunda elementning soddalashtirilgan «qora quticha» tasviri 1.2- *b* rasmda ko'rsatilgan holga keladi. Shunday qilib, EMTning har qanday elementi uch ko'rsatkich guruhi, ya'ni x, y, z bilan ifodalanishi mumkin.

Elementning tashqi ko'rsatkichi $y = f(x, z)$ ikki o'zgaruvchan kattalikning funksiyasidan iboratdir. Agar g'alayonli ta'sir z ni o'zgarmas kattalik deb qabul qilsak, u holda

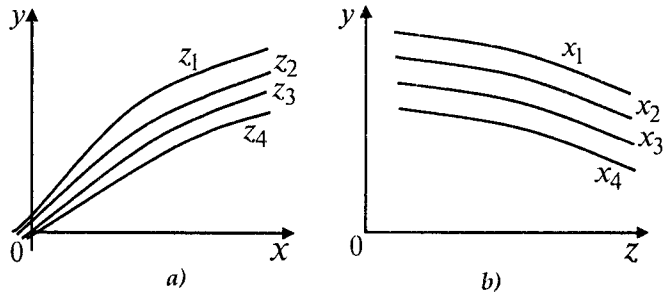
$$y = f(x), z = \text{const} \qquad (1.1)$$

bo'ladi va 1.3- *a* rasmda keltirilgan tavsiflar to'plamiga ega bo'lamiz, bu tavsiflar elementning ***boshqaruv tavsiflari*** deb ataladi.

Chiqish ko'rsatkichining boshqaruv ko'rsatkichiga bog'liqligi elementning boshqaruv xususiyatlarini baholaydi:

$$y = f(z), x = \text{const} \qquad (1.2)$$

funksiya asosida hosil bo'ladigan tavsiflar to'plami elementning ***tashqi tavsiflari*** deb ataladi (1.3- *b* rasm).



1.3- rasm. Elementning boshqaruv (a) va tashqi (b) tavsiflari.

Bu tavsiflar elementning yuklanishga nisbatan aks ta'sirini bildiradi. Yuklanish bo'yicha g'alayonli ta'sir elementning boshqaruv xususiyatlariga bilvosita ta'sir etadi. Tashqi tavsiflarning qiyaligi qancha kam bo'lsa, boshqaruv tavsiflarining yuklanishga bog'liqligi shuncha kam bo'ladi. $\frac{dy}{dz} = 0$ bo'lgandagina element boshqaruv tavsifiga yuklanishning ta'siridan qutilish mumkin, shunda boshqaruv tavsifi $y = f(x)$ birgina x ning funksiyasi bo'lib qoladi. Bunday boshqaruv tavsiflari ko'pincha uzlukli-diskret qurilmalar uchun xosdir.

Kirish ko'rsatkichlari bir nechta bo'lgan holda elementning eng avval amalga oshiradigan funksiyasi ushbu ko'rsatkichlarga ekvivalent mos yagona

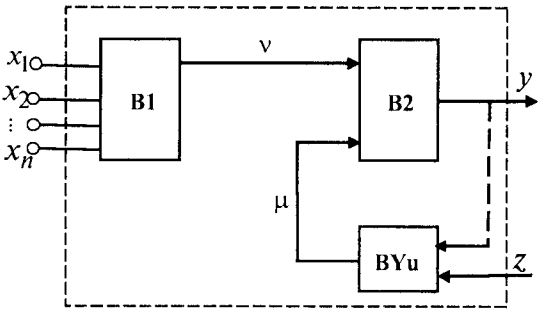
ko'rsatkichga keltiruvchi amalni bajarish va so'ngra shu asosida natijaviy boshqaruv signalini hosil qilishdir.

EMTning har bir elementining vazifaviy xususiyatlarini hisobga olgan holda ularning ish rejimlarini tahlil qilish uchun bundan buyon elementlarning 1.2- *b* rasmdagi tasviri o'rniga 1.4- rasmda keltirilgan birmuncha takomillashgan elementning blok-tizim sxemasidan foydalanamiz. B1 – kirish bloki, bu blokda boshqaruv signallarini ekvivalent yagona ko'rsatkichga keltirish va ichki koordinata ν ga o'zgartirish amali bajariladi. B2 – chiqish blokida ichki ν koordinata chiqish ko'rsatkichi y ga aylantiriladi. BYu – yuklagich bloki g'alayonli va tashqi ko'rsatkich ta'sirlarining nochiziqli $\mu = f(y,z)$ funksiyasini hosil qilish bilan bir qatorda bu funksiyani B2 ning kirish qismiga uzatadi. 1.4- rasmdagi element tavsiflarining bloklar bo'yicha matematik ifodasini yozib chiqamiz:

B1 bloki uchun $$\nu = \varphi_1(x), \tag{1.3}$$

B2 bloki uchun $$y = \varphi_2(x + \mu), \tag{1.4}$$

Element uchun $$y = [\varphi_1(x) + \mu(y,z)] = \varphi(x,z). \tag{1.5}$$



1.4- rasm. Elementning blok-tizim sxemasi.

EMT elementlari uchun xarakterli bo'lgan hollarni ko'rib chiqamiz. Aytaylik, g'alayonli ta'sir $\mu(z) = z$ bo'lib, faqat yuklanishgagina bog'liq bo'lsa hamda B1 chiziqli blok bo'lib, uning chiqishidagi funksiya $\nu = \varphi_1(x) = k_1 x$ bo'lsa, u holda elementning boshqaruv tavsifi quyidagi funksiya ko'rinishida bo'ladi:

$$y = \varphi_2[k_1 x + \mu(z)] = \varphi_2\left[k_1\left(x + \frac{\mu(z)}{k_1}\right)\right]. \tag{1.6}$$

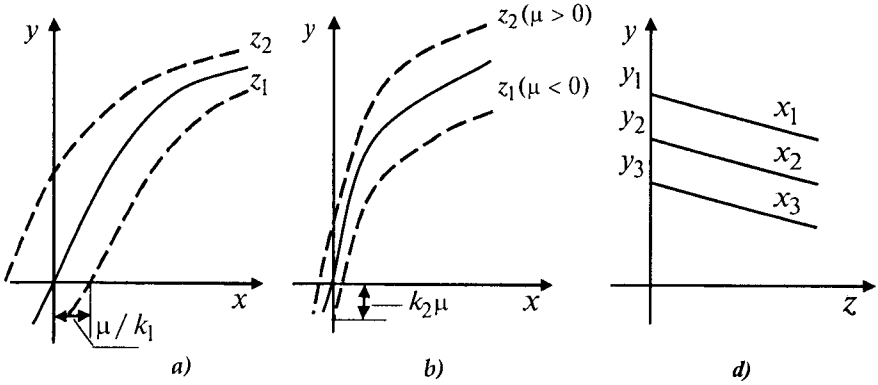
Agar (1.6) dagi boshqaruv signali $x = \text{const}$ bo'lsa, u holda boshqaruv tavsifi (1.5- *a* rasm)da keltirilgan ko'rinishda bo'ladi. Agar qo'shimcha ravishda B2 bloki ham chiziqli bo'lsa, u holda boshqaruv tavsifining matematik ifodasini quyidagi ko'rinishda yozish mumkin:

$$y = \varphi_2(\nu + \mu) = k_2\left[\varphi_1(x) + \mu(z)\right]. \qquad (1.7)$$

(1.7) ni yanada soddalashtirilsa va elementning g'alayonli ta'siri $z = \text{const}$ bo'lsa, uning boshqaruv tavsifi (1.5- *b* rasm)da keltirilgan tasvirga ega bo'ladi. Qo'shimcha ravishda BYu bloki ham chiziqli, ya'ni $\mu(z) = -k_{yu}z$ bo'lsa, elementning tashqi tavsifining matematik ifodasini quyidagicha ifodalash mumkin:

$$y = k_2\varphi_1(x) - k_2k_{yu}z = y_0x - k_2k_{yu}z \qquad (1.8)$$

va tavsifi chiziqli funksiya ko'rinishida bo'ladi (1.5- *d* rasm).



1.5- rasm. Elementning xarakterli hollari tavsiflari.

Avtomatik boshqaruv nazariyasi kursidan ma'lumki, ketma-ket ulangan dinamik zvenolarning umumiy uzatish funksiyasi shu zvenolar uzatish funksiyalarining ko'paytmasidan iborat bo'ladi, ya'ni elementning turg'un ish rejimi uchun umumiy uzatish koeffitsiyenti $k = k_1 \cdot k_2$ bo'lib, bunda: k_1 va k_2 — B1 va B2 bloklarning uzatish koeffitsiyentlari. Bundan shunday xulosa chiqarish mumkinki, demak, elementning taklif qilinayotgan blok-tizimi modeli elementning umumiy uzatish funksiyasini topishga ham imkon beradi.

Boshqaruv signallarining ikki bosqichli o'zgarishlarini hisobga oluvchi elementlarning blok-tizimli modeli elektromexanik tizim elementlari uchun umumiy bo'lib, bu modellarda ko'rsatkichlarni o'zgartirishning nochiziqliligini hisobga olish bilan birga o'tish jarayonlaridagi inersionlikni ham

hisobga olish imkonini beradi. Elementlarning inersionligi ularning kirish va chiqish zanjirlarida elektromagnit qurilmalarning, chunonchi sig'imli filtrlarning bo'lishi bilan izohlanadi. (1.1) – (1.5) tenglamalar elementning turg'un holatini ifodalagani uchun bu tenglamalarda bloklarning inersionligi hisobga olinmagan. Blok-tizim modelidagi B1 va B2 bloklarni birinchi tartibli inersion zvenolar deb qarashning o'zi kifoya va bloklar uchun chiziqlilikka keltirilgan differensial tenglamalarni operator ko'rinishda quyidagicha ifodalanadi:

B1 blok uchun $$(Tr + 1)\nu = k_1 x, \tag{1.9}$$

B2 blok uchun $$(Tr + 1)y = k_2(\nu + \mu), \tag{1.10}$$

bunda: T_1, T_2 – B1 va B2 bloklarning vaqt doimiyliklari.

Shunday qilib, EMT ni tashkil etuvchi elementlarining taklif etilayotgan blok-tizim modeli bu elementlarning ham turg'un va ham noturg'un ish rejimlarini tahlil qilish imkonini beradi.

NAZORAT UCHUN SAVOLLAR

1. *Elektromexanik tizim qanday asosiy elementlardan tashkil topgan?*
2. *Elektromexanik tizimlarning kuch elementlariga qanday qurilmalar kiradi?*
3. *Elektromexanik tizimlarning boshqaruv elementlariga qanday qurilmalar kiradi?*
4. *Elektromexanik tizim elementlarining qanday asosiy tavsiflari bor?*
5. *Elektromexanik tizim elementlarining boshqaruv tavsiflari qanday quriladi?*
6. *Elektromexanik tizim elementlarining tashqi tavsiflari qanday quriladi?*
7. *Elektromexanik tizim elementlarining blok-sxemasi nechta blokdan tashkil topgan?*
8. *Elektromexanik tizim elementlari chiqish blokining vazifasi nima?*
9. *Elektromexanik tizim kuch elementlarining ichki koordinatasi qanday koordinata?*
10. *Elektromexanik tizim elementlarining kirish bloki qanday vazifani bajaradi?*
11. *O'zgarmas tok generatori uchun ichki koordinata qanday fizik kattalik bo'ladi?*
12. *Boshqariluvchi o'zgarmas tok o'zgartkichi uchun ichki koordinata qanday fizik kattalik bo'ladi?*

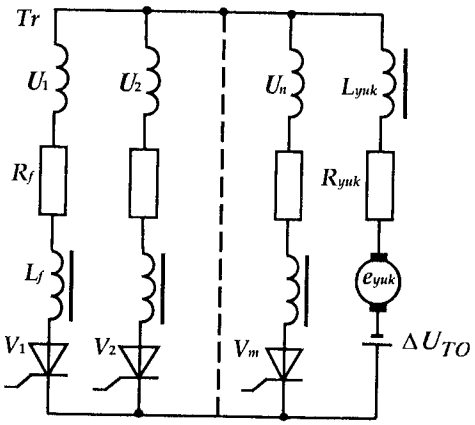
2-bob. BOSHQARILUVCHI O'ZGARMAS TOK O'ZGARTKICHLARI

2.1. YARIMO'TKAZGICHLI O'ZGARMAS TOK O'ZGARTKICHLARINING ASOSIY KUCH SXEMALARI VA KO'RSATKICHLARI

Hozirgi paytda elektromexanik tizimlarning o'zgarmas tokli avtomatlashgan elektr yuritmalarida boshqariluvchi elektr energiya manbayi sifatida o'zgaruvchan tokni o'zgarmas tokka aylantiruvchi boshqariluvchi yarimo'tkazgichli to'g'rilagichlar keng ishlatilmoqda. Bunday to'g'rilagichlarda yarimo'tkazgich sifatida, asosan, boshqariluvchi diodlar, ya'ni tiristorlardan foydalaniladi va shuning uchun ham bu to'g'rilagichlar ***tiristorli o'zgarmas tok o'zgartkichlari*** (yoki ***tiristorli to'g'rilagichlar***) deb ataladi.

Har qanday bir yo'nalishli tiristorli o'zgarmas tok o'zgartkichi (TO') ning ish rejimlarini tahlil qilishda, odatda, umumlashgan *m* fazali hisob sxemalaridan keng foydalaniladi (2.1- rasm).

2.1- rasmdagi sxemada keltirilgan shartli belgilar va ularning fizik ma'nolari: L_{yuk}, R_{yuk} – yuklagich, tok o'tkazgich simlar va silliqlovchi reaktorlarning induktivligi va aktiv qarshiligi, e_{yuk} – motorning EYuK (agar TO' motorning qo'zg'atish chulg'amiga ulangan bo'lsa, u holda $e_{yuk} = 0$); ΔU_{TO} – tiristordagi kuchlanish pasayishiga mos kuchlanish (bu qabul qilingan kuchlanish pasayishi yuklanishning tok qiymatiga bog'liq bo'lmay tiristorlar uchun bir xil qiymat qabul qilingan); R_f – transformatorning fazalari va anod taqsimlagichlarning birgalikdagi aktiv qarshiligi; L_f – transformator va anod taqsimlagichlarning birgalikdagi tarmoq induktivligi. $V_1 - V_m$ tiristorlar ideal, ya'ni to'liq boshqariluvchan deb qaraladi.



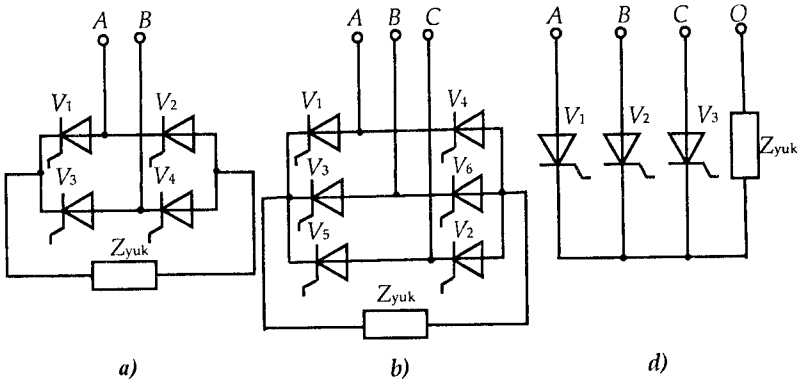
2.1- rasm. Tiristorli o'zgarmas tok o'zgartkichining hisob sxemasi.

TO'ning statik rostlash tavsifi $E_d = f(\alpha)$ umumiy ko'rinishda quyidagi matematik ifodadan iborat bo'ladi:

$$E_d = \frac{m}{2\pi} \int_{\frac{\pi}{2}+\frac{\pi}{m}-\alpha}^{\frac{\pi}{2}+\frac{\pi}{m}+\alpha} E_{fm} \sin \omega_0 t d\omega_0 t = E_{d\max} \cos \alpha, \qquad (2.1)$$

bunda: $E_{d\max} = \sqrt{2} E_{2f} \frac{m}{\pi} \sin \frac{\pi}{m}$ – TO'ning maksimal EYuK; E_{fm} – o'zgartkich fazasi elektr yurituvchi kuchining amplituda qiymati, E_{2f} – transformator ikkilamchi chulg'ami faza kuchlanishining haqiqiy qiymati, m – o'zgartkichning fazalari soni, ω_0 – manba kuchlanishining aylanma chastotasi.

E_{dmax} ning qiymati o'zgartkich ishchi sxemasi turlariga (2.2- rasm) va ta'minlovchi tarmoq elektr ko'rsatkichlariga bog'liq (2.1- jadval). Yuklanishning quvvati $P_d = E_{dmax} I_d$ ga teng bo'ladi (bunda I_d yuklanish toki).



2.2- rasm. TO'ning bir fazali ko'prik (a), uch fazali ko'prik (b) va uch fazali nol (d) kuch sxemalari.

TO' ishchi sxemalari tahlil qilinadigan bo'linsa, bir fazali ko'prik sxemalar (2.2- *a* rasm) asosan kichik quvvatli elektr yuritmalar uchungina qo'llanilishi bilan chegaralanadi. Uch fazali sxemalar esa asosan o'rta va katta quvvatli elektr yuritmalarda ishlatiladi. Uch fazali ko'prik sxema (2.2- *b* rasm) uch fazali nol sxemaga (2.2- *d* rasm) nisbatan bir qator afzalliklarga

ega. Bu afzalliklarning nimalardan iborat ekanligi 2.1- jadvaldan ham ko'rinib turibdi:

1) transformatorning ikkilamchi chulg'amida kuchlanishlar bir xil bo'lgan holda to'g'rilangan EYuKning qiymati ikki marra katta;

2) to'g'rilangan EYuKning tebranish chastotasi ikki marta ko'p (chastota $f = 300$ Hz) bo'lishi bilan birga amplitudasi ikki marta kichikdir;

3) ishchi sxema tarmoqqa transformatorsiz ham ulanishi mumkin;

4) transformatorning rusumiy quvvati kam va bor-yo'g'i $S_t = 1,05P_d$ nigina tashkil etadi.

2.1- jadval

TO' ishchi sxemalarining turlari	Bir fazali ko'prik sxema	Uch fazali nol sxema	Uch fazali ko'prik sxema
Fazalar soni, m	2	3	6
Rasmning tartib soni	2.2- *a*	2.2- *d*	2.2- *b*
To'g'rilangan EYuKning maksimal qiymati, E_{dmax}	0,9 E_{2l}	1,17 E_{2f}	1,35 E_{2l}
Maksimal teskari kuchlanish, $U_{tes.kuchl.}$	1,57 E_{dmax}	2,09 E_{dmax}	1,05 E_{dmax}
Transformatorning ikkilamchi chulg'amidagi liniya tok, I_2	I_d	0,58 I_d	0,817 I_d
Har bir tiristordan o'tayotgan o'rtacha tok, I_{tir}	0,5 I_d	0,33 I_d	0,33 I_d
Transformatorning rusumiy quvvati, S_t	1,11 P_d	1.35 P_d	1.045 P_d

Ushbu afzalliklar uch fazali ko'prik sxemali TO'larning keng qo'llanilishiga asos bo'lib, hozirda ular quvvati bir necha ming kilovatt bo'lgan o'zgarmas tok elektr yuritmalarida ham ishlatilmoqda.

Umuman olganda, TO'larning iqtisodiy, texnik va foydalanish ko'rsatkichlari yuqori bo'lishi bilan elektromexanik o'zgartkichlardan aylanuvchi qismlari yo'qligi bilan bir qatorda quyidagi ko'rsatkichlari bilan ham yaqqol ajralib turadi:

1) tiristorlardagi quvvat isrofining juda kamligi hisobiga (kuchlanish pasayishining 1 Voltdan ham kamligi tufayli) foydali ish koeffitsiyentining yuqori bo'lishi;

2) tiristorlarning yarim boshqaruvchanligi sababli va boshqaruv zanjirlarida sig'imli filtrlarning borligi hisobigagina kichik qiymatdagi inersionlikning mavjudligi;

3) tezkor ta'sirli muhofaza turlarining ishlatilishi va tiristorli o'zgartkichning vazifaviy elementlari alohida modullar tarzida bajarilishi o'zgartkichning ishonchli ishlashini ta'minlaydi;

4) katta joyni egallamaydi, shovqinsiz ishlaydi, o'rnatishga alohida joy tayyorlash talab etilmaydi.

Shu bilan bir qatorda TO' ba'zi kamchiliklardan ham xoli emas:

1) kuchlanishni chuqur rostlash jarayonida reaktiv tok ortishi tufayli quvvat koeffitsiyenti pasayadi;

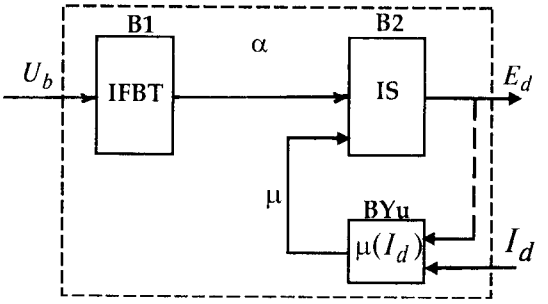
2) ortiqcha yuklanishga o'ta ta'sirchan;

3) tiristorli o'zgarmas tok o'zgartkichining ishlashi ta'minlanayotgan elektr tarmoqdagi kuchlanish shaklining o'zgarishiga olib keladi; bu transformatorlarda, simlarda quvvat isrofining ortishiga olib keladi;

4) radio to'siq to'lqinlarining tarqalish darajasini orttirishga olib keladi.

2.2. TIRISTORLI O'ZGARMAS TOK O'ZGARTKICHINING ASOSIY TAVSIFLARI

TO'ning blok-tizim sxemasi 1.4- rasmda keltirilgan EMT elementining blok-tizim sxemasi asosida tuzilib, bunda: kirish bloki B1 tiristorlarni boshqarish vazifasini bajaruvchi impuls-faza boshqarish tizimi IFBTni tashkil etadi, kirish ko'rsatkichi bo'lib boshqaruv kuchlanishi U_b bo'ladi, o'zgartkichning ichki ko'rsatkichi sifatida tiristorlarning boshqaruv burchagi α bo'ladi. Chiqish bloki B2 o'zgartkichning ishchi sxemasi IS ni anglatadi, uning chiqish ko'rsatkichi to'g'rilangan EYuK E_d bo'ladi (2.3- rasm). TO'ning chiqish ko'rsatkichi E_d ga yuklanish toki I_d ning ta'siri g'alayonli ta'sir bo'lib, BYu yuklagich bloki orqali B2 ning kirish qismiga ta'sir qiladi, I_d ning E_d ga ta'siri faqatgina o'zgartkichning uzlukli tok rejimidagina mavjuddir.



2.3- rasm. TO'ning blok-tizim sxemasi.

TO'ning o'zgarmas tok motoriga ulanishi, ya'ni yuklanishning induktiv-aktiv xarakterda bo'lishligi, o'zgartkichda uch xil tok rejimi ***uzluksiz, uzlukli*** va ***chegara tok rejimlari*** mavjud bo'lishiga olib keladi. TO'ning tashqi tavsifi, ya'ni $U_d = f(I_d)$ ning matematik ifodasi quyidagicha ifodalanadi:

$$U_d = E_{d\max}\cos\alpha - \Delta U_{T_0} - \left[\frac{m}{2\pi}\omega_0 L_f + R_f\left(1 - \frac{\gamma}{\pi}\right)\right] I_d \qquad (2.2)$$

va bunda: γ – tiristorlarning kommutatsiya burchagi.

(2.2) ifoda kommutatsiya boshidagi tok i_0 va oxiridagi tok i_γ o'rtacha qiymati yuklanish toki I_d ga teng degan taxminga mos keladi va haqiqatda ham bu tenglik o'rtacha va katta quvvatli o'zgarmas tok elektr yuritmalari uchun haqiqatga yaqindir. Agar $\gamma = 4\pi / m$ ligini hisobga olinadigan bo'lsa, u holda (2.2) ni birmuncha soddalashtirish mumkin:

$$U_d = E_{d\max}\cos\alpha - \Delta U_{T0} - \left[\frac{m}{2\pi}\omega_0 L_f + R_f\right] I_d, \qquad (2.3)$$

bunda: $R_e = \frac{m}{2\pi}\omega_0 L_f + R_f$ – TO'ning umumiy aktiv qarshiligi ekanligi hisobga olinadigan bo'lsa, u holda (2.3)ni yanada ixchamlashtirish mumkin bo'ladi:

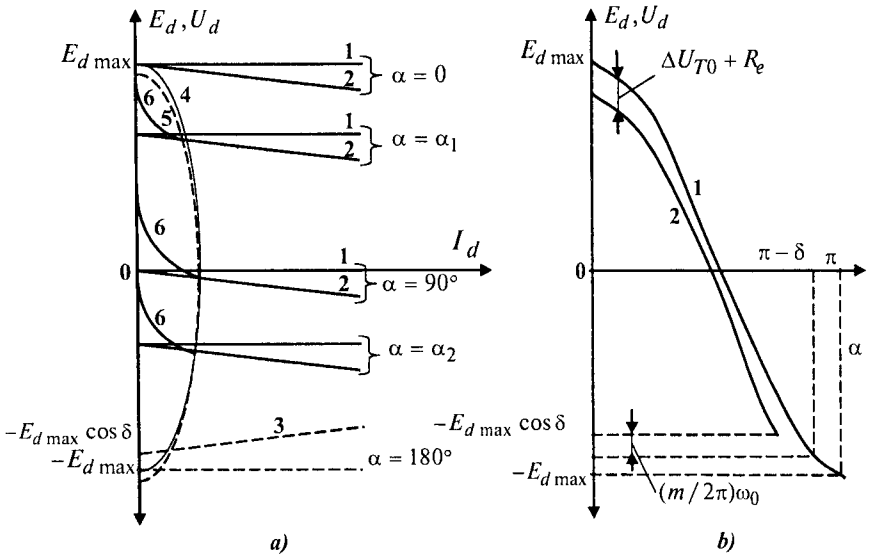
$$U_d = E_{d\max}\cos\alpha - \Delta U_{T0} - R_e I_d . \qquad (2.4)$$

2.4- rasmda keltirilgan tavsiflar to'plami (2.4) ifoda asosida boshqaruv burchagi α ning o'zgarmas qiymatlari uchun qurilgan tiristorli o'zgartkichning tashqi tavsiflaridir. Bu tavsiflar boshqaruv burchagi $\alpha \le \pi - (\gamma + \delta)$ o'zgarishi oralig'i uchun mos bo'lib, bunda δ – burchak tiristorning yopilish xususiyatlarini tiklash uchun kerak bo'ladigan vaqt. TO'ning invertorlik chegarasidagi zona uchun tashqi tavsif

$$U_d = -E_{d\max}\cos\delta + \frac{m}{2\pi}\omega_0 L_f I_d \qquad (2.5)$$

bilan ifodalanib, 2.4- rasmdagi 3- to'g'ri chiziqli funksiyani beradi.

1- to'g'ri chiziq abssissa o'qi I_d ga parallel bo'lib, o'zgartkichning to'g'rilangan EYuK E_d ni beradi. 2- to'g'ri chiziq (2.4) ifodaga mos to'g'rilangan U_d ning tok I_d bilan bog'liq funksiyasini beradi. Yuklagich tokining ortib borishi $R_e I_d$ proporsional ortib borishi bilan xarakterlanadi va tavsifning nishabi shunga qarab ortib boradi. Bu tushunchalar hammasi o'zgartkichning uzluksiz tok rejimi uchungina mos keladi.



2.4- rasm. Tiristorli o'zgartkichning tashqi (a) va boshqaruv (b) tavsiflari.

Endi $U_d = f(I_d)$ tavsifning chegara tok rejimi ko'rsatkichlarini aniqlaymiz. Chegara tok rejimida kommutatsiya zonasi bo'lmasligi bilan xarakterlidir, tiristorlarning o'tkazish davri $\lambda = \pi / m$ ning boshlanishida ham va oxirida ham $I_d = 0$. Bu rejimga mos tenglamalar quyidagicha ifodalanadi:

$$I_{dch} = (1 - \frac{\pi}{m} ctg \frac{\pi}{m}) \frac{E_{d\max}}{x_{yuk} + x_f} \sin\alpha, \qquad (2.6)$$

$$U_{dch} = E_{d\max} \cos\alpha. \qquad (2.7)$$

Chegara tok rejimidagi tiristorli o'zgartkichning tok va kuchlanishlarining qiymatlarini topishda (2.6) va (2.7) ifodalardan foydalaniladi. Bunda x_{yuk} va x_f — yuklanish va transformator ikkilamchi chulg'amlarining induktiv qarshiliklari 2.4- *a* rasmdagi 4- egri chiziq — ellips o'zgartkichning chegara tok rejimi ko'rsatkichlari asosida quriladi va bu tavsif uzluksiz va uzlukli tok rejimlarini bir-biridan ajratib turadi.

5- egri chiziq ΔU_{T0} kuchlanish pasayishini hisobga olgan holdagi chegara rejim ko'rsatkichlarini ifodalaydi.

TO'ning uzlukli tok rejimida o'zgartkichning o'rtacha to'g'rilangan kuchlanishi yuklagich zanjirining EYuKiga teng bo'lib, tiristor o'tka-

zuvchanligining har bir $2\pi/m$ davrida $I_d = 0$ bo'lib, tashqi tavsifi quyidagi formula bilan ifodalanadi:

$$U_d = E_{d\max} = E_{fm}\cos(\alpha - \frac{\pi}{m}) - \Delta U_{T0} \qquad (2.8)$$

va u 2.4- rasmdagi 6- egri chiziq ko'rinishiga ega bo'ladi.

Tiristorli o'zgartkichning boshqaruv tavsiflari to'g'rilangan EYuK bo'yicha $E_d = f(\alpha)$ va to'g'rilangan kuchlanish bo'yicha $U_d = f(\alpha)$ (2.4) tenglamadagi yuklanish toki I_d ning turli o'zgarmas qiymatlarida boshqaruv burchagi α ni o'zgartirib quriladi. TO'ning uzluksiz tok rejimi uchun boshqaruv tavsifi 2.4- *b* rasmda keltirilgan. 1- egri chiziq to'g'rilangan EYuK $E_d = E_{d\max}\cos\alpha$ ning boshqaruv burchagi α ga bog'liq ravishda o'zgarishini ko'rsatadi. 2- egri chiziq esa to'g'rilangan kuchlanishning boshqaruv burchagi α ga bog'liq o'zgarishini tasvirlaydi.

O'rta va katta quvvatli elektr yuritmalar uchun tiristorli o'zgartkich uzlukli tok zonasining arzimas bo'lishi sababli o'zgartkichning bu tok rejimi amaliyotda ko'pincha hisobga olinmaydi. Ammo kuzatuvchi elektr yuritma tizimlarida, ya'ni boshqaruv kichik signallar asosida boshqariladigan tiristorli o'zgartkichli elektr yuritmalarda uzlukli tok rejimini hisobga olish zarurdir.

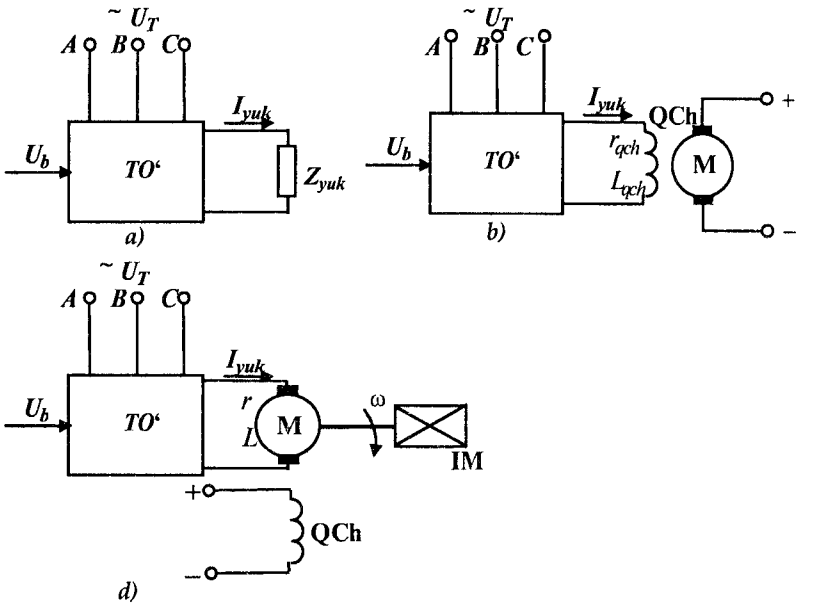
2.3. TIRISTORLI O'ZGARMAS TOK O'ZGARTKICHLARINING DINAMIK XUSUSIYATLARI

Tiristorli o'zgarmas tok o'zgartkichning dinamik xususiyatlarini ko'rib chiqamiz. Agar tiristorli o'zgarmas tok o'zgartkichining ishchi sxemasi aktiv-induktiv xarakterdagi yuklagichga ulangan (2.5- *a* rasm) va ishlash rejimi uzluksiz tok rejimi bo'lsa I_d ga nisbatan o'tish jarayonining differensial tenglamasi operator ko'rinishda quydagicha yoziladi:

$$T_c = pI_d(p) + I_d(p) = \frac{U_d(p)}{R_{yuk} + R_e},$$

bunda: $T_c = \frac{L_{yuk} + L_f}{R_{yuk} + R_e}$ tiristorli o'zgarmas tok o'zgartkichining chiqish zanjirlari ko'rsatkichlarini hisobga olingan holdagi vaqt doimiyligi;

L_f, R_e – transformatorning ikkilamchi chulg'ami va ulanuvchi simlarning induktivligi hamda tiristorli o'zgarmas tok o'zgartkichining ekvivalent aktiv qarshiligi; L_{yuk}, R_{yuk} – yuklanish zanjirining induktivligi va aktiv qarshiligi.



2.5- rasm. TO'ning aktiv-induktiv yuklanishga (a), o'zgarmas tok motori qo'zg'atish chulg'amiga (b) va yakor zanjiriga (d) ulanish sxemalari.

Tiristorli o'zgarmas tok o'zgartkichi o'zgarmas tok motorining qo'zg'atish chulg'ami (QCh)ga ulangan bo'lsa (2.5- *b* rasm), u holda QCh ning vaqt doimiyligini hisoblashda albatta o'zgartkichning ko'rsatkichlari ham ishtirok etadi:

$$T_c = T_k = \frac{L_{qch} + L_f}{r_{qch} + R_e},$$

bunda: L_{qch}, r_{qch} – qo'zg'atish chulg'ami zanjirining induktivligi va aktiv qarshiligi.

Agar tiristorli o'zgarmas tok o'zgartkichi o'zgarmas tok motorining yakor zanjiriga ulangan bo'lsa (2.5- *d* rasm), unda tiristorli o'zgarmas tok elektr yuritmaning boshqaruv ta'siri deb $E_d(p)$ni, chiqish kattaligi deb $E_{yuk}(p) = c\omega(p)$ ni qabul qilinsa, unda motorning uzatish funksiyasi quyidagicha ifodalanadi:

$$\frac{E_{yuk}(p)}{E_d(p)} = \frac{1}{T_m T_{ya} p^2 + T_m p + 1},$$

bunda: $T_m = J\dfrac{r + R_e}{c^2}$ – motorning elektromexanik vaqt doimiyligi;

$T_{ya} = \dfrac{L + L_f}{r + R_e}$ – motorning elektromagnit vaqt doimiyligi; L va r – yakor zanjirining induktivligi va aktiv qarshiligi; c – motorning konstruktiv elementlariga bog'liq bo'lgan doimiyligi.

Agar tiristorli o'zgarmas tok elektr yuritma uzlukli tok rejimida ishlayotgan bo'lsa, u holda elektromagnit vaqt doimiyligi T_{ya} ni hisobga olmaslik mumkin, biroq elektromexanik vaqt doimiyligi $T_m = JR_n/c^2$ ga teng bo'ladi,

bunda $R_n = \dfrac{E_{d\max} - U_{dch}}{I_{dch}}$ T – o'zgartkichning uzlukli tok rejimida hosil bo'ladigan nochiziqli ichki qarshiligi. Demak, tiristorli elektr yuritmadagi motorning boshqaruv ta'siri bo'yicha uzatish funksiyasi nodavriy zvenoning uzatish funksiyasi kabi bo'ladi, ya'ni quyidagi ko'rinishga ega bo'ladi:

$$\frac{E_{yuk}(p)}{E_d(p)} = \frac{1}{T_m p + 1}.$$

2.4. TIRISTORLI O'ZGARMAS TOK O'ZGARTKICHINING KUCH TIRISTORLARINI BOSHQARISH

Hozirgi paytda TO' ishchi sxemalaridagi tiristorlarni boshqarish uchun vertikal prinsipida ishlovchi impuls-faza boshqaruv tizimlari (IFBT) keng qo'llanilmoqda. IFBTga qo'yiladigan asosiy talablar tiristorlarning normal ishlashini ta'minlashi va har qanday nonormal rejimlardan muhofaza qilishi lozim va bu talablar quyidagilardan iborat:

1) boshqarish impulsining amplitudasi 200 – 400 mA dan kam bo'lmasligi kerak;

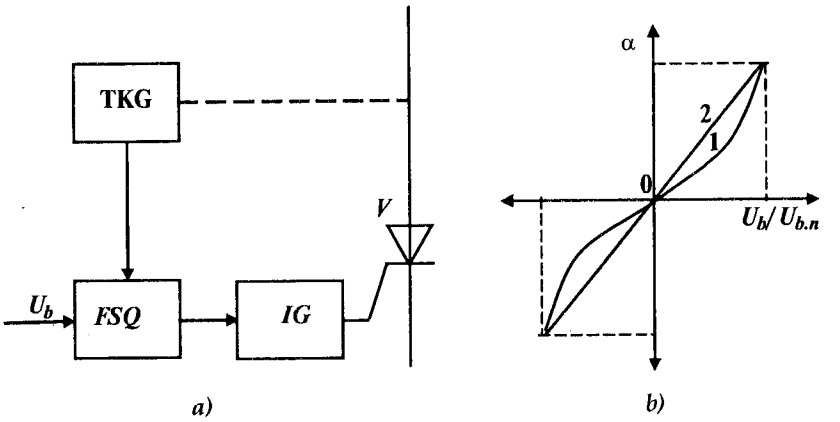
2) impuls kengligi shunday bo'lishi kerakki, bu oraliqda tiristordagi tokning o'sishi uning o'rtacha qiymatiga yetib olishga ulgurishi kerak va odatda bu kenglik 10 – 15° ga teng bo'ladi;

3) boshqaruv jarayonidagi asimmetriyani yo'qotish uchun (asimmetriya darajasi 3° dan ortmasligi kerak) impulsning boshlanishidagi tiklik darajasi yuqori (10 A/s tartibda) bo'lishi lozim;

4) boshqaruv burchagining o'zgarish diapazoni $-2(\gamma+\delta) \le D \le \pi(\gamma+\delta)$ bo'lib, tiristorlarning boshqarish burchagining maksimal qiymati $\alpha = 150° - 160°$ bo'lishi kerak;

5) boshqaruv tizimining tezkorligi TO'ning amalda inersiyasiz qurilma sifatida ishlashiga imkon yaratishi lozim.

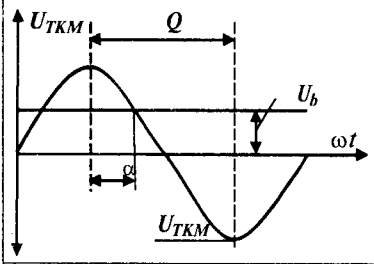
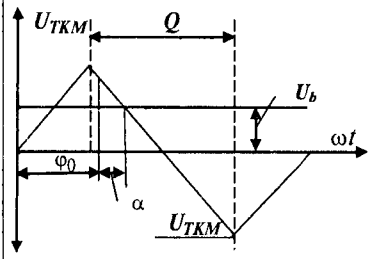
2.6- *a* rasmda IFBTning funksional sxemasi keltirilgan bo'lib, bunda TKG – tayanch kuchlanishi U_{TK} ni hosil qiladi (U_{TK} ning shakli sinusoidal, arrasimon va boshqa ko'rinishlarda bo'lishi mumkin) bu signal FSQ – faza siljitish qurilmasida boshqaruv kuchlanishi U_b bilan taqqoslanib, ularning ayirmasi ($U_b - U_{TK}$)ning ishorasi o'zgarishi IG – impuls generatorida boshqaruv impulsining yuzaga kelishiga va kuch sxemadagi tiristor Vni ochishga imkon beradi. 2.2- jadvalda amaliyotda keng qo'llaniladigan tayanch kuchlanshi U_{TK} ning ikki xil ko'rinishi uchun IFBTning boshqaruv tavsifi $U_b = f(\alpha)$ va kuchaytirish koeffitsiyenti $K_{IFBT} = f(\alpha)$ ning matema-



a) *b)*

2.6- rasm. IFBTning funksional sxemasi (a) va boshqaruv burchagining tayanch kuchlanishiga bog'liqlik tavsiflari (b).

2.2-jadval

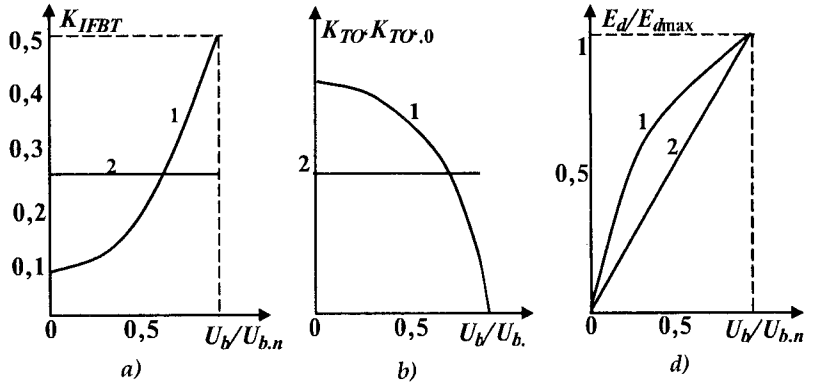
Tayanch kuchlanish shakli	$U_{TK} = f(\omega t)$	$U_{TK} = f(\omega t), K_{IFBT} = f(\alpha)$
Sinusoidal 	$U_{TK} = U_{TMK} \sin \omega t$	$U_b = U_{TMK} \cos \alpha$ $K_{IFBT} = -\frac{1}{U_{TKM} \sin \alpha}$
Arrasimon 	$U_{TK} = U_{TKM}(1 \frac{\omega t}{Q})$	$U_b = U_{TMK}(1 - \frac{\varphi_0 + \alpha}{Q})$ $K_{IFBT} = -\frac{Q}{U_{TKM}}$

tik ifodalari berilgan. 2.6- *b* rasmda sinusoidal va arrasimon ko'rinishdagi tayanch kuchlanishli IFBTning rostlash tavsiflari $\alpha = f(U_b / U_{bn})$ berilgan bo'lib, bu tavsiflar tayanch kuchlanishining shakli sinusoidal bo'lganda (1-egri chiziq) va arrasimon bo'lganda (2- egri chiziq) to'g'ri chiziqli ko'rinishda bo'ladi. Xuddi shu ikki xil ko'rinishga ega bo'lgan tayanch kuchlanishli IFBTlarning kuchaytirish koeffitsiyentlari 2.7- *a* rasmda keltirilgan. Tayanch kuchlanishining shakli sinusoidal (1- egri chiziq) va (2- to'g'ri chiziq) bo'lgan holdagi IFBT kuchaytirish koeffitsiyentlari taqqoslansa, U_{TK} ning shakli arrasimon bo'lgan holda kuchaytirish koeffitsiyenti o'zgarmas bo'lib, tiristorlarning ochilishini boshqarishda katta qulaylik yaratadi.

TO'ning natijaviy kuchaytirish koeffitsiyenti

$$K_{TO'} = K_{IFBT} \cdot K_{IS} \qquad (2.9)$$

bo'lib, bunda $K_{IS} = \frac{de_d}{d\alpha}$ – o'zgartkich ishchi sxemasining kuchaytirish



2.7- rasm. IFBTning (a) va TO'ning kuchaytirish koeffitsiyentlarining (b) va to'g'rilangan EYuK ning boshqaruv kuchlanishiga (d) bog'liqlik tavsiflari.

koeffitsiyent bo'lib, (2.1) tenglamaning boshqaruv burchagi α bo'yicha olingan hosilasidir.

2.7- *b* rasmda tiristorli o'zgartkichning kuchaytirish koeffitsiyenti $K_{TO'}$ning boshqaruv kuchlanishi U_b ga bog'liq ravishda o'zgarishi va bu o'zgarishga tayanch kuchlanishi shaklining bevosita ta'siri ko'rsatilgan.

TO'ning boshqaruv tavsifi $E_d = f\left(\frac{U_b}{U_{b.n}}\right)$ ham so'zsiz IFBT tayanch kuchlanishi U_{tk} shakliga bog'liqdir, agar U_{tk} ning shakli sinusoidal bo'lsa (2.2- jadval) hisobga olinganda, o'zgartkichning boshqaruv tavsifi chiziqli funksiya bo'ladi (2.6- *b* rasm, 2- to'g'ri chiziq), ya'ni

$$E_d = E_{d\max}\cos\alpha = E_{d\max}\cos\left(\arccos\frac{U_b}{U_{b.n}}\right) = E_{d\max}\frac{U_b}{U_{b.n}} \qquad (2.10)$$

ko'rinishda yoziladi. Agar U_{tk} ning shakli arrasimon bo'lsa, $\alpha = f\left(\frac{U_b}{U_{b.n}}\right)$ funksiya chiziqli bo'lishi bilan (2.6- *b* rasm, 2- to'g'ri chiziq) o'zgartkichning boshqaruv tavsifi

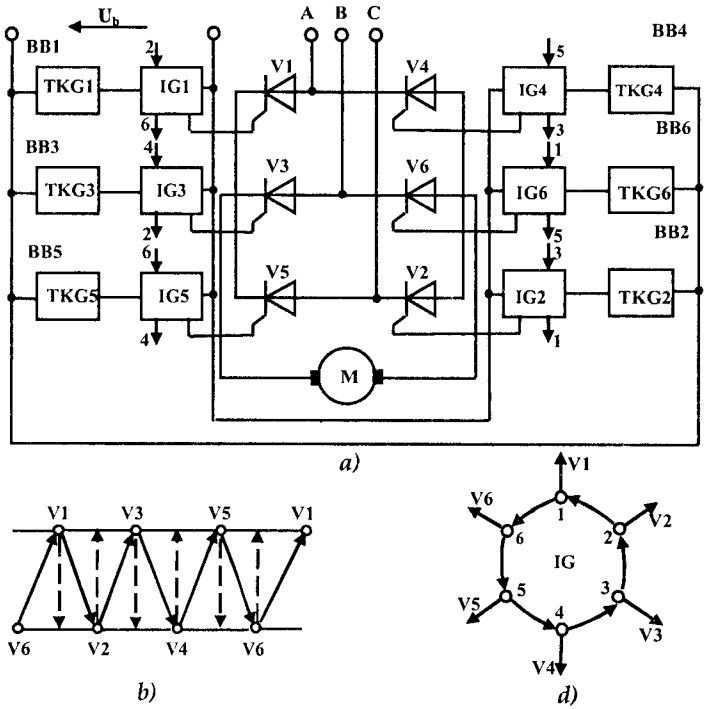
$$E_d = E_{d\max}\cos\alpha = E_{d\max}\sin\left(Q\frac{U_b}{U_{b.n}}\right), \qquad (2.11)$$

ko'rinishda bo'lib, agar U_{ik} ning shakli uchburchak ko'rinishda bo'lsa, TO'ning boshqaruv tavsifi

$$E_d = E_{d\max} \sin\left(\frac{\pi}{2}\frac{U_b}{U_{b.n}}\right), \qquad (2.12)$$

ko'rinishda bo'ladi (2.7- *d* rasm, 2- to'g'ri chiziq).

Misol tariqasida ishchi sxemasi uch fazali ko'prik sxema bo'lgan sanoat uchun ishlab chiqarilayotgan noreversiv (yoki bir yo'nalishli) tiristorli o'zgartkich funksionl sxemasining (2.8- *a* rasm) ishlash asosini ko'rib chiqamiz.



2.8- rasm. Noreversiv TO'ning prinsipial elektr sxemasi (a), tiristorlarga berilayotgan impulslar ketma-ketligi (b) va impuls generatorining ishlash diagrammalari (d).

Ko'prik sxemasining nol sxemadan farqi shundaki, har qanday ish vaqtida ham yuklagichga ketma-ket ulangan ikki tiristor ishlaydi. Ikkala tiristorning bir vaqtda ishlab turishi o'zgartkichning uzlukli tok rejimida o'chib

qolmasligini ta'minlaydi. Har bir 60° da bir tiristor yopiladi va keyingi tiristor ochiladi. Kengligi 60° bo'lgan impulsni hosil qilishning birmuncha texnik murakkabligi bo'lishi bilan bir qatorda tiristorda qo'shimcha quvvat sarfiga ham olib keladi va uning ortiqcha qizishga sabab bo'ladi. Shuning uchun ham keng impulslardan foydalaniladi. Har bir tiristor 60° da asosiy ochuvchi impuls qabul qilishidan tashqari (2.8- *b* rasm, to'liq o'q) qo'shimcha impuls ham qabul qiladi (2.8- *b* rasm, shtrixli o'q).

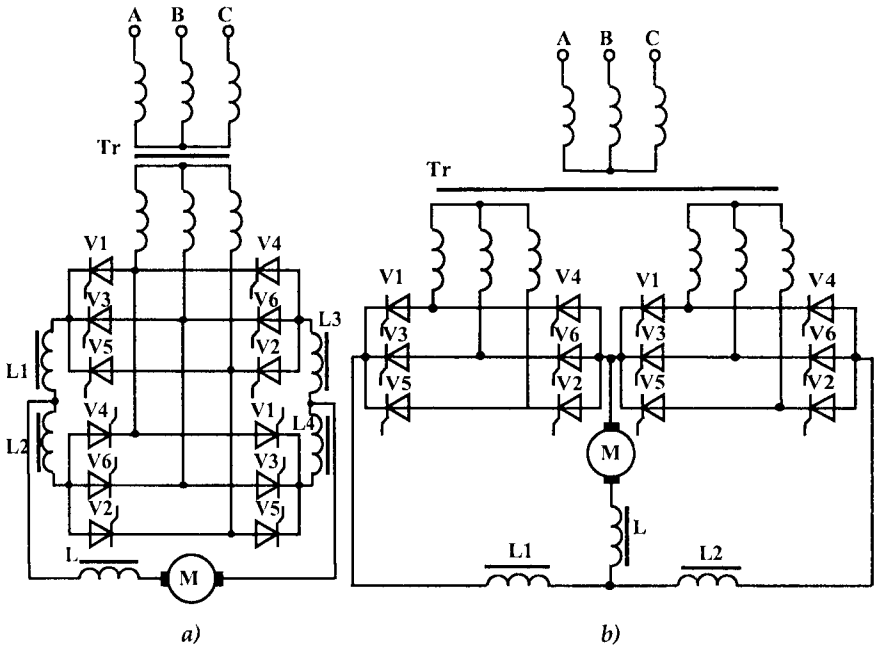
Masalan, V1 – nomerli tiristorga IG dan qo'shimcha impuls yuborilib turiladi. 2.8- *d* rasmda impuls generatorlari aylana bo'ylab joylashtirilgan doirachalar shaklida, ular ishlab chaqarilayotgan asosiy impulslar radial o'qlar tarzida, qo'shimcha impulslar yoyli o'qlar ko'rinishda tasvirlangan. Tiristorli o'zgartkich ishchi sxemalardagi tiristorlarga boshqaruv impulslari tiristorlarning navbatma-navbat ulanish diagrammasi (2.8- *b* rasm) asosida IG – impuls generatorlaridan yuboriladi. IG larga qo'shimcha impulslarning kirish va chiqish yo'nalishlarini bildiruvchi vertikal o'qlardagi tartib sonlar shu generatorlarning qaysi impuls generatori bilan bog'langanligini bildiradi. IFBT ning tarkibida bir xil olti boshqarish bloklari BB1 – BB6 da hosil bo'lgan tayanch kuchlanishlari U_{tk} bilan boshqarish bloklari uchun umumiy bo'lgan U_b ayirmasi IG1 – IG6 impuls generatorlariga uzatilib, ularda boshqarish impulslari hosil qilinadi. Tiristorlarning boshqarish burchaklari α ni rostlash boshqarish kuchlanishi $U_b$ni o'zgartirish bilan amalga oshiriladi.

2.5. REVERSIV TIRISTORLI O'ZGARMAS TOK O'ZGARTKICHLARINI BOSHQARISH

Tiristorlar o'tkazuvchanligining faqat bir tomonliligi reversiv tiristorli o'zgartkichlarni bir tiristorlar komplektida bajarish imkonini bermaydi. Shuning uchun reversiv tiristorli o'zgartkich – RTO'larda bir-biri bilan elektrik bog'langan tiristorlarning ikki komplekt ishchi sxemalari va har biri uchun alohida boshqarish tizimlari bo'lishi shart. RTO'ning har bir komplekt ishchi sxemalari yuklagich tokini faqat bir tomonga o'tkazishga xizmat qiladi. RTO'ning ishchi sxemalari qarshi – parallel (2.9- *a* rasm) va chorraha (2.9- *b* rasm) ko'rinishda ulangan sxemalar bo'lishi mumkin.

RTO'larning ishchi sxemalari ichida qarshi – parallel sxemaning chorrahali sxemaga nisbatan amaliyotda keng qo'llanilishi quyidagi afzalliklari bilan izohlanadi:

– moslashtiruvchi transformatorning quvvati past bo'lishligi (to'g'rilangan tok zanjirida quvvatning 1,262 ga nisbatan 1,05 bo'lishi);



2.9- rasm. Reversiv tiristorli o'zgarmas tok o'zgartkichining qarshi — parallel (a) va chorraha (b) kuch sxemalari.

— uch chulg'amli transformatorga nisbatan konstruktiv sodda ikki chulg'amli transformatorning qo'llanilishi yoki bo'lmasa umuman transformatorsiz bevosita elektr ta'minoti manbayiga ulanishi mumkinligi;

— qo'llaniladigan barcha transformator va reaktorlarning salmoq hamda o'lcham ko'rsatkichlari kichik bo'lishi.

RTO'larning ishchi sxemalari komplektlarini boshqarishda ***birgalikda*** yoki ***alohida boshqarish*** usullari qo'llaniladi.

Birgalikda boshqarish usuli bilan RTO'ni boshqarilganida tiristorlarning bir komplekti to'g'rilagich rejimida ishlasa, ikkinchi komplekti invertor rejimida ishlash uchun tayyorlab qo'yilgan bo'ladi va quyidagi shart bajarilishi zarur:

$$E_{d1} + E_{d2} - 2\Delta U_{TO'} = 0\,, \qquad (2.13)$$

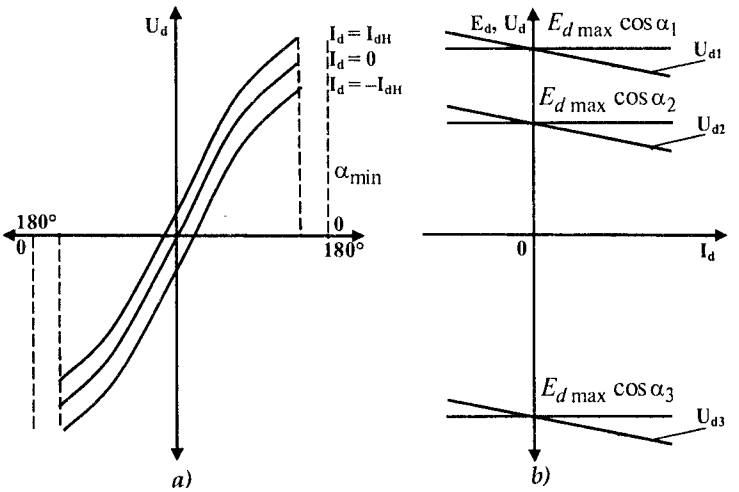
bunda: E_{d1}, E_{d2} — tiristor komplektlarining to'g'rilangan EYuKlarining doimiy tashkil etuvchilari.

$\Delta U_{TO'} = 0$ deb qabul qilinsa (2.13) tenglama boshqarish burchaklari orqali ifodalanadi.

$$\alpha_1 + \alpha_2 = 180°, \qquad (2.14)$$

bunda: $\alpha_1 = \alpha_{TO'G'} < 90°$ – to'g'rilagich rejimida ishlayotgan tiristor komplektining boshqarish burchagi; $\alpha_2 = \alpha_{INV} > 90°$ – invertor rejimida ishlayotgan tiristor komplektining boshqarish burchagi.

RTO'ni ***kelishilgan birgalikda*** usul bilan boshqarilganda birozgina boshlang'ich – uzluksiz xarakterdagi muvozanatlovchi tokning bo'lishi, o'zgartkichning boshqaruv va tashqi tavsiflariga ta'siri ijobiy bo'lib, (2.13) tenglamadagi tenglikka ideal rioya qilinganda uzlukli tok rejimi mavjud bo'lmaydi. 2.10- *a* rasmda RTO'ning rostlash tavsifi berilgan bo'lib, 2.10- *b* rasmda esa tashqi tavsifi keltirilgan. RTO'ning tashqi tavsifidan ko'rinib turibdiki, uzlukli tok rejimining bo'lmasligi o'zgartkichning to'g'rilagich rejimidan invertor rejimiga o'tishi hech qanday sakrashsiz, silliq kechadi, kuchlanish pasayishi faqatgina $I_d R_e$ gagina bog'liqdir.



2.10- rasm. Kelishilgan birgalikda boshqariladigan RTO'ning boshqaruv (a) va tashqi (b) tavsiflari.

Birgalikda boshqarish usulining afzalligi avvalambor soddaligidir, bir rejimdan ikkinchisiga o'tishga har doim tayyorligi, statik tavsiflarning bir

ishoraligidadir. Kamchiliklari esa to'g'rilagich rejimida tiristorlardan to'liq foydalanish mumkin emasligi, ya'ni

$$\beta_{min} \geq \gamma + \delta \qquad (2.15)$$

bo'lishi α_{min} ni ham chegaralab qo'yadi; muvozanatlovchi konturlarda muvozanatlovchi reaktorlarning bo'lish shartligi.

O'tish jarayonlarining ma'lum bir pog'onalarida oniy qiymatlari teng bo'lmasligi tufayli (2.13) dagi shart bajarilmay qolishi natijasida muvozanat konturida dinamik muvozanatlovchi tok I_{din} ning yuzaga kelishi mumkin. I_{din} ning ta'sirini kamaytirish maqsadida tiristorli elektr yuritmalarning chiqish qismida nodavriy zvenolar tarzida filtrlar ishlatiladi.

Kelishilmagan birgalikda boshqariladigan usul bilan RTO' boshqarilganda invertor komplektning EYuKi E_{dI} ning qiymati to'g'rilagich komplektning EYuKi $E_{dTTO'}$ ning qiymatidan katta qilib olinadi, ya'ni

$$\alpha_1 + \alpha_2 > \pi \qquad (2.16)$$

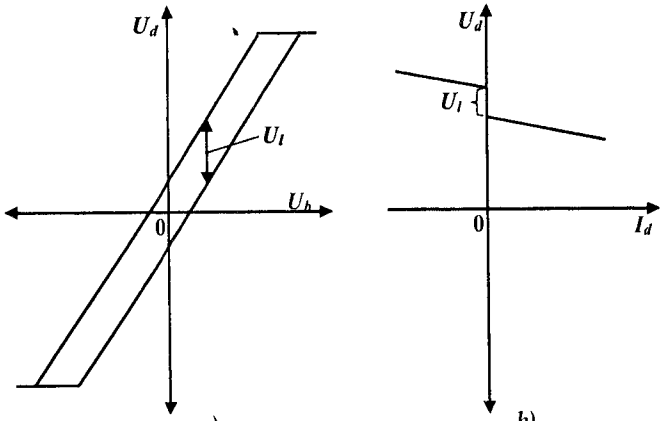
yoki $\alpha_{TO'G'} > \beta_I$ shart bajariladi.

To'g'rilagich rejimida ishlayotgan tiristor komplektining boshqarish burchagi $\alpha_{TO'G'}$ ning o'zgarishi davomida invertor rejimida ishlayotgan tiristor komplektining boshqarish burchagi β_I ning qiymatini shartga asosan eng kichik qiymatiga tenglab o'zgarmas qilib ushlab turilganida muvozanat tokining qiymati kelishilgan boshqaruvdagiga nisbatan kam bo'lgani uchun ishlatiladigan muvozanatlovchi reaktorlarning induktivligi sezilarli darajada kichik bo'lishi ham mumkin. Agar kommutatsiya sharti bo'yicha $\beta_I \to 0$ mumkin bo'lsa, chegaralovchi reaktorlardan butunlay voz kechish ham mumkin. $\alpha_1 + \alpha_2 = 300°$ shart uchun ham muvozanatlovchi tokning qiymati nolga teng.

Muvozanatlovchi toklarni chegaralash va minimumga keltirish uchun tiristorli elektr yuritmalarda rostlagichlardan foydalaniladi. 2.11- rasmda to'g'rilangan kuchlanishning haqiqiy qiymati U_d bo'yicha manfiy teskari bog'lanishli yopiq avtomatik rostlash tizimining boshqaruv $U_d = f(U_b)$ va tashqi $U_d = f(I_d)$ tavsiflari keltirilgan. O'zgartgichning to'g'rilagich rejimidan invertor rejimiga o'tishda luft hosil bo'ladi va uning absolut qiymati

$$|U_l| = |\Delta U_d| = \frac{2U_{max}}{1+k} \qquad (2.17)$$

bo'lib, bunda: k – tizim ochiq qismning umumiy kuchaytirgich koeffitsiyenti.



2.11- rasm. Kelishilgan birgalikda boshqariladigan RTO'ning boshqaruv (a) va tashqi (b) tavsiflari.

Lyuftning hosil bo'lishi invertor rejimi kuchlanishining o'zgarishi oralig'ining ba'zi bir qiymatlarida invertorning kuchlanishi to'g'rilagich rejimi kuchlanishidan absolut jihatdan katta bo'lishidadir.

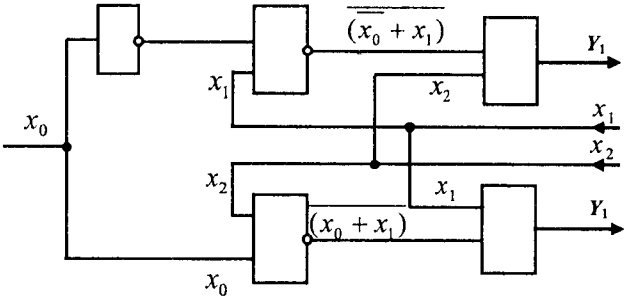
Agar RTO'ning dinamik rejimlari ko'rsatkichlariga qattiq talablar qo'yilmagan hamda tashqi va boshqaruv tavsiflarida luft bo'lishi elektr yuritmaga qo'yiladigan talablar darajasida bo'lsa, u holda boshqaruv usuli kelishilmagan birgalikdagi boshqarish usuli qo'llanilishi mumkin. Bunday usulda boshqarishning afzalligi shundan iboratki, qo'llaniladigan reaktorlarning induktivligi nisbatan kichik bo'lgan hamda og'irlik va tashqi o'lchov ko'rsatkichlari uncha katta bo'lmagan reaktorlarda ham muvozanatlovchi tok qiymatini kamaytirishga imkon bo'ladi.

RTO' ishchi sxemalari alohida boshqarilganda bir tiristor komplektiga boshqarish uchun signal berilganda, ikkinchi komplekt tiristorlar yopiq rejimda bo'lishi kerak, bu esa muvozanatlovchi toklarning bo'lmasligi va hosil bo'lishiga imkoni yo'qoladi hamda reaktorlarga hojat qoldirmaydi. Tiristor komplektlarini alohida boshqarish jarayoni quyidagi mantiqiy tenglamalar tizimi asosida olib boriladi:

$$\left.\begin{aligned} Y_1 &= (\overline{\bar{x}_0 + x_1}) + x_2 \\ Y_2 &= (\overline{x_0 + x_2}) + x_1 \end{aligned}\right\} \qquad (2.18)$$

bunda: Y_1, Y_2 — mos IFBTlarni ishdan to'xtatish uchun beriladigan signallar; x_1, x_2 — to'g'rilagich komplektlaridagi tok o'lchov o'zgartkichlarining signallari; x_0 — tiristor komplektining qaysi biri ishlashi kerakligini bil-

diruvchi signal (statik rejimda $x_0 = 0$ bo'lishi $x_1 = 1$, $x_2 = 0$, $x_0 = 1$ esa $x_1 = 0$, $x_2 = 1$).



2.12- rasm. MQQning tarkibiy tuzilish sxemasi.

Mantiqiy o'zgaruvchan kattaliklar ustidagi chiziqcha ularning inversiya, ya'ni teskari qiymatlarini beradi. Mantiqiy tenglamalar tizimi (2.18) asosida mantiqiy qayta ulash qurilmasi (MQQ) yaratilib, RTO'larni alohida boshqarishning o'zagini tashkil etadi. MQQning tizim sxemasi 2.12- rasmda tasvirlangan.

Misol tariqasida MQQ yordamida uch fazali ko'prik sxemali RTO' tiristor komplektlarini alohida boshqarishni ko'rib chiqamiz (2.13- rasm). RTO' quyidagi asosiy qism va bloklardan iborat: IFBT1 va IFBT2 – har bir tiristor komplektlariga mos keluvchi impuls-faza boshqaruv tizimlari; TK1 va TK2 – RTO'ning tiristor komplektlari; TO'O'1 va TO'O'2 – tiristor komplektlaridagi toklarni o'lchash va uzatish vazifalarini bajaruvchi tok o'lchov o'zgartkichlari; MQQ – mantiqiy qayta ulash qurilmasi; BO'O' – boshqaruv o'lchov o'zgartkichi; K – kuchaytirgich.

Boshqarish signali x_0 BO'O' da hosil qilinib, MQQ ga uzatiladi: $x_0 = 1$ bo'lishi $\Delta U_b > 0$ bilan xarakterlanib, tiristorli komplekt TK1 ni ishga tushirishga tayyorlaydi; $x_0 = 0$ bo'lishi $\Delta U_b < 0$ bilan xarakterlanib, tiristorlar komplekti TK2 ni ishga tushirishga tayyorlaydi. TK1 va TK2 komplekt zanjirlarida tok, ya'ni x_1 va x_2 signallar TO'O'1 va TO'O'2 lardan MQQga uzatiladi. Agar MQQ ga $x_0 = 1$ signal berilsa, TO'O'lardan mos ravishda olinayotgan $x_1 = 1$va $x_2 = 0$ signallar MQQga yuboriladi, IFBT1 ga yuborilayotgan signal

$$Y_1 = \overline{(\overline{x_0 + x_1})} + x_2 = \overline{(\overline{1 + 1})} + 0 = 0$$

bo'ladi, bu esa TK1 komplektni ishga tushirishga buyuriladi. IFBT2 ga MQQ dan yuborilayotgan signal

1561624

$$Y_2 = \overline{(\overline{x_0 + x_1}) + x_1} = (0 + 0) + 1 = 1 + 1 = 1$$

bo'lib, TK2 ning o'chirishga signal beradi.

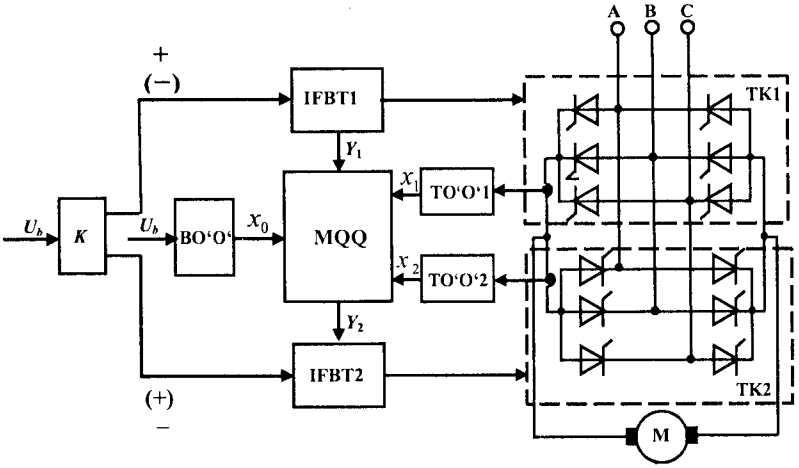
Agar $x_0 = 1$ bo'lib, $x_1 = 0$ va $x_2 = 1$ signallar MQQga yuborilsa, u holda IFBT1 ga yuborilayotgan boshqarish signali

$$Y_1 = \overline{(\overline{x_0 + x_1}) + x_2} = \overline{(\overline{1 + 0}) + 1} = \overline{(\overline{0 + 0}) + 1} = 1$$

bo'lib, TK1 komplektni o'chirishga signal bo'ladi, IFBT2ga yuborilayotgan boshqarish signali

$$Y_2 = \overline{(\overline{x_0 + x_1}) + x_1} = \overline{(\overline{1 + 1}) + 0} = 0 + 0 = 0$$

bo'lib, TK2 komplektni ishga tushirishga buyuradi.



2.13- rasm. Alohida boshqariladigan RTO'li elektr yuritmaning funksional sxemasi.

Shunday qilib, RTO'larni alohida boshqarish usulining asosiy bo'g'ini bo'lgan MQQ quyidagi vazifalarni bajaradi:

1) vazifalovchi kuchlanish bilan teskari bog'lanish kuchlanishi ayirmasi ΔU_b ning ishorasiga qarab tiristor komplektlarining qaysi birini ishlatish kerakligini aniqlaydi;

2) ishlayotgan tiristor komplektida tokning mavjudligi asosida ishlamayotgan tiristor komplektida tok bo'lmasligini hisobga olib, uni ishga tushirish uchun boshqarish signallarini yubormaslik;

3) ishlayotgan tiristor komplektidan tok o'tayotganida uning boshqaruv zanjirlarida impuls uzilishiga yo'l qo'ymaslik;

4) bir tiristor komplektining o'chishida va ikkinchi komplektning ishga tushish oralig'ida vaqtinchalik pauza hosil qilish.

2.6. IMPULS KENGLIGI BOSHQARILADIGAN O'ZGARMAS TOK O'ZGARTKICHLARI

Kichik quvvatli (bir necha kilovatgacha bo'lgan) o'zgarmas tok elektr yuritmalarida uzluksiz xarakterdagi o'zgarmas tok kuchlanishi kengligi boshqariladigan impulslarga o'zgartirilib, elektr motorlarning boshqarishni keng qo'llash taraqqiy etmoqda. Bunday turdagi o'zgartkichlarning asosini impulsning amplituda va chastota qiymatlari o'zgarmas qoldirilib, faqat kengligini o'zgartiradigan modulator (IKM) tashkil etadi. Impuls kengligi boshqariladigan o'zgartkichlar (IKBO') TO'larga qaraganda tezlikni rostlash oralig'i kattaroq, ya'ni $D = (2000 \div 6000) : 1$ yuqori darajada bo'lishi bilan motorning tok bo'yicha yuklanishi katta bo'lishi va tarmoq kuchlanishining shakliga ta'siri kam bo'lishi bilan ijobiy farqlanadi.

IKBO'ning funksional sxemasi 2.14- *a* rasmda tasvirlangan bo'lib, yuklanishdagi kuchlanishning o'rtacha qiymati quyidagi ifoda yordamida aniqlanadi:

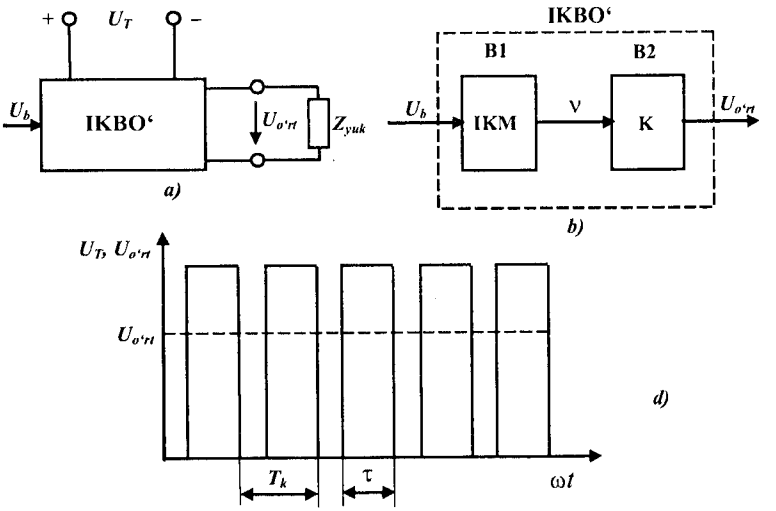
$$U_{O'RT} = \frac{\tau}{T_k} U_T = U_T \nu, \qquad (2.19)$$

bunda: U_T – manba kuchlanishi; $\gamma = \frac{\tau}{T_k}$ – impuls chuqurligi; T_k – kommutatsiya davri; τ – kommutatsiya davrining ishchi qismi.

(2.19) tenglamadan ko'rinib turibdiki, yuklanishdagi kuchlanishning $U_{O'RT}$ qiymati U_T = const bo'lganidagina impuls chuqurligiga bog'liq bo'ladi (2.14- *d* rasm).

IKBO'ning elektromexanik tizim elementi sifatidagi blok-tizim ko'rinishidagi modeli ikki blokdan, ya'ni B1 bloki – impuls kengligi modulatori (IKM)dan va B2 bloki – kommutator (K)dan iborat bo'ladi (2.14- *b* rasm).

IKMning vazifasi U_b boshqaruv kuchlanishining qiymatiga mos keluvchi kenglikdagi impulslarni hosil qilishdir. Boshqariladigan kenglikdagi impulslarni hosil qilishning ikki xil usuli mavjud bo'lib, ulardan biri faza oralig'i boshqariladigan ikki to'g'ri burchakli impulslarni qo'shish asosida

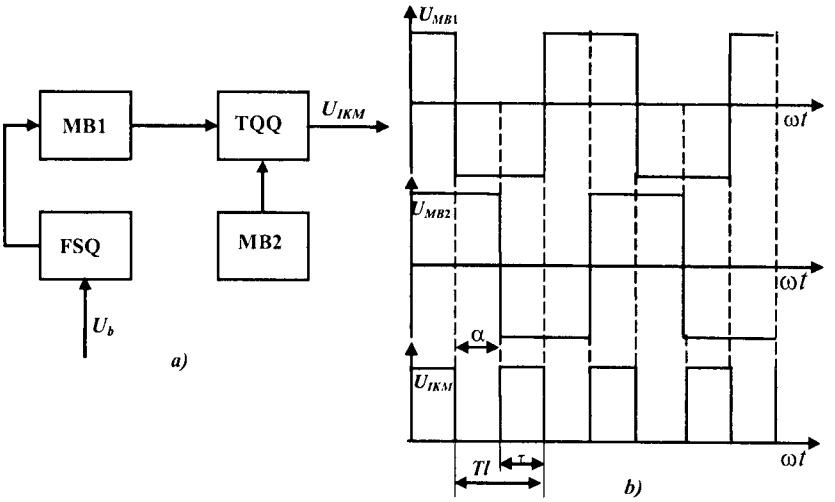


2.14- rasm. Impuls kengligi boshqariladigan o‘zgarmas tok o‘zgartkichining funksional sxemasi (a), blok-tizim modeli (b) va kuchlanishlar diagrammasi (d).

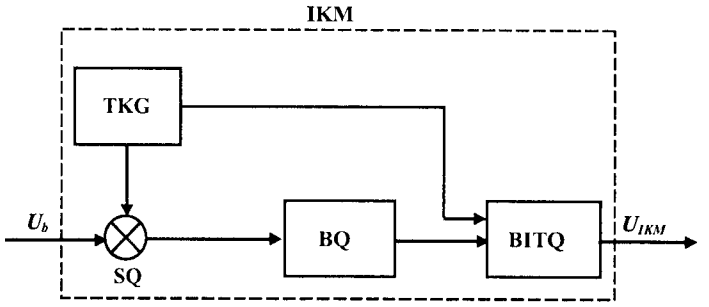
(2.15- *a* rasm); bunday qurilma to‘g‘ri burchakli kuchlanishlarni hosil qiluvchi MB1 va MB2 multvibratorlardan, faza siljitish qurilmasi FSQ dan hamda chiqish kuchlanishlarini qo‘shuvchi va to‘g‘rilovchi qurilma TQQ dan iborat bo‘ladi.

2.15- *b* rasmda kerakli impuls chuqurligiga ega bo‘lgan natijaviy impulslarni hosil qilinishi kuchlanishlar diagrammasi orqali tasvirlangan.

Ikkinchi usul ma’lum chastota va shaklga ega bo‘lgan tayanch kuchlanishi U_{TK} bilan boshqaruv kuchlanishi U_b ni qo‘shish natijasida impuls kengligi boshqariladigan signal hosil qilinadi. 2.16- rasmda shunday impuls kengligi modulatori IKM ning funksional sxemasi tasvirlangan bo‘lib, bunda TKG – tayanch kuchlanish generatori, SQ – solishtirish qurilmasi, BQ – bo‘sag‘a qurilmasi, BITQ – boshqariluvchan impulslarni tashkil qiluvchi qurilma. Tayanch kuchlanishi generatori TKG dan chiqqan U_{TK} SQda boshqaruv kuchlanishi U_b bilan taqqoslanilib, ularning ayirmasi BQga uzatiladi. U_{TK} ning shakli arrasimon bo‘lib, chastotasi $f_{TK} = 1/T_K$ ga teng bo‘ladi. Agar BQ dagi signal $U_{TK} - U_b > 0$ bo‘lsa, BQ dan chiqayotgan signal maksimal darajada («bir» signal) bo‘ladi va bu signallar BITQga yuboriladi hamda TKGning signali bilan taqqoslanilib, kommutatorni boshqarish uchun impulslar U_{IKM} ishlab chiqaradi.



2.15- rasm. Multvibratorli IKM ning funksional sxemasi (a) va kuchlanishlar diagrammasi (b).



2.16- rasm. Tayanch kuchlanish generatorli IKM ning funksional sxemasi.

Kommutatordagi tiristor yoki tranzistorlar kalit rejimida ishlab, ularning ishlash taktlari IKMdan chiqqan signallarning ko'rsatkichlariga bog'liqdir. Tayanch kuchlanishi shakli arrasimon bo'lganda, IKBO'ning o'rtacha kuchlanish tavsifi to'g'ri chiziqli funksiyani beradi:

$$U_{o'rt} = \gamma U_T = \frac{U_b}{U_{TK\,\max}} U_T = k_{o'z} U_b,$$

bunda: $k_{o'z}$ – IKBO'ning kuchaytirish koeffitsiyenti.

IKBO'ning kuch sxemasi kommutatsion ish rejimida ishlaydigan tiristorlar yoki kuch tranzistorlaridan tashkil topgan bo'ladi. Agar tiristorli elektr yuritmalarda tiristorlar tabiiy kommutatsion rejimda ishlasa, IKBO'li elektr yuritmalarda esa tiristorlar sun'iy kommutatsion ish rejimda ishlashi bilan farq qiladi. IKBO'larning quvvati 0,5 kW gacha (kuchlanishi 110 V), tokining esa cheklanish qiymati 2 ÷ 2,5 A bo'lgan qurilmalarda ishchi sxema kuch tranzistorlari asosida yaratiladi. Bu avvalambor, hozirgi kunda ishlab chiqarilayotgan kuch tranzistorlarining tok bo'yicha imkoni chegaralanganligi, boshqarish sxemalarining murakkabligi va ayniqsa, tranzistorlar ketma-ket ulangan bo'lsa, yanada murakkablashishi, bu yarimo'tkazgichlarni IKBO'ning ishchi sxemalarida keng qo'llanilishiga imkon bermaydi. Kuchlanish va tok qiymatlari bo'yicha tranzistorlarning imkoniyati past bo'lganiligi uchun ham katta qiymatli tok hamda kuchlanishga mo'ljallangan qurilmalarda katta quvvatga ega tiristorlarni qo'llash ishchi sxemalarini soddalashtirishga va ularni boshqarishni osonlashtirishga olib keladi. Tiristorlar ham ba'zi juziy kamchiliklardan xoli emas, chunonchi sun'iy kommutatsiyaning zaruriyligi rostlash tizimining murakkablashishiga olib keladi; tok qiymati yuklanish tokining qiymatiga teng bo'lganda o'z-o'zidan o'chib qolishi; tiristorni ochiq holda ushlab turish uchun kerak bo'lgan tok qiymatining kichikligi; yuklanishning xarakteri induktiv bo'lganda tiristorlarni ochiq holda ushlab turish uchun tokning kerak bo'lgan qiymati darajasigacha o'sishi uchun kechga qolish vaqtining mavjudligidir.

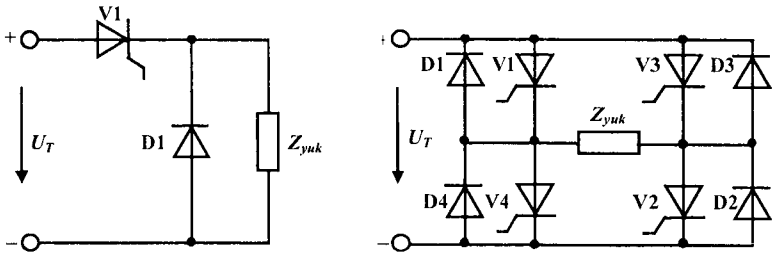
Noreversiz IKBO'ning ishchi sxemasi sodda bo'lib, tiristor kalit V1 dan va diod D1 dan iboratdir (2.17- a rasm). Yuklagich Z_{yuk} dagi kuchlanish quyidagi formula yordamida aniqlanadi:

$$U_{O'RT} = \frac{1}{T_k} U_T t_{ul} = \gamma U_T . \qquad (2.21)$$

D1 ning vazifasi kommutatorning $T - t_{ul}$ vaqt oralig'ida, ya'ni o'chiq holatida o'zinduksiya EYuK ta'sirida yuklanishda tokning uzilib qolishiga yo'l qo'ymaslikdan iborat. Reversiz IKBO'ning ishchi sxemasi ko'prik sxema asosida bo'lib, kalitlarning kommutatsiyasi turli qonuniyatlar asosida bajarilishi mumkin (2.17- *b* rasm). Tiristorlarni simmetrik boshqarish usuli bilan ochganimizda t_{ul} vaqtida tiristorlar jufti V1 va V3 ishlab, V2 va V4 tiristorlar o'chirilgan bo'ladi. Bunday kommutatsiya yuklanishda har xil ishorali impuls EYuK hosil qiladi:

$$U_{O'RT} = \frac{1}{T_k}(U_T t_{ul} - U_T t_0) = U_T(2\gamma - 1) \qquad (2.22)$$

va bu reversiv IKBO' ning o'rtacha kuchlanishini beradi.



2.17- rasm. IKBO'ning noreversiv (a) va reversiv (b) kuch sxemalari.

Bunday kommutatsiya usulida ishlayotgan IKBO'ning kuchlanishi $U_{O'RT} = 0$ bo'lganida yuklanishdan o'tayotgan tok uzilib qolmaydi va o'zgartkichning tashqi tavsifi chiziqli xarakterga ega bo'ladi. Tok pulsatsiya darajasining yuqori bo'lishi IKBO'larning asosiy kamchiliklaridir.

Tiristorlarni nosimmetrik boshqarganimizda IKBO'ning chiqishidagi kuchlanish bir qutbli impluslardan iborat bo'ladi. Har qaysi tiristorli juft kalitlar $t_{ul} + T_k$ vaqt oralig'ida va bitta tiristor kalitning boshqasiga nisbatan T_k davrga siljishi vaqtida ulanishi bilan xarakterlanadi. Tiristorlarning navbat bilan ishlash tartibi quyidagicha: V1, V3 – V1 – V1, V3 – V3 – V1, V3 va hokazo t_{ul} vaqt oralig'ida ikkala tiristor ulangan holda impuls EYuK hosil bo'lib, bir tiristor ulangan t_0 vaqt oralig'ida impuls EYuK hosil bo'lmay balki o'zinduksiya toki ulangan tiristor va diod orqali yopiq kontur hosil qiladi. EYuK qutblarini o'zgartirish uchun juft tiristorlar V2 va V4 ulanadi. Agar yuklanish vazifasini o'zgarmas tok motori bajarganda IKBO'ning muhim ko'rsatkichi bo'lgan tok pulsatsiyasini aniqlaymiz

$$\Delta I_n \approx \frac{U_T}{R_{ya}} \frac{\gamma(1-\gamma)}{kT_{ya}f_k}, \qquad (2.23)$$

bunda: R_{ya} – motor yakor zanjirining aktiv qarshiligi, Om.

T_{ya} – yakor zanjirining elektromagnit vaqt doimiyligi, *s*; k – sxema koeffitsiyenti: bir qutbli EYuK impulslar uchun $k = 1$, har xil qutbli EYuK impulslar uchun esa $k = 0{,}5$.

(2.23) tenglamadan ko'rinib turibdiki, nosimmetrik kommutatsiya rejimida ishlayotgan IKBO'ning tok pulsatsiyasining darajasi simmetrik kommutatsiya rejimiga nisbatan ikki marta kam bo'ladi va shu bilan birga IKBO'ning nosimmetrik qonuniyati bilan kommutatsiyalanuvchi sxemalarning afzalliklari yaqqol ko'rinadi.

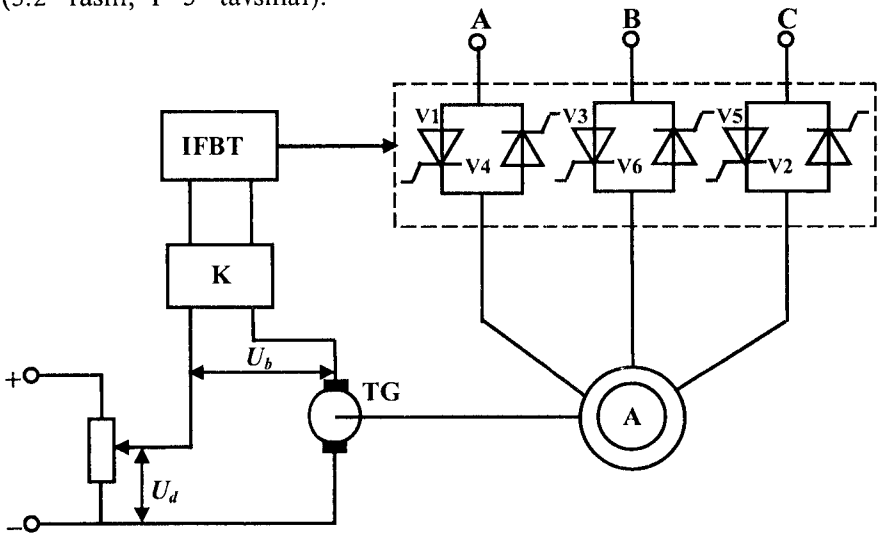
NAZORAT UCHUN SAVOLLAR

1. *Yarimo'tkazgichli boshqariluvchi o'zgarmas tok o'zgartkichlariga qanday o'zgartkichlar kiradi?*
2. *Yarimo'tkazgichli boshqariluvchi o'zgarmas tok o'zgartkichining blok sxemasi qanday bloklardan tashkil topgan?*
3. *Yarimo'tkazgichli boshqariluvchi o'zgarmas tok o'zgartkichlarining qanday kuch sxemalari amaliyotda keng qo'llaniladi?*
4. *Yarimo'tkazgichli boshqariluvchi o'zgarmas tok o'zgartkichlarining impuls-faza boshqaruv tizimi qanday qurilmalardan tashkil topgan?*
5. *Impuls-faza boshqaruv tizimida qanday ko'rinishdagi tayanch kuchlanishlari qo'llaniladi?*
6. *Nima uchun tayanch kuchlanishi arrasimon bo'lganda impuls-faza boshqaruv tizimining kuchaytirish koeffitsiyenti chiziqli xarakterga ega bo'ladi?*
7. *Yarimo'tkazgichli boshqariluvchi o'zgarmas tok o'zgartkichlarining boshqaruv tavsifi qanday quriladi?*
8. *Yarimo'tkazgichli boshqariluvchi o'zgarmas tok o'zgartkichlarining tashqi tavsifi qanday quriladi?*
9. *Reversiv yarimo'tkazgichli boshqariluvchi o'zgarmas tok o'zgartkichlarining qanday kuch sxemalari amaliyotda keng qo'llaniladi?*
10. *Reversiv yarimo'tkazgichli boshqariluvchi o'zgarmas tok o'zgartkichlarini boshqarishda qanday usullardan foydalaniladi?*
11. *Reversiv yarimo'tkazgichli boshqariluvchi o'zgarmas tok o'zgartkichlarini kelishilgan birgalikda boshqarishning qanday afzalliklari va kamchiliklari bor?*
12. *Reversiv yarimo'tkazgichli boshqariluvchi o'zgarmas tok o'zgartkichlarini kelishilmagan birgalikda boshqarishning qanday afzalliklari va kamchiliklari bor?*
13. *Reversiv yarimo'tkazgichli boshqariluvchi o'zgarmas tok o'zgartkichlarini alohida usulda boshqarilganda mantiqiy qayta ulash qurilmasi qanday vazifani bajaradi?*
14. *Reversiv yarimo'tkazgichli boshqariluvchi o'zgarmas tok o'zgartkichlarini alohida boshqarishning qanday afzalliklari va kamchiliklari bor?*
15. *Impuls kengligi boshqariladigan o'zgarmas tok o'zgartkichi qanday asosda ishlaydi va uning asosiy bloki qanday blok?*
16. *Reversiv impuls kengligi boshqariladigan o'zgarmas tok o'zgartkichining kuch sxemasi qanday ishlaydi?*

3-bob. BOSHQARILUVCHI O'ZGARUVCHAN TOK O'ZGARTKICHLARI

3.1. TIRISTORLI KUCHLANISH ROSTLAGICHI

O'zgaruvchan tok elektr yuritmalarida, xususan asinxron elektr yuritmalarida stator chulg'amidagi kuchlanish qiymatini o'zgartirish asosida tezlik va momentlarni rostlovchi tizimlarini qo'llash mumkin. Agar tezlikni rostlamoqchi bo'lsak, tezlik bo'yicha teskari manfiy bog'lanishli yopiq tizim hosil qilishi va asinxron motor statoridagi kuchlanishni tiristorli kuchlanish rostlagichi (TKR) yordamida o'zgartirishimiz kerak bo'ladi. 3.1- rasmda TKRli asinxron elektr yuritmaning funksional sxemasi tasvirlangan. Agar asinxron elektr yuritma stator chulg'amidagi kuchlanishni to'g'ridan-to'g'ri tezlikka bog'liq bo'lmagan holda TKR yordamida boshqarganimizda, asinxron elektr yuritma momentni rostlovchi elektr yuritma sifatida ishlaydi (3.2- rasm, 1–5- tavsiflar).

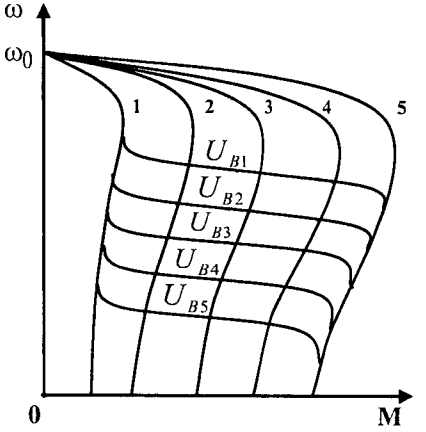


3.1- rasm. TKRli avtomatlashtirilgan asinxron elektr yuritmaning funksional sxemasi.

3.1- rasmda tasvirlangan avtomatlashtirilgan asinxron elektr yuritmaning TKR kuch sxemasidagi tiristorlarning ochilishini boshqarish impuls-

faza boshqaruv tizimi kirish qismiga berilayotgan boshqarish kuchlanishi $U_b = U_d - e_{TG}$ tenglama asosida aniqlanadi, bunda, U_d – tezlikni rostlash tizimiga beriladigan vazifalovchi kuchlanish; e_{TG} – taxogeneratorning EYuK.

3.2- rasmda vazifalovchi kuchlanish U_d ning bir necha qiymatlari uchun avtomatlashtirilgan asinxron elektr yuritma yopiq tizimining tezlik tavsiflari keltirilgan bo'lib va bu usulda tezlikni rostlashda tezlikning rostlash diapazoni 10 : 1 dan ortmaydi.

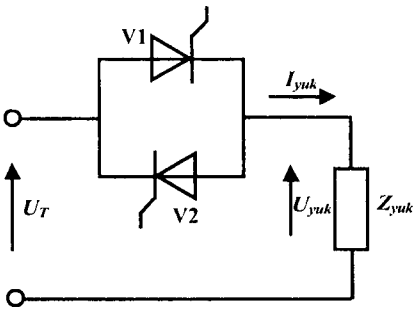


3.2- rasm. TKRli avtomatlashtirilgan asinxron elektr yuritmaning mexanik tavsiflari.

Hamma fazalarida yuklanishning qiymatini simmetrik taqsimlangan deb qaraganimizda uch fazali TKRni bir fazali ekvivalent sxema bilan almashtirish mumkin (3.3- rasm). Agar V1 vaV2 tiristorlarni ideal va yuklanishning xarakteri aktiv-induktiv deb qabul qilsak, u holda Z_{yuk} dan o'tayotgan tok

$$i_{to'gr} = \frac{U_m}{Z_{yuk}} \sin(\omega t - \varphi) \qquad (3.1)$$

bo'lib, bunda: U_m – tarmoq kuchlanishining amplituda qiymati, V; $Z_{yuk} = \sqrt{R_{yuk}^2 + (\omega L_{yuk})^2}$ – yuklanishning kompleks qarshiligi, Om; $\varphi = \text{arctg}\dfrac{\omega L_{yuk}}{R_{yuk}}$ – quvvat koeffitsiyenti.



3.3- rasm. TKRning bir fazali ekvivalent sxemasi.

Agar boshqarish burchagi α ning qiymati φ ga teng bo'lsa, u holda har yarim davrda tiristorlar navbati bilan ochilib turishi natijasida yuklanishdagi tok turg'un tok ($i_{turg'}$)ka teng bo'ladi (3.4- rasm, shtrixli chiziq). Agar $\alpha > \varphi$ bo'lsa, u holda yuklanishdan o'tayotgan tok $\alpha - \varphi$ vaqtga kechikadi, kuchlanish va tok tavsiflarida toksiz pauza yuzaga keladi. Har bir yarim davrda yuklanishdagi tokning qiymati turg'un va ozod toklarning yig'indisidan iborat bo'ladi:

$$i_{yuk} = i_{turg'} + i_{ozod}, \tag{3.2}$$

bunda

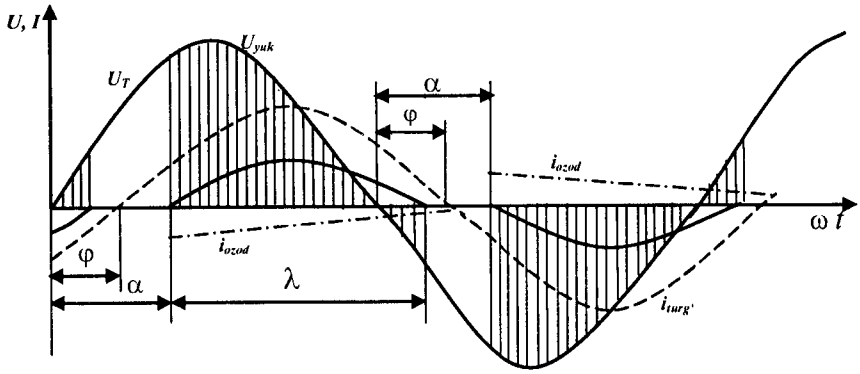
$$i_{ozod} = I_{ozod} e^{-(R_{yuk}/L_{yuk})} = I_{ozod} e^{-(\omega t - \alpha)/tg\varphi}. \tag{3.3}$$

Tiristorlarning o'tkazuvchanlik burchagi λ, α va φ larga bog'liq bo'lib, i_{yuk} ni topishdagi $\omega t = \alpha + \lambda$ ning o'rniga qo'yish bilan aniqlanadi:

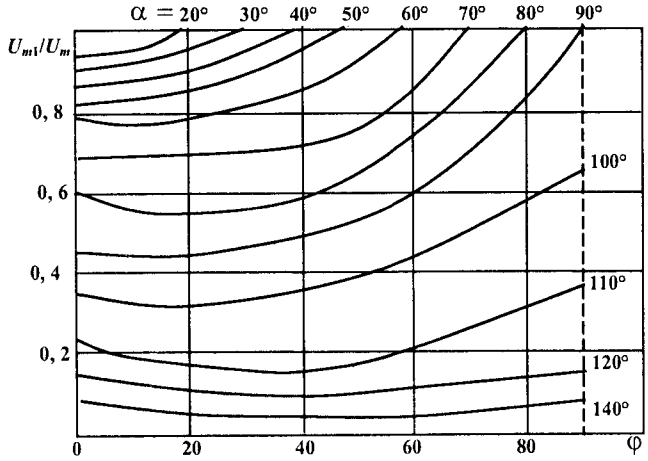
$$\sin(\alpha + \lambda - \varphi) - \sin(\alpha - \varphi) e^{-\lambda / tg\varphi} = 0. \tag{3.4}$$

O'tkazuvchanlikning chegaraviy qiymatlari $\alpha = \varphi$ bo'lganida π ga va $\alpha = \pi$ bo'lganida esa nolga teng bo'lishi shuni ko'rsatadiki, α ning φ dan to π gacha o'zgarishi, yuklanish kuchlanishi yarim davrining o'rtacha qiymati eng katta qiymati $\frac{2}{\pi} U_m$ (tiristordagi kuchlanish pasayishi hisobga olinmaganda) to 0 gacha o'zgarishi mumkin.

3.5- rasmda uch fazali nol simsiz TKRning tavsiflari keltirilgan bo'lib, bunda boshqarish burchagi α qayd etilgan yuklanishning fazasi φ esa o'zgaruvchan ko'rsatkich sifatida qaraladi.



3.4- rasm. TKR chiqishidagi kuchlanish va toklarning shakllanishi tavsiflari.



3.5- rasm. Uch fazali nol simli TKR ning kuchlanishni rostlash tavsiflari.

TKR ning impuls-faza boshqaruv tizimi TO‘ IFBTdan prinsipial farq qilmaydi, ishlash prinsipi vertikal prinsipga asoslangan. Blok sxemasi xuddi 2.6- *a* rasmda tasvirlangan tayanch kuchlanishi generatori TKGdan, faza siljitish qurilmasi FSQdan hamda impuls generatori IGdan tashkil topgan. 3.1- rasmda tasvirlangan TKRli avtomatlashtirilgan asinxron elektr yurit-madagi tiristorlarning tartib sonlari tiristorlar ishlashining ketma-ketligini anglatib, GIning uch fazali ko‘prik sxemali to‘g‘rilagich uchun mo‘ljallangan

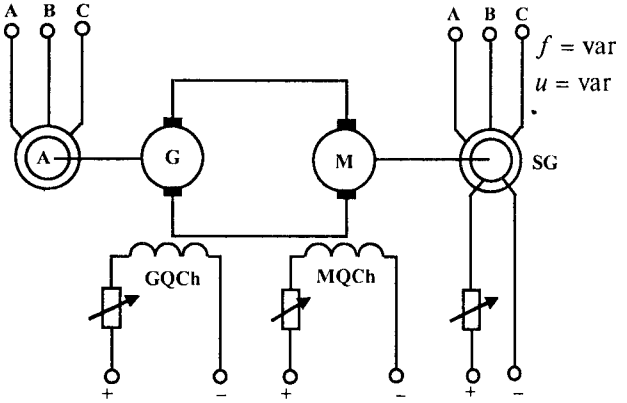
tiristorlarni boshqarish uchun ishlab chiqarilayotgan impulslarning tarqalish diagrammasi ham TKR ishchi tiristorlarini boshqarishga mos keladi.

Asinxron motor uchun φ o'zgaruvchan ko'rsatkich bo'lib, odatda, $\varphi_{min} \approx 20 - 30°$ dan $\varphi_{max} \approx 90°$ gacha o'zgarishi mumkin. $\alpha_{min} = \varphi$ bo'lgani uchun boshqaruv burchagi yuklanish toki fazasi siljishining funksiyasi bo'lib o'zgaradi, bu esa albatta IFBTni murakkablashtirishga olib keladi. Agar α_{min} ni o'zgarmas qiymat deb qaralsa va $\alpha_{min} = \varphi_{min}$ bo'lsa, u holda $\varphi > \varphi_{min}$ qiymatlarida impulslarning kengligi $\varphi - \alpha_{min}$ bo'ladi va TKR da bir yarim davrli ish rejimi vujudga keladi. Haqiqatan ham $\lambda > \pi$ bo'lib, V1 tiristordan tokning o'tish vaqti yarim davrdan ko'pdir (3.4- rasmga qarang). $\alpha + \pi$ ga teng vaqtda V2 tiristor ochilishi kerak, ammo V1 dan tok o'tishi to'xtamaydi va V2 ning ochilishiga yo'l qo'ymaydi. V1 dan tokning o'tish vaqti tugaganda V2 ga berilayotgan boshqaruv impuls o'chadi va V2 yopiladi. Shunday qilib, $\alpha_{min} < \varphi$ bo'lishi TKRning normal ishlashi uchun impulslarning kengligi $\varphi_{max} - \alpha_{min}$ bo'lishi shart ekanligini anglatadi va bu esa asinxron motorlar uchun $60 - 70°$ ni tashkil etadi. Nol simsiz uch fazali TKRlarning uzluksiz tok rejimi uchun $\alpha > \varphi$ bo'lgan holda bir paytda ikki tiristor ishlaydigan rejim uchun impulsning kengligi 60° dan keng bo'lishi talab etiladi.

3.2. YARIMO'TKAZGICHLI BILVOSITA CHASTOTA O'ZGARTKICHLAR

Ta'minlovchi kuchlanishning chastotasini o'zgartirib, asinxron motorning tezligini rostlash, tezlikni rostlash usullari ichida iqtisodiy jihatdan eng samarali usuldir. Tezlikni chastotani o'zgartirib rostlaganimizda butun tezlikni rostlash diapazoni oralig'ida asinxron motorning sirpanishi uncha katta bo'lmagan o'zgarmas qiymatda qolishi natijasida motorning isrof quvvati katta bo'lmaydi. Tezligi chastotani o'zgartirib boshqariladigan asinxron elektr yuritmalarning statik va dinamik xususiyatlari o'zgarmas tok elektr yuritmalari bilan deyarli monand bo'ladi. Rotor chulg'amlari qisqa tutashtirilgan asinxron motorlarning o'zgarmas tok motorlarga nisbatan 1,5–2 marta yengil bo'lishi va deyarli 3 marta arzonligini hisobga oladigan bo'lsak, unda chastota bo'yicha boshqariluvchi asinxron elektr yuritmalarning sanoatda kelajakda ishlatilishi imkoniyatlari hali juda keng ekanligi yaqqol ko'rinadi.

Birinchi chastota o'zgartkichlar elektromexanik qurilmalar asosida yuzaga keldi (3.6- rasm).



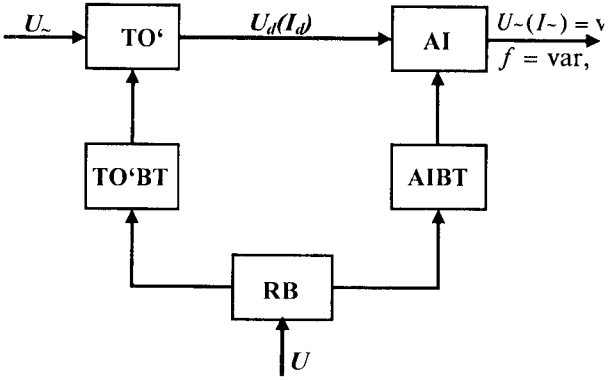
3.6- rasm. Elektromexanik chastota o'zgartkichning blok sxemasi.

Bunday elektromexanik chastota o'zgartkichda sinxron generator SG dan olinayotgan kuchlanishning qiymati va chastotasi bir-biriga bog'liq bo'lmagan holda boshqariladi. SG ning qo'zg'atish chulg'amidagi o'zgaruvchan qarshilik yordamida kuchlanish qiymati boshqariladi, chastota esa o'zgarmas tok generatori G ning qo'zg'atish chulg'ami GQChdagi o'zgaruvchan qarshilik yordamida boshqariladi. Garchi bu o'zgartkichda chastota o'zgarish diapazoni yuqori bo'lsa ham biroq uning texnik-iqtisodiy ko'rsatkichlari yuqori emas: o'zgartkichning o'rnatilgan quvvati judda katta (to'rtta yordamchi mashinalar to'liq quvvat bilan ishlaydi); foydali ish koeffitsiyenti va elektr yuritmaning tezkorligi past. Chastotani o'zgartirib tezligi rostlanadigan asinxron elektr yuritmalarning taraqqiyoti davri davomida elektromexanik chastota o'zgartkichlarning har xil turlari yuzaga kelgan bo'lsa ham elektromexanik tizimlarga xos bo'lgan yuqoridagi kamchiliklar u bu darajada saqlanib qoladi.

Keyingi paytda takomillashgan yarimo'tkazgichlarning ishlab chiqarila boshlanishi va ular asosida o'zgartkichlar texnikasining rivojlanishi natijasida ishonchlilik darajasi yuqori bo'lgan chastota o'zgartkichlar tiristor va kuch tranzistorlari asosida yaratilmoqda. Tiristorli va tranzistorli chastota o'zgartkichlar (TChO') ikki guruhga ***bilvosita*** va ***bevosita chastota o'zgartkichlarga*** bo'linadi.

Bilvosita TChO'larda tarmoqdan kelayotgan o'zgaruvchan tok kuchlanishi tiristorli o'zgartkich (TO')da to'g'rilanib, avtonom invertor (AI)ga uzatiladi va u yerda o'zgarmas tok kuchlanish chastotasi rostlanadigan

o'zgaruvchan tok kuchlanishiga o'zgartiriladi. 3.7- rasmda shunday TChO' ning blok sxemasi keltirilgan bo'lib, bunda TO' boshqariluvchi tiristorli o'zgartkich, TO'BT uning boshqarish tizimi, ya'ni IFBT, rostlash bloki RBning vazifasi chastota rostlashning qaysi qonuniyatga amal qilinayotganiga qarab TChO'ning statik va dinamik rejimlarida kuchlanish hamda chastota o'zgarishini o'zaro moslashtirishdan iborat.



3.7- rasm. Tiristorli bilvosita chastota o'zgartkichning blok sxemasi.

Bilvosita TChO'larda o'zgarmas tokli zvenoning bo'lishi, avtonom invertorning chiqishidagi chastotaning ham yuqoriga va ham pastga qarab keng diapazonda rostlashga imkon beradi, bu bilvosita TChO'ning asosiy afzalligi bo'lib, bu turdagi TChO'larning ishlab chiqarishda keng qo'llanilishiga olib keladi.

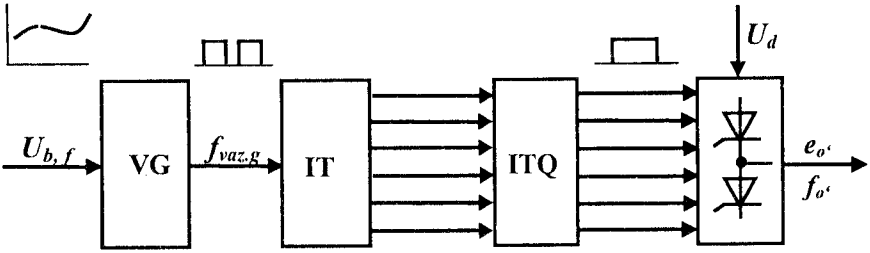
TO'ning tok manbayi (TM) yoki kuchlanish manbayi (KM) rejimida ishlashiga qarab TChO'ning avtanom invertorlari ham tok avtonom invertori (TAI) yoki kuchlanish avtonom invertori (KAI) rejimlarida ishlashi mumkin. TChO' invertorining KAI rejimida TO'ning ichki qarshiligining kichik qiymatli bo'lishi, invertorga kelayotgan kuchlanishning yuklanish tokiga bog'liq bo'lmaslikka olib keladi. Agar TO' ning ichki qarshiligi kichik bo'lmasa va uning ta'siri sezilarli bo'lsa, u holda U_d= const sharti TO'ning kuchlanish bo'yicha kuchli manfiy teskari bog'lanishi orqali amalga oshiriladi. U_d qutblari o'zgarmas bo'lgani uchun yuklanish zanjiridagi o'zgaruvchan tok tarmoqqa energiyaning uzatilishi faqat I_d ning yo'nalishi o'zgatirilgandagina mavjud bo'la oladi, bu esa yana qo'shimcha tiristorlar komplekti bo'lishini taqozo qiladi va bu KAIli TChO'larning asosiy kamchiliklaridandir.

TChO'ning TAIli variantida I_d ning doimiyligi yuklanish kuchlanishiga, ya'ni asinxron motorning tezligiga bog'liq bo'lmasligi kerak. I_d= const

shartining bajarilishida TO'ning ish rejimi tok manbayi rejimi bo'lib, bu rejim o'zgarmas tok zanjiriga katta induktivlikka ega reaktorni ulashni va teskari bog'lanish konturi bo'lishini taqozo qiladi. Energiyani tarmoqqa uzatish jarayonida I_d yo'nalishning o'zgarmasligi hisobga olinsa, TO' kuchlanishning qutblari o'zgarishi lozim. Bu shart reversiv bo'lmagan TO'ning sxemasida tiristorli o'zgartkichning tarmoqqa ergashuvchi invertor rejimiga o'tkazish asosida amalga oshiriladi. TAIli TChO'ning asosiy afzalligi bir tiristor komplektida energiyaning tarmoqqa uzatish imkoniyati borligidadir.

Asinxron motorning turg'un ish rejimlaridagi tezligini berilgan ko'rsatkichlar kattaliklarida ushlab turish uchun albatta tezlik yoki kuchlanish bo'yicha teskari bog'lanishlarning bo'lishi shartligi TAIli TChO'larning asosiy kamchiliklaridan biri hisoblanadi.

Avtonom invertorlarning ish rejimlari qanday bo'lishidan qat'iy nazar ularning boshqarish tizimlari 3.8- rasmda tasvirlanganidek funksional sxemadan iborat bo'ladi.



3.8- rasm. Avtonom invertor boshqaruv tizimining blok sxemasi.

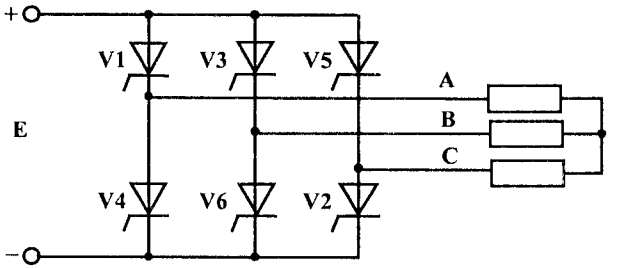
AIBTning tarkibidagi vazifalovchi generator (VG) uzluksiz boshqaruv kuchlanishi $U_{b,f}$ ni chastotasi $f_{vaz.f}$ bo'lgan to'g'ri burchakli signalga o'zgartiradi, impuls taqsimlagich (IT)esa ushbu signalni faza va chastotasi bo'yicha uch fazali impulslar tizimiga moslashtirib, invertor tiristorlarining olti boshqarish kanallari bo'yicha taqsimlaydi. Impuls tashkil qiluvchi qurilma (ITQ)ning vazifasi ITdan chiqayotgan impulslarni tiristorlarning ochilishiga quvvati, shakli va impuls uzunliklarini mos holga keltirishdir.

Hozirgi paytda AIBTlarni yaratishda mikroelektronika va mikroprotsessor tizimlari asosida keng qo'llanilayotganligi sababli ularning og'irlik va o'lchamlari ixchamlashib bormoqda, yig'ish va sozlash texnologiyasi ham soddalashib, ishonchlilik darajasi esa ortib bormoqda.

3.3. AVTONOM INVERTORLAR

Asinxron motorlarning tezligini stator chulg'amiga berilayotgan kuchlanish (yoki tok) chastotasini o'zgartirib tezligi rostlanadigan avtomatlashtirilgan elektr yuritmalardagi TChO' avtonom invertorlarining ko'prik kuch sxemali turlari keng qo'llaniladi.

3.9- rasmda kuch sxemasi shartli ko'prik sxema bo'lgan avtonom invertorning kuch sxemasi keltirilgan bo'lib, undagi V1–V6 yarimo'tkazgichlarni ochish va yopish jarayonlarini boshqarish boshqaruv signallari orqali amalga oshiriladi, ya'ni yarimo'tkazgichlar to'liq boshqariluvchan deb qaraladi. Kalit rejimida ishlaydigan tranzistorlar va sun'iy kommutatsiya zanjirli tiristorlar ***to'liq boshqariluvchan yarimo'tkazgichlar*** deyiladi.

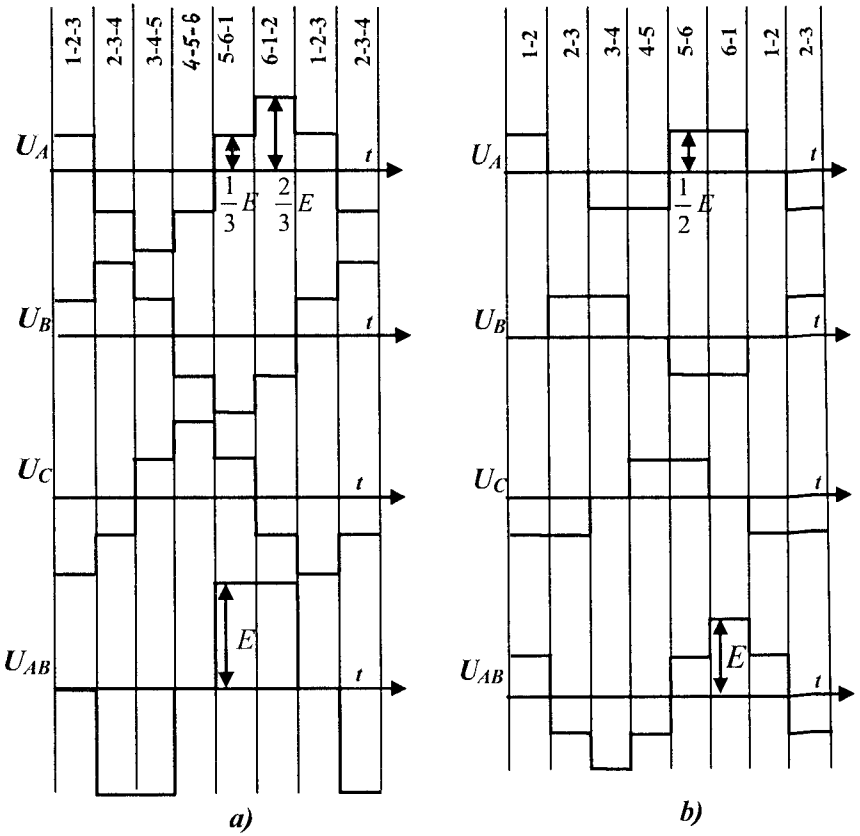


3.9- rasm. Ko'prik kuch sxemali avtonom invertorning sxemasi.

Invertorga aktiv yuklanish ulangan holni ko'rib chiqamiz. 3.9- rasmdagi tiristorlarning tartib soni kuchlanishlar diagrammasidagi tiristorlarning navbatma-navbat ochilishiga mos keladi (3.10- rasm).

Sxemadagi tiristorlarning qayta ulanishi chiqish kuchlanishi chastotasi davrining har 1/6 qismida sodir bo'ladi. Bunday ishchi sxemaning ikki ish rejimi bo'lishi mumkin: tiristor chiqish kuchlanishi chastotasining 1/2 davri oralig'ida ulangan bo'lishi, ya'ni tiristorlarning o'tkazuvchanlik burchagi $\lambda = 180°$; tiristor chiqishi kuchlanishi chastotasining 1/3 davri oralig'ida ulangan bo'lishi, ya'ni $\lambda = 120°$. Birinchi holda bir vaqtning o'zida birdaniga uchta tiristor tok o'tkazsa, ikkinchi holda esa ikkita tiristor bir vaqtning o'zida tok o'tkazadi.

3.10- *a, b* rasmlardagi kuchlanishlar diagrammasi invertorning chiqish qismiga aktiv yuklanish ulangan hol uchun to'g'ri bo'lib, agar yuklanishning xarakteri aktiv-induktiv bo'lsa, u holda elektromagnit jarayonlarning kechishi ancha murakkab bo'ladi va ularning tahlilini asoslashda barcha turdagi avtonom invertorlarni kuchlanish avtonom invertorlari (KAI) va tok avtonom invertorlari (TAI) guruhlarga bo'lib qarash maqsadga muvofiq bo'ladi.



3.10- rasm. Tiristorlarning o'tkazuvchanlik burchaklari $\lambda = 180°$ *(a) va* $\lambda = 120°$ *(b) bo'lgandagi avtonom invertorning kuchlanishlar diagrammasi.*

Kuchlanish avtonom invertorlarning asosiy shartlaridan biri ishchi sxemasidagi tiristorlar to'liq boshqariluvchan bo'lishi kerak. Ko'pgina hollarda KAIning chiqishidagi kuchlanishni yuklanishga mos ravishda rostlash talab etiladi. KAIning chiqishidagi kuchlanishni kuch sxemasidagi tiristorlarni ma'lum ketma-ketlikda ulash va ochish natijasida rostlash mumkin. KAI chiqish kuchlanishini ma'lum uch usulda roslash mumkin: 1) ta'minot manbayi zanjirida rostlash; 2) chiqish zanjirida rostlash; 3) invertorning ichki vositalari yordamida rostlash.

Birinchi usul – KAI chiqishidagi kuchlanish uning kirish zanjiriga ulangan boshqariluvchi o'zgarmas tok o'zgartkichi, ya'ni boshqariluvchi to'g'rilagich yordamida amalga oshiriladi.

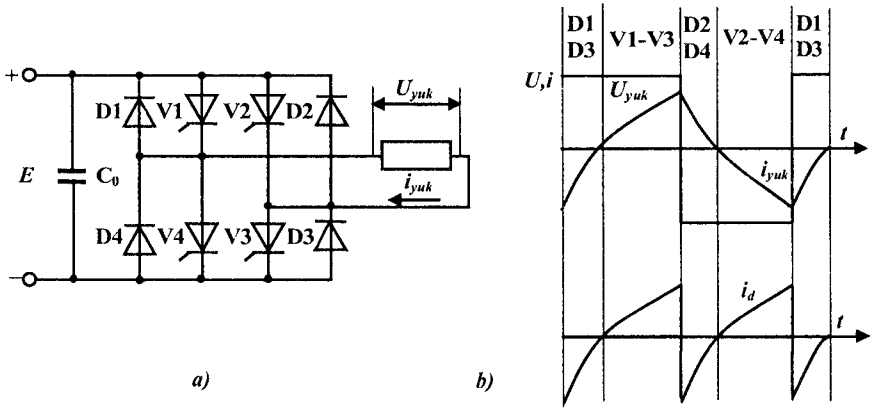
Ikkinchi usul – KAI bilan yuklanish oralig'iga qarama-qarshi – parallel ulangan tiristorlar juftligi yordamida amalga oshiriladi.

Uchunchi usul – impuls usuli deb ataladi. Boshqaruv impulsining kengligini o'zgartirish natijasida KAI chiqish kuchlanishi mos ravishda rostlanadi. Bu usulning qo'llanilishi uning kirish qismida boshqariluvchi o'zgarmas tok o'zgartkichiga hojat qoldirmaydi va tiristorli chastota o'zgartkichning kuch sxemasi hamda boshqaruv tizimi ancha soddalashadi va ishonchlilik darajasi ancha ortadi.

KAIlarning chiqish kuchlanishlarini impuls kengligini o'zgartirib rostlashda uchinchi usuldan foydalaniladi.

KAI chiqishidagi kuchlanishning talab etilgan darajada ko'rinishga ega bo'lishi uchun kuch sxemadagi tiristorlarni ma'lum qonuniyatlar asosida ochish va yopish kerak bo'ladi. Bu qonuniyatlarning majmuasi tiristorlarni ochish va yopish algoritmlari (OYoA)ning asosini tashkil etadi. KAIlarning kuch sxemalaridagi tiristorlarning ochilishi va yopilishi ularning boshqarish tizimlarida amalga oshiriladi hamda shuning uchun ham tiristorlarni ochish algoritmi (OA) va ularni yopish algoritmi (YoA) asosida invertor boshqarish tizimining ishlashi shakllanadi.

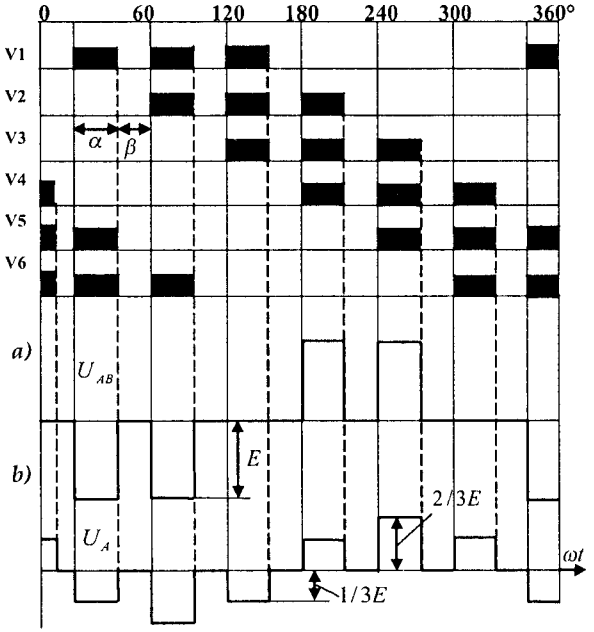
3.11- *a* rasmda bir fazali KAIning shartli sxemasi berilgan bo'lib, chiqishidagi kuchlanishni rostlash birinchi yoki ikkinchi usul bilan amalga oshirilishi mumkin.



3.11- rasm. Bir fazali KAIning sxemasi (a) va uning kuchlanish va tok diagrammasi (b).

V1, V3 va V2, V4 tiristorlarning davriy juft ulanishi va o'chishi yuklanishdagi kuchlanish U_{yuk} ning shakli to'g'ri burchakli, ampilitudasi manba kuchlanishiga teng bo'lishini taqozo qiladi va yuklanishdan o'tayotgan tokning shakli eksponenta bo'laklaridan iborat bo'ladi (3.11- *b* rasmga qarang). Agar V1 va V3 tiristorlar o'chirilib, V2 va V4 tiristorlar ulanadigan bo'lsa, u holda aktiv-induktiv yuklanishdan o'tayotgan tokning yo'nalishi ulangan tiristorlarning o'tkazuvchanligiga nisbatan teskari bo'ladi va bu tokni yo'naltirish uchun V1–V4 tiristorlarga qarama-qarshi yo'nalishda parallel VD1–VD4 diodlar ulangandir.

Yuklanishdagi tok va kuchlanishning ishoralari teskari bo'lgan holda u yoki bu juft diodlar ochiladi. Shunda manbadan kelayotgan tok i_d ishorasini o'zgartirib E kuchlanishga qarama-qarshi yo'nalishda oqadi. Agar manba bir tomonli o'tkazuvchanlikka ega, ya'ni to'g'rilagich bo'lsa, u holda manbaga parallel kondensator ulanishi kerak. Invertordan tok manbaga qarab yo'nalganida kondensator zaryadlanadi va tok manbadan yo'nalganida esa zaryadsizlanadi. Bu kondensatorning sig'imi, manba kuchlanishi pulsatsiya-



3.12- rasm. Uch fazali KAI chiqish kuchlanishini impuls kengligini o'zgartirib rostlash jarayonidagi tiristorlarning holatlari, liniya (a) va faza kuchlanishlari (b) o'zgarishlari diagrammalari.

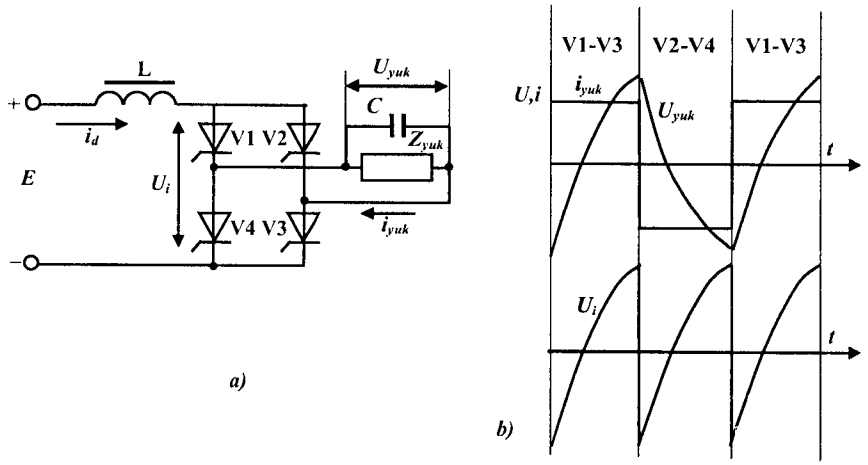
si sezilarsiz darajada bo'lishini ta'minlashi uchun yetarli darajada qiymatga ega bo'lishi kerak.

KAI chiqish kuchlanishini impulsli boshqarish usulini tiristorlarning o'tkazuvchanlik burchagi $\lambda = 180°$ bo'lgan hol uchun ko'rib chiqamiz.

Tiristorlarning o'tkazuvchanlik burchagi $\lambda = 180°$ bo'lganida bir vaqtda uchta tiristor ishlaydi va bu holda kuchlanishning shakli yuklanishga deyarli bog'liq bo'lmaydi.

3.12- *a* rasmdan ko'rinib turibdiki, bir paytda uchta tiristorning ochilishini va interval o'tishi bilan yopilishini ta'minlaydigan impulslar OYoA vositasida amalga oshiriladi. Har bir tiristorning ochilib turish burchagi α ning rostlanishi natijasida chiqishdagi kuchlanish impulsi kengligi o'zgartiriladi.

Tok avtonom invertori to'liq bo'lmagan boshqariluvchi yarimo't-kazgichlarda bajarilishi mumkin (3.13- *a* rasm). TAI yuklanishga parallel ulangan kondensator *C* ning vazifasi, bir juft tiristor ulangan holatda bo'lganida ikkinchi juft tiristorning o'chiq holda bo'lishi uchun ularga boshqariluvchanlik xususiyatlarini tiklanish davri oralig'ida manfiy kuchlanish bilan to'siq hosil qilishdan iboratdir. Manbadan chiqayotgan tokning pulsatsiyasini kamaytirish maqsadida TAIning kirish qismiga yetarli darajada induktivlikka ega bo'lgan reaktor ulanadi. Agar kondensatorni ham yuklanishning bir qismi deb qaraydigan bo'lsak, yuklanish tokining shakli to'g'ri burchakli shaklda bo'ladi (3.13- *b* rasm). Yuklanishdagi kuchlanish shakli yuklanishning xarakteriga bog'liqdir. Invertorning kirish qismidagi



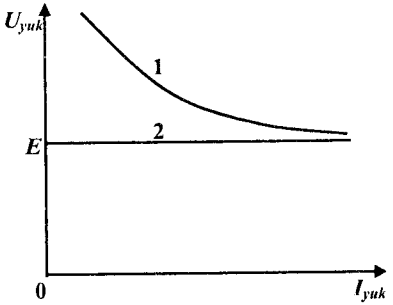
3.13- rasm. Bir fazali TAIning sxemasi (a) va uning kuchlanish va tok diagrammasi (b).

kuchlanishning manfiy ishorali qismi vaqt oralig'ida tiristorlarning yopiq holatiga to'g'ri keladi.

Shunday qilib, KAIlarning asosiy afzalligi kuchlanishning yuklanishga bog'liq emasligi, balki tiristorlar kommutatsiyasining tartibiga bog'liqligidan iborat. TAIlarda tiristorlar kommutatsiyasining tartibi tok shaklini belgilaydi, kuchlanishning shakli yuklanishning xarakteriga bog'liq bo'lganligi sababli invertorlarning chiqish tavsiflari 3.14- rasmda tasvirlanganidek bo'lib, KAIning tashqi tavsifi abssissa o'qi I_{yuk} ga parallel bo'ladi, ya'ni $U_{yuk} = E$ (1- egri chiziq). TAIning tashqi tavsifining matematik ifodasi quyidagi ko'rinishga ega:

$$U_{yuk} = \frac{EI_d}{I_{yuk}\cos\varphi} \approx \frac{E}{\cos\varphi}, \qquad (3.1)$$

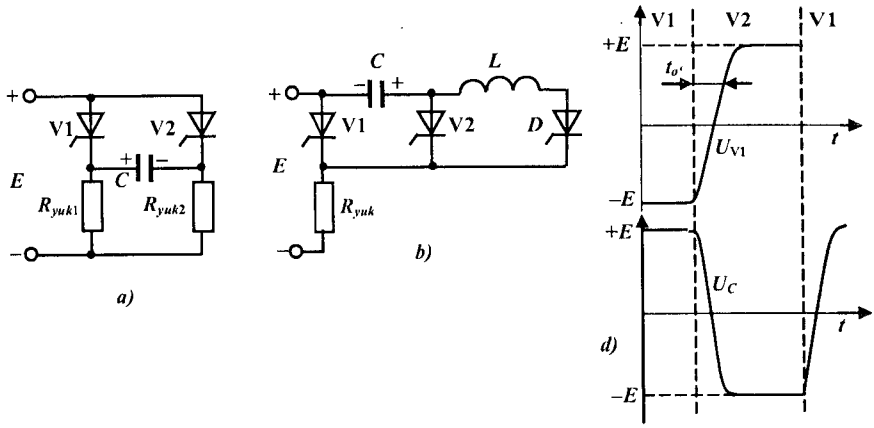
bunda: U_{yuk} va I_{yuk} – yuklanish kuchlanishi va tokining birinchi garmonik tashkil qiluvchilarining haqiqiy qiymatlari; $\cos\varphi$ – yuklanishning quvvat koeffitsiyenti. (3.1)dan ko'rinib turibdiki, manba kuchlanishining o'zgarmas qiymatida yuklanishdagi kuchlanish quvvat koeffitsiyentiga teskari proporsional bo'ladi. Yuklanishda tok qiymatining kamayishi natijasida $U_{yuk} \to E$ ham kamayadi, natijada yuklanishdagi kuchlanish qiymati ortadi (2- to'g'ri chiziq). Yuklanish tokining ortishi esa $\cos\varphi$ ortishi va birga intilishi natijasida $U_{yuk} \to E$ ga intiladi.



3.14- rasm. Avtonom invertorlarning tashqi tavsiflari.

Sun'iy kommutatsiya qurilmalari tiristorli avtonom invertorlarning zarur qismlaridan bo'lishi bilan bir qatorda invertorning rostlash xususiyatlarini, energetik va ishonchlilik darajalarini ko'p jihatdan belgilaydi. Quyida amaliyotda keng qo'llaniladigan sun'iy kommutatsiya sxemalarining ikki xilini ko'rib chiqamiz.

3.15- *a* rasmda tasvirlangan sun'iy kommutatsiya sxemasi bir ishchi tiristorning ulanishi bilan ikkinchi ishchi tiristorning o'chirilishini ta'minlaydi.



3.15- rasm. Avtonom invertor kuch sxemalaridagi ishchi tiristorlarning sig'imli (a) va tebranma konturli (b) sun'iy kommutatsiya sxemalari hamda ularning kuchlanish diagrammalari (d).

Tiristor V1 orqali tok o'tayotganda kondensator Cning sxemada ko'rsatilgan chap qobig'i «−» o'ng qobig'i «+» ishora bilan manbaning kuchlanish qiymati Egacha qarshilik R_{yuk2} orqali zaryadlanadi. Tiristor V2 ga ilk boshqarish signali ochilishi uchun elektrodlariga berilganida kondensatordagi kuchlanish tiristor V1ga teskari, ya'ni katodiga «+» anodiga «−» ishorali kuchlanish bilan to'sadi, natijada V1 ning o'chishiga olib keladi. So'ngra ulangan tiristor V2 va qarshilik R_{yuk} orqali kondensator C qayta zaryadlanadi. Kondensatordagi kuchlanishning E dan 0 gacha tushish vaqti oralig'ida (3.15- *d* rasm) tiristor V1 ga teskari ishorali kuchlanish bilan to'siladi va u o'chadi. Kondensator C ning sig'imini shunday tanlash lozimki, sxema bo'yicha tiristorning o'chish vaqti $t_{o'}$ tiristorning pasportida ko'rsatilgan $t'_{o'}$dan kam bo'lmasligi kerak, ya'ni

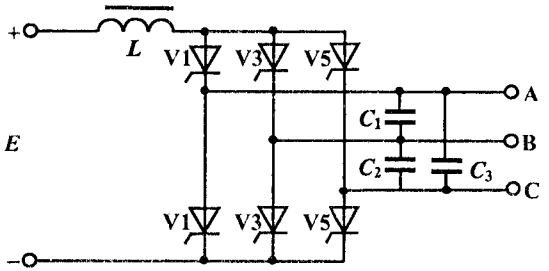
$$C = \frac{t'_{o'}}{R_{yuk} \ln 2}. \qquad (3.2)$$

3.15- *b* rasmda ishchi tiristorni o'chirish uchun unga parallel oldindan zaryadlanib qo'yilgan kondensator ulanadigan sun'iy kommutatsiya sxemasi tasvirlangan. Aytaylik, tiristor V1 ishlab turibdi, kondensator qobig'laridagi

zaryad ishoralari sxemada ko'rsatilgandek bo'lsin. Tiristor V1 ni o'chirish uchun yordamchi tiristor V2 ga boshqaruv signali yuboriladi. Kondensator C tiristor V2 va qarshilik R_{yuk} orqali qayta zaryadlanadi, keyin tiristor V2 yoqiladi. Tiristor V1 ga ulanish uchun signal berilgandan keyin kondensator C ning tiristor V1, induktivlik L va diod D dan iborat tebranma kontur bo'yicha qayta zaryadlanish yuzaga keladi va natijada sxema yana yangi ulanish uchun tayyor holatga keladi (3.15- *b* rasm). Kondensator C ning sig'imi (3.1) ifoda bilan aniqlanadi. Induktivlik L ning vazifasi kondensator C ning kerakli darajada tez qayta zaryadlanishida tok amplitudasi qiymatini chegaralashni ta'minlashdir. Bu sxemaning afzalligi shundaki, invertordagi har bir tiristorni boshqa tiristorlarning ish rejimidan qat'iy nazar o'chirish imkonini beradi, bu esa tiristorlarga deyarli to'liq boshqariluvchanlik xususiyatini beradi.

Hozirda kichik va o'rta quvvatli kuch tiristorlarning to'liq boshqariluvchi turlari yaratilganligi sababli ularni ochish hamda yopish amallarini avtonom invertorlarning boshqaruv tizimlarida bajariladi va bu esa ularning kuch sxemalarini yanada soddalashtirishga hamda avtonom invertorlarning ishonchli ishlash darajasini orttiradi.

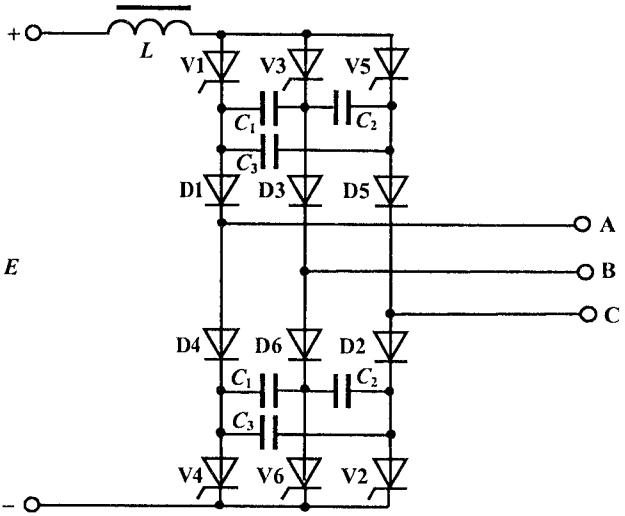
3.16- rasmda tasvirlangan avtonom invertorning uch fazali ko'prik sxemali eng sodda sxemalaridan biri bo'lib, parallel tok avtonom invertori deb yuritiladi.



3.16- rasm. Parallel tok avtonom invertorining sxemasi.

Kondensator C_1, C_2, C_3 lar asinxron motor fazalariga parallel ulanib, kommutatsiya funksiyasini bajarish bilan bir qatorda motor iste'mol qilayotgan reaktiv quvvat o'rnini to'ldirish vazifasini ham bajaradi. Bunday invertorlarning yuklanish momenti deyarli o'zgarmaydigan va chastota rostlash diapazoni uncha katta bo'lmagan asinxron elektr yuritmalarda qo'llaniladi. Bu invertorning eng katta kamchiligi chastotaning kichik qiymatlarida (10 Hz va undan kichik) kondensatorlarning sig'imi juda katta qiymatga ega bo'lishi zarurligidir. Bundan tashqari asinxron motorga kon-

densatorlarning parallel ulanishi elektr yuritmada yo'qotishi qiyin bo'ladigan avtotebranishlarning paydo bo'lishiga olib keladi. Bu sxemaning takomillashgan varianti kondensatorlar asinxron motor stator chulg'amidan D1–D6 diodlar orqali ajratilgan (3.17- rasm).

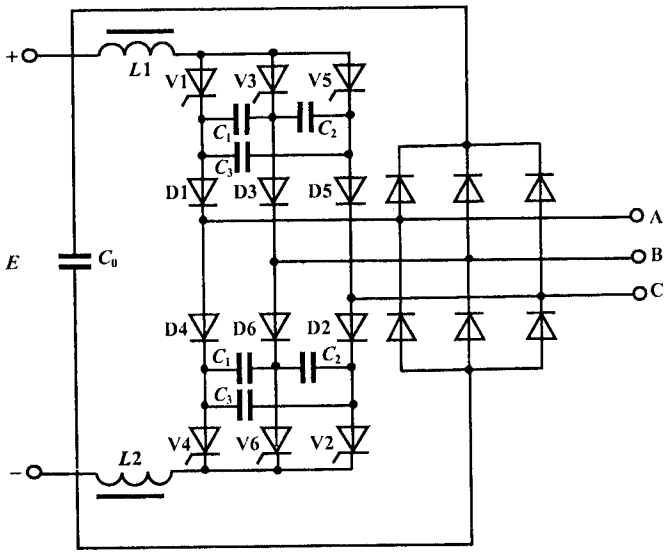


3.17- rasm. Kondensatorlar diodlar yordamida ajratilgan tok avtonom invertorining sxemasi.

Kondensatorlar orqali kommutatsiya vaqtidagina tok o'tib, boshqa paytda ulardan tok o'tmaydi. Bu esa kondensator sig'imlarining chastota o'zgarishidan qat'iy nazar anchagina kamaytirish imkonini beradi. Ammo kommutatsiya jarayonida asinxron motorning stator chulg'amidagi yig'ilgan energiyaning kondesatorlariga uzatilishi, kondensatorlarda kuchlanishning o'sishiga olib keladi. Shuning uchun kondensatorlarning sig'imini shunday tanlashi kerakki, bir tomondan bu kuchlanish o'sishini ruxsat etilgan qiymatidan ortmasligi, ikkinchidan esa kondensatorlarning qayta zaryadlash jarayoni uzayib ketmasligi kerak.

3.18- rasmdagi kuchlanish avtonom invertorining 3.17- rasmdagi tok invertoridan farqi shundaki, bu sxemaga teskari ulangan D7–D12 diodlarning ko'prik sxemasi va kompensatsiyalovchi kondensator C ulangan.

Bu sxemadagi kondensatorlar faqat kommutatsiya jarayonida ishlaydi. Shuning uchun ularning sig'imlari yanada ham kam bo'ladi. L_1 va L_2 reaktorlarning vazifasi kondensatorlarning teskari ulangan diodlari orqali tez qayta zaryadlanishiga yo'l qo'ymaslikdir.



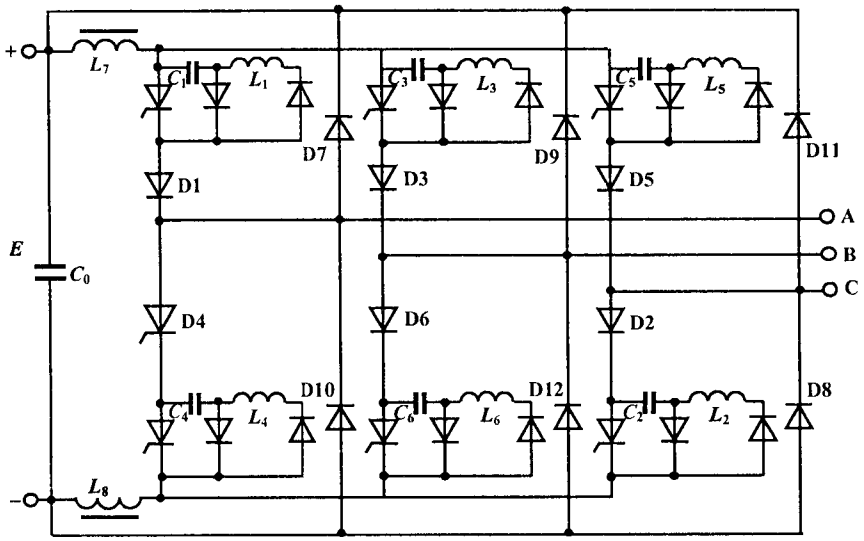
3.18- rasm. Fazalararo kommutatsiyali kuchlanish avtonom invertorining sxemasi.

3.17- va 3.18- rasmlarda keltirilgan invertorlarda bir fazadagi tiristorlarning o'chirilishi ikkinchi fazadagi tiristorlarning esa yoqilishi bilan xarakterlangani uchun bunday invertorlarni ***fazalararo kommutatsiyali invertorlar*** deb ataladi.

3.19- rasmda tasvirlangan invertor sxemasida har bir tiristor uchun alohida o'zining kommutatsiya zanjiri mavjudligi bilan oldingi qaralgan invertorlarning sxemalaridan farq qiladi.

D1–D6 diodlar 3.18- sxemadagidek asinxron motorning invertor sxemasidan ajratish uchun xizmat qiladi, D7–D12 diodlar esa teskari ko'prik sxemasi bo'yicha o'zgarmas kuchlanish manbayiga ulanadi. Bunday sxemali kuchlanish avtonom invertorlarida har bir tiristorlarning ochilishi va yopilishi boshqa tiristorlarning holatlaridan qat'iy nazar individual ravishda bo'ladi hamda bu esa yuklanishdagi kuchlanish qiymatini rostlash imkonini beradi.

Bundan tashqari avtonom invertorlarda anod va katod zanjirlaridagi tiristorlar uchun umumiy bo'lgan kommutatsiya kondensatorlari qo'llanilgan sxemalar, invertor tiristorlari uchun umumiy yagona bo'lgan kommutatsiya qurilmasiga ega bo'lgan sxemalar va boshqa xilma-xil kommutatsiya qurilmali sxemalar ham amaliyotda keng qo'llaniladi.



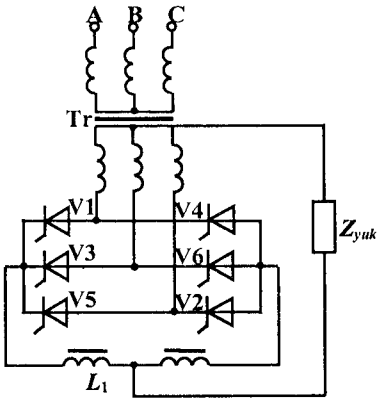
3.19- rasm. Individual kommutatsiyali kuchlanish avtonom invertorining sxemasi.

3.4. BEVOSITA CHASTOTA O'ZGARTKICHLAR

Tiristorli bevosita chastota o'zgartkichlarda tarmoqdan kelayotgan o'zgarmas chastotali va kuchlanishning haqiqiy qiymati o'zgarmas bo'lgan o'zgaruvchan tok kuchlanishi bevosita oraliq o'zgartkichlarsiz chastota hamda kuchlanishining haqiqiy qiymati rostlanuvchan o'zgaruvchan tok kuchlanishiga o'zgartiriladi.

Bevosita TChO'ning ishlash prinsipini shu o'zgartkichning bir fazali sxemasi asosida ko'rib chiqamiz (3.20- rasm).

Bu sxema o'zgarmas tok tiristorli o'zgartkichning reversiv nol sxemasidan iboratdir. Agar chap guruh tiristorlariga ochilishi uchun signal berilganida, yuklanish Z_{yuk} dan kuchlanish nol nuqtaga nisbatan musbat ishorali bo'ladi va uning

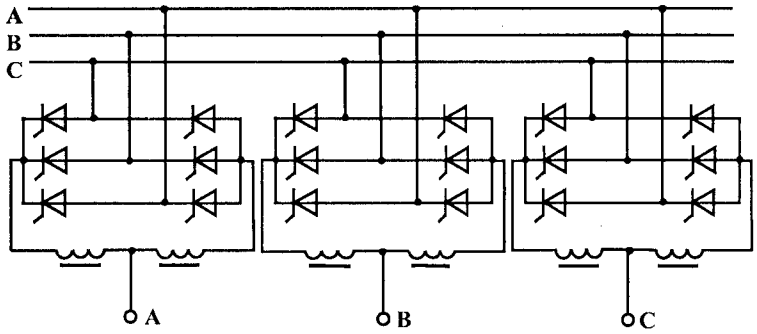


3.20- rasm. Bir fazali bevosita TChO'ning sxemasi.

o‘rtacha qiymati $U_{yuk} = U_{yuk0}\cos\alpha$ bo‘lib, bunda: α – tiristorlarning boshqarish burchagi; U_{yuk0} – boshqarish burchagi $\alpha = 0$ bo‘lgandagi yuklanish Z_{yuk}dagi kuchlanish.

Endi o‘ng guruh tiristorlariga boshqaruv signallari berilib ochilganda, chap guruh tiristorlari yopilib Z_{yuk} dagi kuchlanishning ishorasi manfiy bo‘ladi. Agar boshqaruv impulslari goh u, goh bu guruh tiristorlariga davriy ravishda yuborib turilganda, yuklanishdagi kuchlanishning ishorasi ham mos ravishda o‘zgarib turadi. Shunday qilib, yuklanishda chastotasi tarmoq chastotasidan farqli (unga teng yoki undan kam) chastotali o‘zgaruvchan kuchlanish hosil qilamiz. Boshqaruv impulslarning ketma-ketlik davrini o‘zgartirib U_{yuk} ning chastotasi boshqariladi, agar α boshqaruv burchagini o‘zgartirsak, U_{yuk} ning o‘rtacha qiymati rostlanadi.

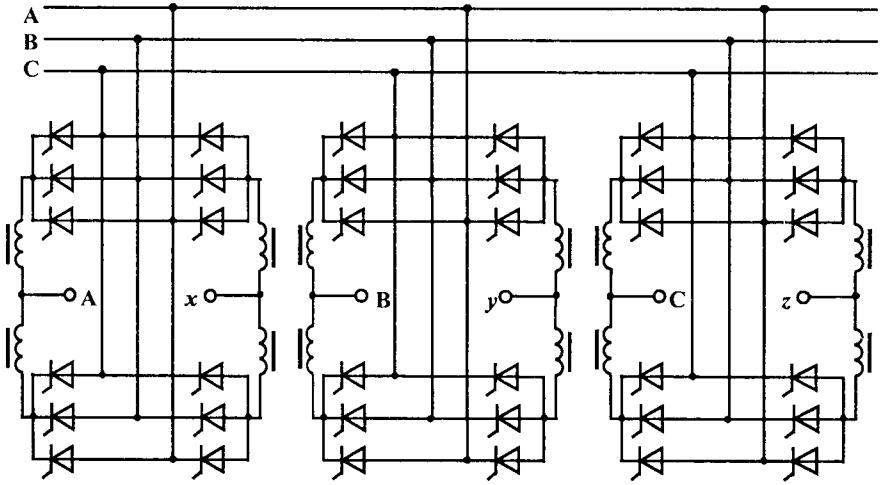
Sanoat qurilmalari elektr yuritmalarida bevosita TChO‘larning uch fazali nol sxemalari ko‘proq qo‘llaniladi va uning prinsipial sxemasi 3.21- rasmda tasvirlangan.



3.21- rasm. Uch fazali nol sxemali bilvosita TChO‘ning sxemasi.

Ishchi tiristorlarning soni 18 ga teng. Bevosita TChO‘ning uch fazali ko‘prik sxemali variantda esa ishchi tiristorlarning soni 36 ga teng (3.22-rasm). O‘rta va katta quvvatli o‘zgaruvchan tok elektr yuritmalarida ushbu sxemali bevosita TChO‘ning ishlatilishi iqtisodiy va ekspluatatsion ko‘rsatkichlari bo‘yicha o‘zini oqlaydi.

Bevosita TChO‘larning boshqariv burchagini boshqarish uchun reversiv o‘zgarmas tok o‘zgartkichlarida qo‘llaniladigan faza siljitish qurilmalaridan foydalaniladi. Bevosita TChO‘ning ishchi sxemasida tiristorlar komplekti soniga qarab FSQ lar ham shuncha bo‘lishi, ya’ni uch fazali nol sxemali bevosita TChO‘lar uchun FSQlar soni oltita bo‘lishi talab etiladi.



3.22- rasm. Uch fazali ko'prik sxemali bilvosita TChO'ning sxemasi.

FSQlarni boshqarish uchun chastotasi hamda kuchlanish amplitudasi rostlanuvchan bo'lgan olti fazali simmetrik tizim bo'lishi kerak.

Bevosita TChO' chiqish kuchlanishining formasi to'g'ri burchakli – pog'onali bo'lsa, u holda boshqariluvchi kuchlanish manbayi sifatida to'g'ri burchakli impuls ishlab chiqaruvchi olti fazali «generator»dan foydalaniladi. Bunday «generator» bir fazali generator va impulslar tarqatgich bloklaridan tashkil topgan bo'ladi.

Bevosita TChO'larning asosiy afzalliklari:

1.Tiristorlar quvvatlarining kichikligi va o'zgartkich foydali ish koeffitsiyenti yuqori.

2. Tiristorlarni boshqarishda sun'iy kommutatsiya qurilmalarining bo'lmasligi o'zgartkichning ishonchliligi darajasini orttiradi va og'irlik – o'lchov kattaliklarini kamaytiradi.

3. Formasini o'zgartirmagan holda past chastotalarda chiqish kuchlanishlarni olish mumkinligi.

4. Asinxron motorning rekuperativ tormoz rejimini osonlik bilan hosil qilish mumkinligi.

Bevosita TChO' ning asosiy kamchiliklari:

1. Chiqish kuchlanishi chastota qiymatining chegaralanganligi (tarmoq kuchlanish chastotasiga yaqin va undan katta qiymatli chastotaga ega bo'lgan kuchlanish hosil qilish mumkin emasligi).

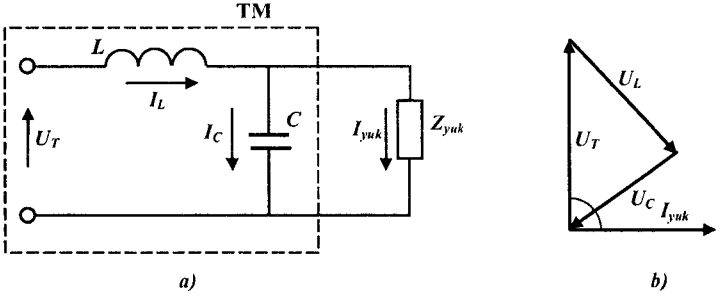
2. Tarmoq quvvat koeffitsiyentining past bo'lishi.

3. Ishchi sxemalarda tiristorlar sonining ko'p bo'lishi (uch fazali ko'prik sxemali bilvosita TChO'da tiristorlar soni 12 ga teng bo'lgan holda bevosita TChO'da esa tiristorlar soni 36 ga teng).

3.5. INDUKTIV-SIG'IMLI PARAMETRIK O'ZGARTKICHLAR

O'zgarmas tok tiristorli o'zgartkichlar kuchlanish manbayi sifatida ishlatiladigan bo'lsa, yuklanishning tok qiymati o'zgargan paytda ham kuchlanishning qiymati deyarli o'zgarmay qolib, uning o'zgarishi esa faqat vazifalovchi boshqaruv kuchlanishining qiymatigagina bog'liq bo'ladi. Ammo bunday TO' ma'lum sxemalar asosida, masalan, tok bo'yicha kritik musbat teskari bog'lanishli sxema asosida yig'iladi, kuchlanishning qiymati o'zgargan holda yuklanishdagi tokning qiymati o'zgarmay qolib, o'zgartkich tok manbayi vazifasini bajaradi. Sanoatda tok manbayi o'zgartkichlari, misol uchun elektr yoy pechlarida yoy tokining qiymatini bir xil ushlab turishda, kabel va sim o'rovchi qurilmalarining motorlarida bir xil mexanik kuchlanish hosil qilishda, tajriba-sinov stendlarida o'zgarmas qiymatli moment hosil qiluvchi yuklanish qurilmalarda keng qo'llaniladi.

Sodda va ishonchli tok manbayi (TB) kuchlanish rezonansi bo'yicha sozlangan induktiv-sig'imli TM ning (3.23- *a* rasmga qarang) ish rejimi quyidagi Kirxgof tenglamalari tizimi bilan ifodalanadi:



3.23- rasm. Bir fazali induktiv-sig'imli TMning sxemasi (a) va kuchlanishlarning vektor diagrammasi (b).

$$\left.\begin{aligned} &I_L Z_L + I_{yuk} Z_{yuk} = U_c; \\ &I_{yuk} Z_{yuk} - I_c Z_c = 0; \\ &I_L - I_c = I_{yuk}. \end{aligned}\right\} \qquad (3.3)$$

(3.3) tenglamalar tizimi I_{yuk} ga nisbatan yechilganda quyidagi ifoda hosil bo'ladi:

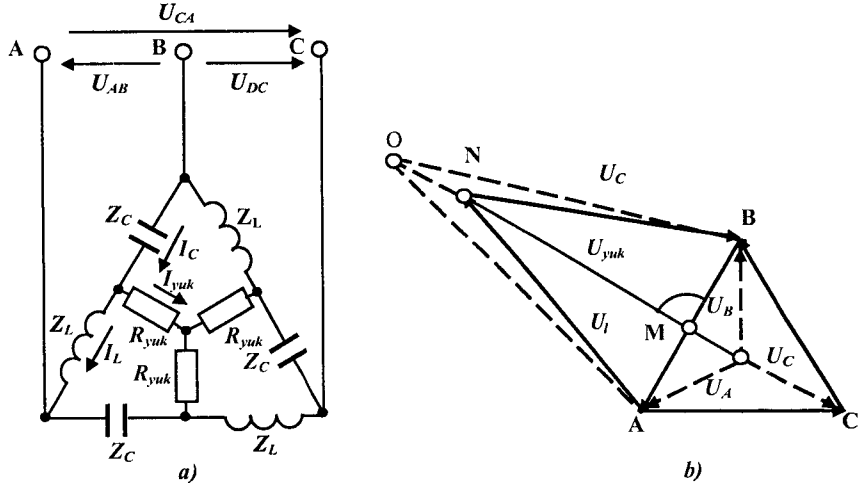
$$I_{yuk}\left[1+Z_{yuk}\left(\frac{1}{Z_c}+\frac{1}{Z_L}\right)\right]=\frac{U_c}{Z_L}. \qquad (3.4)$$

Bunda $Z_L=jX_L$, $Z_c=-jX_c$ va $X_L=X_c=X_R$ ekanligi hisobga olinganda (3.4) tenglama soddalashtirilgan ko'rinishga keladi:

$$I_{yuk}=\frac{U_T}{jX_R}. \qquad (3.5)$$

Bunda X_R – kondensator va reaktorning reaktiv qarshiliklarining rezonans qiymatlari, U_T – manba tarmog'ining kuchlanishi.

Shunday qilib, yuklanishdagi tokning qiymati o'zgarmas bo'lib, Z_{yuk} va $U_{yuk}=I_{yuk}Z_{yuk}$ larga bog'liq bo'lmaydi. U_{yuk} ning ixtiyoriy qiymati uchun induktiv-sig'imli tok manbayining vektor diagrammasi 3.23- *b* rasmda tasvirlangandek ko'rinishga ega bo'ladi. Bunday TMlarning afzalligi soddaligida. Kamchiligi esa yuklagich sifatida TMga to'g'rilagich orqali o'zgarmas tok motori ulanganida o'zgarmas tok qiymatining doimiyligi sharti buziladi. Bir fazali TMning kamchiliklaridan biri uzlukli tok rejimining mavjudligi va uning yuklanishga ta'siri sezilarli bo'lishidadir. Bu kamchilikni yo'qotish uchun TMlarning ko'p fazali sxemalari qo'llaniladi (3.24- *a* rasm).



a) *b)*

3.24- rasm. Uch fazali induktiv-sig'imli TMning sxemasi (a) va uning kuchlanishlar diagrammasi (b).

Uch fazali TMning ish rejimlarini aniqlash uchun biron-bir fazasi uchun Kirxgof tenglamasini tuzish kifoyadir va bu tenglamalar tizimi (3.3) ko'rinishda bo'ladi. I_{yuk} ga nisbatan yechimi ifodasini soddalashtirib va mos o'zgartirishlardan so'ng $R_L = 0$ bo'lgan hol uchun quyidagi ifodani hosil qilamiz:

$$I_{yuk} = U_l / X_R = \text{const}. \tag{3.6}$$

Bunda: U_l – tarmoqning liniya kuchlanishi; $X_L = X_c = X_R$ – sig'im va reaktorlarning reaktiv qarshiliklarining rezonans qiymatlari. 3.24- *b* rasmdagi vektor diagrammadagi ON yuklanish kuchlanishi vektori godografi ($U_{yuk} = I_{yuk} R_{yuk}$) va U_{AB} kuchlanishga perpendikulyar bo'ladi. Yuklanishning qisqa tutashishi, ya'ni $R_{yuk} = 0$ rejimi tarmoq uchun eng yengil rejim bo'ladi va liniya toki

$$I_l = \frac{1}{\sqrt{3}} \frac{U_L}{\frac{Z_L \cdot Z_c}{Z_L + Z_c}} = \begin{cases} 0, & \text{agarda } R_L = 0 \\ \dfrac{U_L}{\sqrt{3} X_R D_L}, & \text{agarda } R_L \neq 0 \end{cases} \tag{3.7}$$

qiymatga teng bo'ladi.

Yuklanishning salt yurish rejimi, ya'ni $R_{yuk} = \infty$ favqulodda (avariya) rejimi bo'lib, ta'minlovchi tarmoqning qisqa tutashuv rejimiga mos keladi:

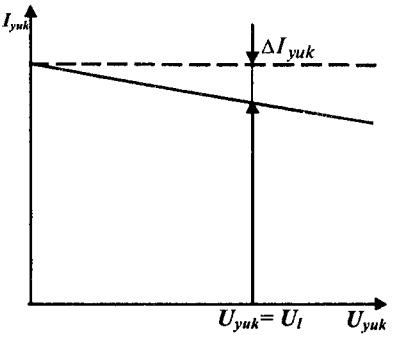
$$I_l = \sqrt{3} \frac{U_l}{Z_L + Z_c} = \begin{cases} 0, & \text{agarda } R_L = 0, \\ \dfrac{\sqrt{3} U_l}{R}, & \text{agarda } R_L \neq 0. \end{cases} \tag{3.8}$$

TMning tashqi tavsifini ifodalovchi tenglamada yuklanishning toki chiqish ko'rsatkichi bo'lib, g'alayonlovchi ta'sir esa yuklanishning kuchlanishi bo'ladi:

$$I_{yuk} + U_{yuk} \frac{1}{X_p D_L} = \frac{U_l}{X_p} \left(1 + \frac{1}{2\sqrt{3} D_L} \right), \tag{3.9}$$

bunda: $D_L = \dfrac{X_L}{R_L}$ – reaktorning aslligi.

Bu tenglamada $U_{yuk} = 0$ bo'lishi TM tashqi tavsifining salt yurish rejimidagi $I_{yuk} = I_0$ qiymatini beradi (3.25- rasm).



3.25- rasm. TMning tashqi tavsifi.

Tavsifning nishabligi $U_{yuk}= U_l$ bo'lgandagi holat uchun statizm orqali aniqlanadi:

$$\delta_I = \frac{\Delta I}{I_0} = \frac{1}{D_L}. \qquad (3.10)$$

Reaktorning aslligi qancha katta bo'lsa, TMning tashqi tafsifi shuncha bikr bo'ladi. TMlar uchun qo'llaniladigan reaktorlarning aslligi, odatda, $D_L > 100$ bo'lib, $\delta_I < 1\%$ qiymatga ega bo'ladi.

Kuchlanish rezonansi hodisasi TMlarda qo'llanilib, yuklanish qarshiligining o'sishi bilan reaktor va sig'imda ham kuchlanishning o'sishi kuzatiladi. Shuning uchun TMning reaktoridagi kuchlanishning maksimal qiymatini aniqlash asosiy amallardan biridir. 3.24- *b* rasmdagi vektor diagrammadagi U_l teng yonli ANB uchburchakning AN tomoni deb qaraladi va bu vektorning qiymati quyidagi ifoda yordamida aniqlanadi:

$$AN = \sqrt{AM^2 + MN^2}$$

va shuningdek, liniya kuchlanishi qiymatining analitik ifodasi esa quyidagi ko'rinishga ega bo'ladi:

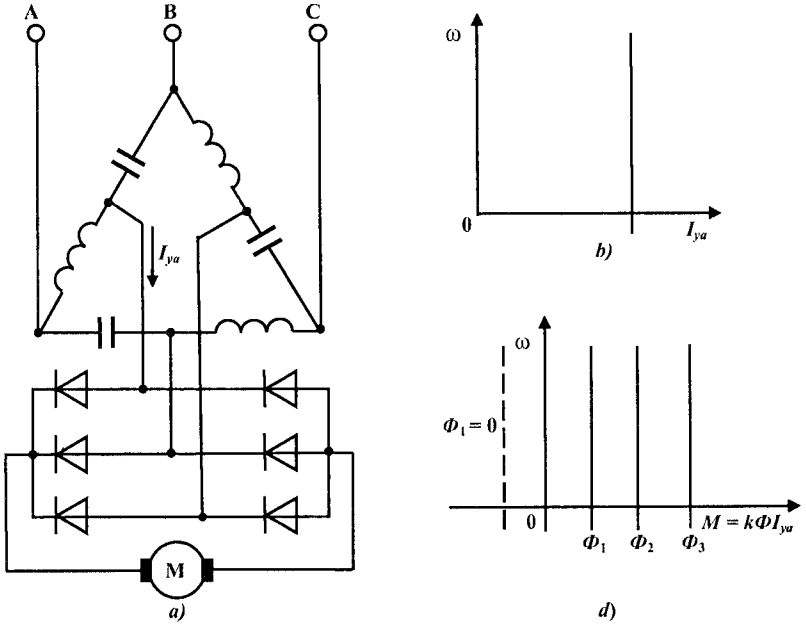
$$U_l = \sqrt{\left(\frac{U_{AB}}{2}\right)^2 + \left(U_{yuk} - \frac{U_A}{2}\right)^2} = \sqrt{\left(\frac{U_l}{2}\right)^2 + \left(U_{yuk} - \frac{U_l}{2\sqrt{3}}\right)^2}. \qquad (3.11)$$

Ushbu ifoda asosida yuklanish kuchlanishi 0 dan to U_l gacha o'zgarganda ham U_L ning qiymati $U_l$dan kichik bo'lishini va U_{yuk}qiymatining ushbu diapazon oralig'ida reaktor tokining maksimal qiymati yuklanish toki bilan quyidagicha bog'langanligi aniqlaniladi:

$$I_{L\max} = \frac{U_{L\max}}{X_p} = 0{,}87\frac{U_l}{X_p} = 0{,}87 I_{yuk} \qquad (3.12)$$

va uning qiymati yuklanish tokidan kam bo'ladi. Shunday qilib, reaktorning o'lchamlarini belgilovchi quvvati $U_{L\max}I_L < U_{yuk}I_{yuk}$ tengsizlikdan iborat bo'ladi.

Induktiv-sig'imli tok manbalari uchun tipik yuklanish sifatida yakor zanjiri TMdan to'g'rilagich ko'prik sxemasi orqali ta'minlanuvchi mustaqil qo'zg'aluvchan o'zgarmas tok motorlari keng qo'llaniladi (3.26- *a* rasm).



3.26- rasm. TM li o'zgarmas tok elektr yuritmasining sxemasi (a) va uning elektromexanik (b) va mexanik (d) tavsiflari.

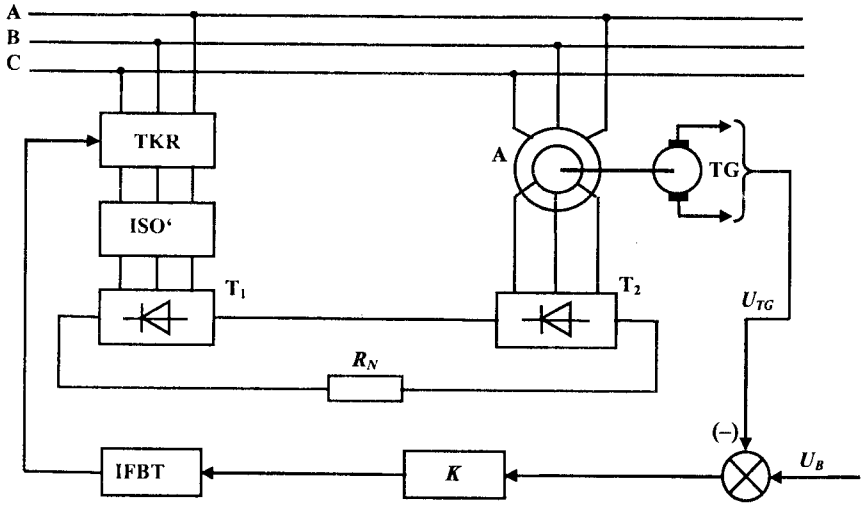
Agar reaktorning aktiv qarshiligini $R_L = 0$ deb qarasak, to'g'rilagich nochiziqligining TMga ta'sirini hisobga olmaganimizda yuklanish toki liniya kuchlanishi va reaktorning induktivligiga bog'liq bo'lib qoladi:

$$I_{ya} = k\frac{U_l}{X_p} \approx 1{,}23 I_{yuk} = \text{const} \qquad (3.13)$$

va bu esa yakor zanjiridagi tokning kuchlanishga hamda motorning tezligi ω ga bog'liq bo'lmaydi (3.26- *b* rasm). Motorning momenti ifodasi

$M = k\Phi I_{ya}$ dan ko'rinib turibdiki, yakor tokining I_{ya} = const bo'lishi, momentning magnit oqimiga to'g'ri proporsional bo'lishining ta'minlanishi va induktiv-sig'imli tok o'zgartkichi va o'zgarmas tok motori tizimining mexanik tavsiflari Φ ning turli qiymatlari uchun vertikal to'g'ri chiziqlardan iborat tavsiflari majmuasidan iborat bo'ladi (3.26- *d* rasm). Shunday qilib, bu elektr yuritma tizimi magnit oqimini rostlovchi o'zgarmas moment manbayi xususiyatiga ega bo'ladi.

Asinxron motorlarning o'zgarmas tok motorlariga nisbatan ishlatilishining osonligi, massa-og'irlik ko'rsatkichlari kichikligi va ishonchlilik darajasining yuqoriligi bilan ajralib turadi. Shuning uchun ham asinxron motorlar asosida «tok manbayi – motor» elektr yuritma tizimlarini yaratish maqsadga muvofiqdir. Bunday tizimning negizini induktiv-sig'imli parametrik o'zgartkich hosil qilib, u faza rotorli asinxron motor fazasidagi tokni stabillashga xizmat qiladi. Asinxron motor hosil qiladigan aylantirish momenti stator chulg'ami magnit oqimi maydonining o'zgarmas qiymatida rotor tokining haqiqiy qiymatiga to'g'ri proporsional bo'lib, stabillashgan rotor tokini o'zgartirib, unga mos keluvchi M = const tavsiflari to'plamini hosil qilish mumkin. Agar elektr yuritma tizimida tezlik bo'yicha manfiy teskari bog'lanish qo'llanilsa, u holda ω = const bo'lgan tavsiflar to'plamini hosil qilishi mumkin bo'ladi.



3.27- rasm. «Tok manbayi – asinxron motor» elektr yuritma tizimining funksional sxemasi.

3.27- rasmda «tok manbayi – asinxron motor» elektr yuritma tizimining funksional sxemasi keltirilgan bo'lib, bunda: ISO' – induktiv-sig'imli o'zgartkich, TKR – tiristorli kuchlanish rostlagich o'zgartkichi, T_1 va T_2 – to'g'rilagichlar, A – asinxron motor, TG – taxogenerator, IFBT – impuls-faza boshqarish tizimi, R_N – rotor zanjiridagi aktiv qarshilik, K – oraliq kuchaytirgich. Rotor zanjiridagi R_N qarshilik ketma-ket ulangan T_1 va T_2 to'g'rilagichlarning ishlashini ta'minlaydi.

Sirpanishning ortishi bilan asinxron motor rotoridan $R_N$ga uzatilib so'nayotgan energiyaning qiymati ham ortadi va shu vaqtda ISO' dan uzatilayotgan energiya kamayadi. Bunday energiya taqsimi asinxron motor rotor tomonidan qo'shimcha qarshilik ulangandek qabul qilinadi. R_N qarshilikning qiymati quydagicha aniqlanadi:

$$R_N = r_2 \frac{s_{max} - s_{min}}{s_{min}} \frac{K_{2U}}{K_{2I}}, \qquad (3.14)$$

bunda: s_{max}, s_{min} – sirpanishning maksimal va minimal qiymatlari, r_2 – rotor fazasi chulg'amining aktiv qarshiligi, K_{2U} va K_{2I} – T_2 to'g'rilagichning kuchlanish va tok bo'yicha o'zgartirish koeffitsiyentlari.

Agar elektr yuritma tizimidagi ISO', TKR, IFBT va K – qurilmalarni inersiyasiz zvenolar deb qarasak, tezlik bo'yicha teskari bog'lanish yo'q bo'lgan hol uchun elektr yuritma tizimining holati quyidagi tenglamalar tizimi orqali ifodalanadi:

$$\left.\begin{aligned} M - M_c &= J_\Sigma \frac{d\omega}{dt}; \\ M &= C_M \Phi_1 I_2; \\ K_1 I_{ICU} r_2 &= I_1 r_2 + L_2 \frac{dI_2}{dt}; \\ I_{ISU} &= K_2 U_{vaz}, \end{aligned}\right\} \qquad (3.15)$$

bunda: M – motorning hosil qilayotgan aylantirish momenti; M_c – yuklanish momenti; J_Σ – elektr yuritmaning inersiya momenti; ω – motorning burchak tezligi; $K_1 = \frac{K_{1I}}{K_{2I}}$ – T_1 va T_2 to'g'rilagichlarning tok bo'yicha o'zgartirish koeffitsiyentlarining nisbati; $K_2 = K_k K_{IFBT} K_{TKR} K_{ISO'}$ – tizimning umumiy uzatish koeffitsiyenti, U_{vaz} – tizimning kirish qismiga beriladigan vazifalovchi kuchlanish.

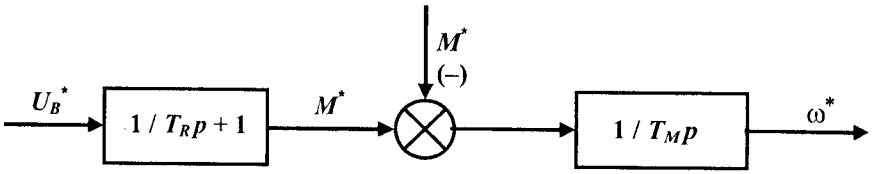
Tenglama tizimi yechimlarini umumiy ko'rinishga keltirish uchun barcha kattaliklar o'lchovsiz nisbiy kattaliklarga keltiriladi. Negizaviy kattaliklar deb, M_N va ω_N larni qabul qilamiz va ular asosida boshqa negizaviy kattaliklar hisoblanadi:

$$I_{2n} = \frac{M_N}{C_m \Phi_1},\ I_{ISU} = \frac{I_{2n}}{K_1},\ U_B = \frac{I_{ISO'N}}{K_2}. \qquad (3.16)$$

(3.15) tenglamani (3.16)ni hisobga olgan holda qaytadan yoziladi:

$$\left.\begin{aligned} M^* - M^*_c &= T_{MN}\frac{d\omega^*}{dt};\\ M^* &= I_2^*;\\ I^*_{ISO'} &= I_2^* + T_p\frac{dI_2^*}{dt};\\ I^*_{ISO'} &= U_3^*, \end{aligned}\right\} \qquad (3.17)$$

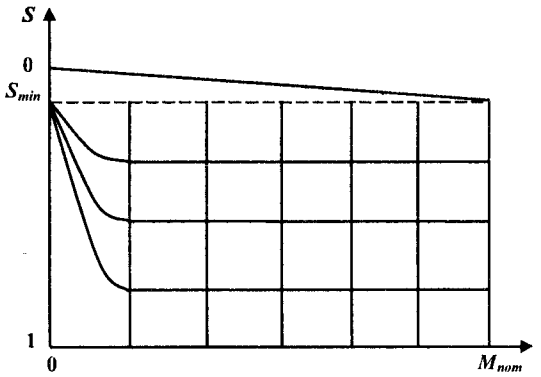
bunda: $T_{MN} = \frac{\omega_n}{M_N}$ – elektromexanik vaqt doimiyligi, $T_p = \frac{L_2}{r_2}$ – asinxron motor rotorining elektromagnit vaqt doimiyligi, L – rotor fazasining induktivligi.



3.28- rasm. «Tok manbayi – asinxron motor» elektr yuritmaning ochiq holatining tizim sxemasi.

(3.17) tenglamalar tizimini yechib, elektr yuritmaning ochiq holati uchun (3.28- rasm) quyidagi tenglamalar hosil bo'ladi:

$$M^* - M_c^* = T_{MN}\frac{d\omega}{dt};\quad U^*_{vaz} = M^* - T_p\frac{dM^*}{dt}. \qquad (3.18)$$



3.29- rasm. «Tok manbayi – asinxron motor» elektr yuritmaning mexanik tavsiflari.

M^* va U_B^* larni o'zaro bog'lanishi

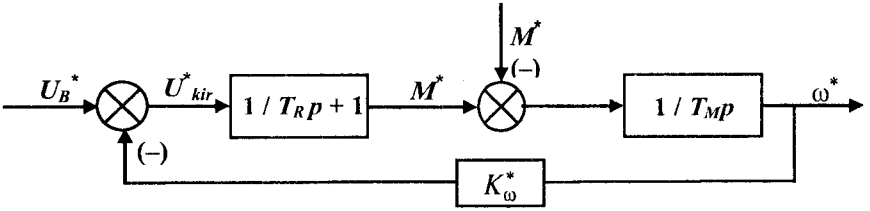
$$M^*(P) = \frac{U_B^*(P)}{T_p P + 1}, \tag{3.19}$$

turg'un holat uchun esa

$$M^* = U_B^* \tag{3.20}$$

ko'rinishda bo'ladi.

Shunday qilib, (3.20) tenglama asosida aytish mumkinki, agar asinxron elektr yuritma tizimi ochiq holatda va rotor zanjiri stabillashgan tok bilan ta'minlanadigan bo'lsa, u holda stabillashgan toklar qiymatiga mos stabillashgan momentlar hosil qilinib, tizim boshqariluvchi moment manbayi tizimga aylanadi. Bunday tizimning mexanik tavsiflari vertikal tavsiflar to'plamidan iborat bo'ladi (3.29- rasmning vertikal tavsiflari).



3.30- rasm. «Tok manbayi – asinxron motor» elektr yuritmaning yopiq holatining tizim sxemasi.

(2.43) tenglamalar tizimini tizimning yopiq holati uchun quyidagi ko'rinishda yozamiz (3.30- rasm):

$$\left.\begin{aligned} M^* - M^*_c &= T_{MN}\frac{d\omega^*}{dt};\\ U^*_{kir} &= M^* + T_p\frac{dM^*}{dt};\\ U^*_{kir} &= U^*_B - K^*_\omega\omega^*, \end{aligned}\right\} \qquad (3.21)$$

bunda: $K^*_\omega = \dfrac{K_\omega}{K_{\omega n}}$ – tezlik bo'yicha teskari bog'lanishning o'lchovsiz kattaligi; $K_\omega = \dfrac{U_{TG}}{\omega}$ – taxogeneratorning uzatish koeffitsiyenti, $K_{\omega n} = \dfrac{U_{B.N}}{\omega_n}$.

Agar chiqish ko'rsatkichi qilib tezlikni olsak, u holda

$$\omega^*(p) = \frac{U^*_B}{(T_p p+1)T_m p + K^*_\omega} - \frac{M^*_c(p)(T_p p+1)}{(T_p p+1)T_{mn}p + K^*_\omega} \qquad (3.22)$$

ko'rinishda bo'lib, turg'un rejim uchun esa quyidagi ko'rinishda bo'ladi:

$$\omega^* = \frac{U^*_B - M^*}{K^*_\omega}. \qquad (3.23)$$

(3.23) dan ko'rinib turibdiki, elektr yuritma yopiq boshqaruv tizimli bo'lsa, u holda elektr yuritmaning mexanik tavsiflari gorizontal mexanik tavsiflar to'plamidan iborat bo'ladi (3.29- rasmning gorizontal tavsiflari).

Tavsiflar soni U^*_B ga to'g'ri proporsional bo'lib, statik tavsifning bikrligi bir xil bo'ladi va uning qiymati $\dfrac{dM^*}{d\omega^*} = -K^*_\omega$ ga tengdir. Tavsiflarning boshlang'ich qismidagi nochiziqlikning bo'lishi asinxron motorlarning noan'anaviy rejimda ishlashi va konstruktiv alohidaligidan kelib chiqadigan xususiyatidir.

NAZORAT UCHUN SAVOLLAR

1. *Boshqariluvchi o'zgaruvchan tok o'zgartirgichlariga qanday o'zgartkichlar kiradi?*
2. *O'zgaruvchan tok kuchlanish rostlagichi qanday asosda ishlaydi?*
3. *Elektromashina chastota o'zgartkichi qanday elektr mashinalardan tashkil topgan?*
4. *Yarimo'tkazgichli chastota o'zgartkichlar necha turga bo'linadi?*
5. *Bilvosita chastota o'zgartkich qanday kuch elementlaridan tashkil topgan?*
6. *Avtonom invertorlar qanday vazifani bajaradi?*
7. *Avtonom invertorlarni boshqarish tizimlari qanday asosda shakllanadi?*
8. *Bevosita chastota o'zgartkichi qanday asosda ishlaydi?*
9. *Induktiv-sig'im parametrik o'zgartkichlarining ishlashi qanday fizik hodisaga asoslangan?*
10. *Induktivlik-sig'im o'zgartkichi va o'zgarmas tok motori tizimining mexanik tavsiflari nima uchun vertikal ko'rinishga ega?*
11. *Nima uchun induktivlik-sig'im o'zgartkichi va asinxron motor tizimi mexanik tavsiflarining boshlang'ich qismi nochiziqli xarakterga ega?*

4-bob. ELEKTROMASHINA KUCHAYTIRGICHLAR

4.1. UMUMIY MA'LUMOTLAR

Elektromashina kuchaytirgichlari (**EMK**) kollektorli o'zgarmas tok elektromashina turlariga kiradi.

EMKlar qo'llanilgan qo'zg'atish usuliga qarab ***bo'ylama magnit maydonini kuchaytiruvchi*** va ***ko'ndalang magnit maydonini kuchatiruvchi*** turlarga bo'linadi.

Qo'zg'atish magnit oqimining yo'nalishi mashinaning bo'ylama o'qi bo'yicha yo'naltirilgan bo'ylama magnit maydonini kuchaytiruvchilarga quyidagi EMKlar kiradi:

1) mustaqil qo'zg'aluvchan EMK;
2) o'zi qo'zg'aluvchan EMK;
3) ikki mashinali kuchaytirgichlar;
4) ikki kollektorli EMK;
5) ikki va uch pog'onali bo'ylama maydonli EMK.

Qo'zg'atish magnit oqimining yo'nalishi mashinaning ko'ndalang o'qi bo'yicha yo'naltirilgan ko'ndalang magnit maydonini kuchaytiruvchilarga quyidagi EMKlar kiradi:

1) yakor chulg'ami dimetrial qadamli bo'lgan EMK;
2) yakor chulg'ami yarim dimetrial qadamli bo'lgan EMK;
3) magnit tizimi ajratilgan EMK.

EMKni boshqarish quvvatining katta yoki kichikligiga qarab mos ravishda uning massasi va og'irligi ham o'zgaradi. Shuning uchun ham ularning kuchaytirish koeffitsiyentlari EMKlar uchun asosiy ko'rsatkichdir. EMKlarning kuchaytirish koeffitsiyentlari quvvat, kuchlanish va tok bo'yicha koeffitsiyentlaridan tashkil topgan bo'ladi.

EMKning quvvat bo'yicha kuchaytirish koeffitsiyenti kuchaytirgichning chiqishidagi quvvatning boshqarish quvvatiga bo'lgan nisbatiga teng:

$$k_p = \frac{P_{ch}}{P_k}. \qquad (4.1)$$

EMKning kuchlanish bo'yicha kuchaytirish koeffitsiyenti kuchaytirgichning chiqishi zanjiridagi kuchlanishning boshqarish zanjiridagi kuchlanishga bo'lgan nisbatiga teng:

$$k_U = \frac{U_{ch}}{U_k}. \qquad (4.2)$$

EMKning tok bo'yicha kuchaytirish koeffitsiyenti kuchaytirgichning chiqishi zanjiridagi tokning boshqarish zanjiridagi tokka bo'lgan nisbatiga teng:

$$k_I = \frac{I_{ch}}{I_k}. \qquad (4.3)$$

Kuchaytirgichning quvvat bo'yicha kuchaytirish koeffitsiyenti esa ikkinchi tomondan kuchlanish va tok bo'yicha kuchaytirish koeffitsiyentlarining ko'paytmasiga teng:

$$k_P = k_U \cdot k_I. \qquad (4.4)$$

EMKlarning quvvat bo'yicha kuchaytirish koeffitsiyentlari $k_P = (10^3 \div 10^5)$ salmoqli qiymatlarga ega bo'ladi.

Elektr zanjirlarining vaqt doimiyliklari bilan xarakterlanadigan EMKning tezkorligi ham uni ishlatish jarayonida katta rol o'ynaydi.

Vaqt doimiyliga rostlash jarayonida o'zgarib turadigan magnit maydoni energiyasi qiymati orqali aniqlanadi. Elektr zanjirning vaqt doimiyligi

$$T = \frac{L}{R},$$

bunda: L – zanjirning induktivligi; R – zanjirning aktiv qarshiligi.

EMKlar uchun vaqt doimiyligi o'rtacha $T = 0{,}02 - 0{,}2$ s ni tashkil etadi.

EMKlar elektr yuritmalarning avtomatik boshqarish va rostlash tizimlarida asosan quvvat kuchaytirgichi sifatida qo'llanilib kelmoqda. EMKlarga qo'yiladigan talablardan asosiysi ishonchli ishlashi va tavsiflarining stabil bo'lishi.

Kichik quvvatli elektr yuritmalarda ko'ndalang maydonli EMKlar qo'llaniladi va ba'zi alohida elektr yuritmalarda o'zi qo'zg'aluvchan EMK lardan foydalaniladi.

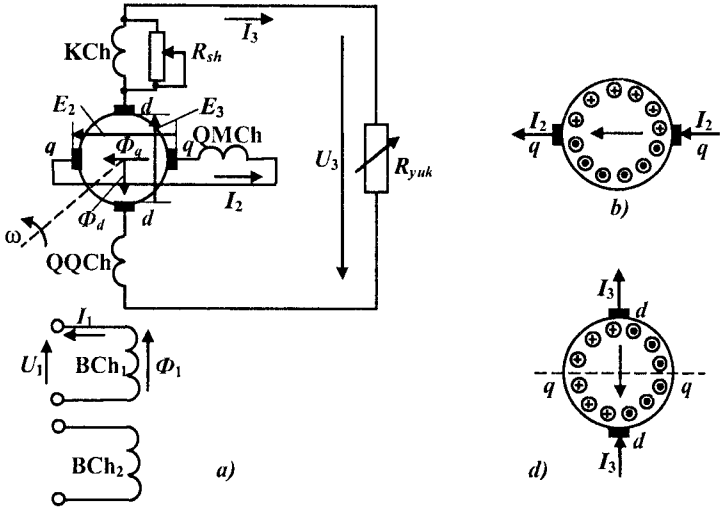
Mustaqil qo'zg'aluvchan EMK larning konstruktiv tuzilishi va elektr sxemasi mustaqil qo'zg'aluvchan o'zgarmas tok generatoridan farq qilmaydi. Mustaqil qo'zg'aluvchan EMKlarning kuchaytirish koeffitsiyentlari nisbatan past bo'lgani uchun amaliyotda kam qo'llaniladi. Ammo motor tezligini keng diapazonda rostlash talab etiladigan «generator – motor» tizimida generator mustaqil qo'zg'aluvchan EMK sifatida ishlatiladi. Ko'p pog'onali bo'ylama maydonli EMKlar kichik quvvatli elektr yuritmalarda deyarli qo'llanilmaydi.

4.2. KO'NDALANG MAYDONLI ELEKTROMASHINA KUCHAYTIRGICHINING ISHLASH ASOSI

Ko'ndalang maydonli EMKlarning yakorida hosil qilinadigan ko'ndalang magnit oqimi asosiy qo'zg'atish magnit oqimi bo'ladi.

4.1- *a* rasmda ko'ndalang maydonli EMKning sxemasi keltirilgan. Ko'ndalang maydonli EMK konstruktiv jihatdan o'zgarmas tok generatori tarzida tayyorlangan bo'lib, farqi esa mashinaning ko'ndalang *qq* o'qi bo'yicha qo'shimcha komplekt cho'tkalar o'rngatilgan va ularning uchlari qisqa tutashtirilgan. EMKning statorida bir qancha chulg'amlar joylashtirilgan. Qutblarning bo'ylama *dd* o'qi bo'yicha boshqarish chulg'amlari BCh joylashgan (odatda bu chulg'amlarning soni ikki yoki to'rtga teng bo'ladi). Xuddi shu o'qda kompensatsiyalovchi chulg'am KCh ham joylashtiriladi. Kuchaytirgichning kompensatsiyalash darajasini rostlash maqsadida bu chulg'amga parallel o'zgaruvchan qarshilik R_{sh} ulangan.

Kommutatsiya jarayonini yaxshilash uchun shu zanjirga qo'shimcha qutblarning chulg'ami QQCh ulangan. Ba'zi hollarda kommutatsiya jarayonini yaxshilash maqsadida kichik qarshilikka ega bo'lgan ko'ndalang zanjirga yakor bilan ketma-ket ko'ndalang qo'shimcha magnitlovchi chulg'am QMCh ulanadi.



4.1- rasm. Ko'ndalang maydonli EMK ning sxemasi (a), yakordagi ko'ndalang maydon hosil qiluvchi tokning yo'nalishi (b) va bo'ylama maydon hosil qiluvchi tokning yo'nalishlari (d).

EMKning ishlash asosini ko'rib chiqamiz. Harakatga keltiruvchi motor $\omega = \omega_H$ tezlik bilan uning yakorini aylantirmoqda va BCh lardan biriga U_1 o'zgarmas tok kuchlanishi berilgan. Shunda uncha katta bo'lmagan qo'zg'atish magnit oqimi Φ_1 ta'sirida yakorning ko'ndalang zanjiri qq da EYuK $E_2 = k_M \omega \Phi_1$ hosil bo'ladi va uning qiymati ham mos ravishda kichik bo'ladi (k_M – mashinaning konstruktiv koeffitsiyenti). Yakorning ko'ndalang zanjiri kichik qarshilikka ega bo'lgani uchun ham undan o'tayotgan tok I_2 ning qiymati katta bo'ladi.

4.1- *b* rasmda ko'ndalang magnit oqim Φ_q ni hosil qiluvchi tok I_2 ning yakor o'tkazgichlaridan o'tish yo'li ko'rsatilgan. Bu magnit oqim ta'sirida yakorning bo'ylama zanjiri dd da $E_3 = k_M \omega \Phi_q$ hosil bo'ladi va bu EYuK bo'ylama cho'tkalarning uchlariga uzatiladi. EYuK E_3 ta'sirida I_3 toki yuzaga keladi va natijada yuklanish R_{yuk} da kuchlanish pasayishi U_3 sodir bo'ladi.

4.1- *d* rasmda boshqaruv magnit oqimi Φ_1 ga qarama-qarshi yo'nalgan bo'ylama magnit oqimi Φ_d ni hosil qiluvchi tok I_3 ning yakor o'tkazgichlaridan o'tish yo'li ko'rsatilgan. Agar o'z vaqtida chora ko'rilmasa katta qiymatdagi Φ_d magnit oqimi kuchaytirgichni magnitsizlashtirishi va hech qanday kuchaytirish sodir bo'lmasligi mumkin. Bo'ylama magnit oqimini kompensatsiyalash (muvozanatlashtirish) uchun statorda kompensatsiya chulg'ami KCh joylashtirilgan.

Yakorning bo'ylama magnit oqimi Φ_d magnit yurituvchi kuch (MYuK)ga proporsional

$$F_d = I_3 \omega_{ya}, \qquad (4.5)$$

bunda: ω_{ya} – yakor chulg'ami parallel shoxobchalaridagi o'ramlar soni.

Bo'ylama MDS F_d va unga proporsional bo'lgan magnit oqimi Φ_d ning o'zgarishi tok I_3 ga bog'liq ekanligi (4.5)dan ko'rinib turibdi, ya'ni uning qiymati yuklanish R_{yuk} ning qiymatiga bog'liq. Agar kompensatsiyalovchi chulg'am (KCh)ning MYuK F_k ham tok I_3 ga bog'liq bo'lgandagina bu chulg'amning kompensatsiyalash xususiyati samarali bo'ladi. Shuning uchun KCh chulg'ami mashinaning bo'ylama zanjiriga yakor chulg'amiga ketma-ket ulanadi. Shunda kompensatsiyalovchi chulg'am hosil qilayotgan MYuK

$$F_K = I_3 \omega_K, \qquad (4.6)$$

bunda: ω_K – kompensatsiyalovchi chulg'amning o'ramlari soni.

Kuchaytirgichning kompensatsiyalanganlik darajasi quyidagi kompensatsiyalash koeffitsiyenti bilan aniqlanadi:

$$k = F_k / F_d. \tag{4.7}$$

EMKning ish rejimlari:

1) $k = 1$, mashina to'liq kompensatsiyalangan, ya'ni yakorning bo'ylama va kompensatsiya chulg'ami MYuKlari o'zaro teng;

2) $k > 1$, mashina to'liq kompensatsiyalanmagan, ya'ni yakorning bo'ylama MYuK kompensatsiya chulg'ami MYuKidan katta;

3) $k < 1$, mashina to'liq o'ta kompensatsiyalangan, ya'ni yakorning bo'ylama MYuK kompensatsiya chulg'ami MYuKidan kichik.

Odatda, EMKlar ozgina o'ta kompensatsiyalangan holda ishlab chiqariladi, ya'ni kompensatsiyalash koeffitsiyenti $k = 1{,}05$ bo'ladi.

4.3. KO'NDALANG MAYDONLI ELEKTROMASHINA KUCHAYTIRGICHNING ASOSIY TAVSIFLARI

EMKning asosiy ko'rsatkichi uning quvvat bo'yicha kuchaytirish koeffitsiyentidir. Ko'ndalang maydonli EMKlar ikki bosqichli kuchaytirgich bo'lgani uchun ham ularning quvvat bo'yicha kuchaytirish koeffitsiyentining qiymati yuqori bo'ladi. Birinchi kuchaytirish bosqichi bu ***boshqarish chulg'ami – ko'ndalang cho'tkalarning qisqa tutashtirilgan zanjiri*** bo'lsa, ikkinchi kuchaytirish bosqichi esa ***ko'ndalang cho'tkalarning qisqa tutashtirilgan zanjiri – bo'ylama cho'tkalarning chiqish zanjiri*** bo'ladi. Shuning uchun ham kuchaytirgichning quvvat bo'yicha umumiy kuchaytirish koeffitsiyenti har ikkala kuchaytirish bosqichlari kuchaytirish koeffitsiyentlarining ko'paytmasidan iborat bo'ladi:

$$k_P = k_{P1} k_{P2} = \frac{U_3 I_3}{U_1 I_1} = \frac{I_3^2 R_{yuk}}{I_1^2 R_1}, \tag{4.8}$$

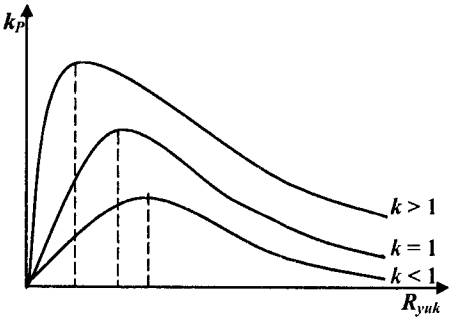
bunda: R_1 – boshqarish chulg'amining aktiv qarshiligi.

Har bir bosqichdagi quvvat bo'yicha kuchaytirish koeffitsiyentlari mashinaning asosiy ko'rsatkichlari va yuklanishning qiymatlari asosida aniqlanishi mumkin.

Shuni alohida qayd qilish kerakki, ko'ndalang maydonli EMKlarning quvvat bo'yicha kuchaytirish koeffitsiyentining qiymati magnit tizimining to'yinmaganlik darajasi qancha past bo'lsa va aylanish tezligi qancha yuqori bo'lsa shuncha katta bo'ladi. Tezlikni haddan tashqari orttirib yuborish kommutatsiya sharoitini yomonlashishiga olib keladi. Shuningdek, quvvat bo'yicha

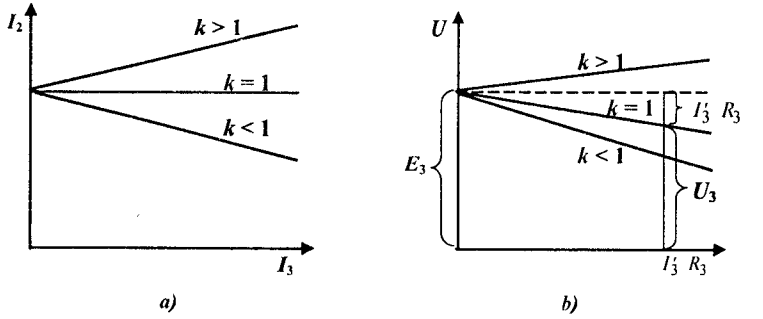
kuchaytirish koeffitsiyenti boshqarish chulg'ami va ko'ndalang zanjirlarning vaqt doimiyliklariga to'g'ri proporsionaldir.

Ko'ndalang maydonli EMKlarning quvvat bo'yicha kuchaytirish koeffitsiyentining qiymatiga kuchaytirgichning kompensatsiyalanganlik darajasi va yuklanish qarshiligining ta'siri kattadir (4.2- rasm).



4.2- rasm. Ko'ndalang maydonli EMK quvvat bo'yicha kuchaytirish koeffitsiyentining yuklanish qarshiligiga bog'liqlik tavsifi.

Ko'ndalang maydonli EMKning ***tashqi va boshqaruv tavsiflari*** uning asosiy statik tavsiflaridir. Kuchaytirgichning tashqi tavsiflari deb, boshqaruv chulg'amidagi kuchlanishning hamda aylanish tezligining o'zgarmas qiymatlarida, ya'ni $U_1 = \text{const}$ va $\omega = \text{const}$ qiymatlaridagi quriladigan $I_2 = f(I_3)$ va $U_3 = f(I_3)$ tavsiflarga aytiladi (4.3- rasm).



4.3- rasm. Ko'ndalang maydonli EMKning tashqi tavsiflari.

4.3- *a* rasmda ko'ndalang zanjirdagi tok I_2 ning bo'ylama zanjir toki I_3, ya'ni yuklanish toki ta'sirida o'zgarishi tavsiflari berilgan. Bu tavsiflar kompensatsiyalashning har uchala holatlari uchun qurilgan bo'lib, $k = 1$ bo'lganida

mashinaning bo'ylama o'qi bo'ylab faqat boshqaruv chulg'amining MYuK ta'sir etgani uchun tok I_2 ning qiymati I_3 ga bog'liq bo'lmay o'zgarmasligicha qoladi. $k > 1$ bo'lganida mashinaning bo'ylama o'qi bo'ylab boshqaruv chulg'ami MYuK dan tashqari kompensatsion chulg'am MYuK ning bir qismi ham ta'sir etgani uchun o'zgartkichning tashqi tavsifi I_3 ortgani sari chiziqli ortib boradi. $k < 1$ bo'lganida esa mashinaning bo'ylama o'qi bo'ylab yakor bo'ylama maydonining bir qismi va kompensatsion chulg'am kompensatsiyalanmagan MYuK ta'sir etgani uchun o'zgartkichning tashqi tavsifi I_3 ortgani sari chiziqli kamayib boradi.

Keltirilgan tashqi tavsiflar asosida kuchaytirgichni kerakli darajadagi kompensatsiyaga rostlash mumkin bo'ladi.

4.3- *b* rasmda kuchaytirgichning uchala kompensatsiyalash holatlari uchun tashqi tavsiflari $U_3 = f(I_3)$ keltirilgan.

Chiqish kuchlanishi yuklanish qarshiligida to'liq kompensatsiyalanganida

$$U_3 = E_3 - I_3 R_3, \tag{4.9}$$

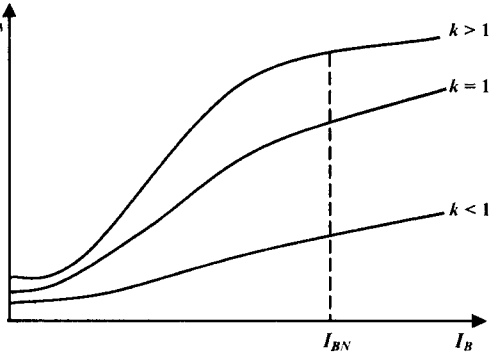
bunda: E_3 – salt yurish EYuK.

$k = 1$ holati uchun kuchaytirgichning kuchlanishi tok I_3 ortishi bilan kamayib boradi va uning qiymati EYuK E_3 dan EMKning bo'ylama zanjiri ichki qarshiligi R_3 dagi kuchlanish pasayishi qiymatiga farq qiladi.

$k > 1$ holati uchun kuchaytirgichning kuchlanishi tok I_3 ortishi bilan o'zgarmasdan qolishi yoki oshishi mumkin.

$k < 1$ holati uchun kuchaytirgichning kuchlanishi tok I_3 ortishi bilan $k = 1$ holatidagiga nisbatan kamayish shiddati tezroq bo'ladi.

EMKning boshqaruv tavsiflari burchak tezligi $\omega = \text{const}$ va $R_{yuk} = \text{const}$ bo'lganidagi chiqish kuchlanishi va tokining boshqaruv tokiga bog'liq ravishda o'zgaradigan tavsiflariga aytiladi (4.4- rasm).



4.4- rasm. Ko'ndalang maydonli EMKning boshqaruv tavsiflari.

Bu tavsiflarning ko'rinishi mashinaning magnitlanish tavsifining shakliga bog'liqdir. Kichik boshqaruv toklarida tavsiflarning nochiziqli bo'lishi va mos ravishda kuchaytirish

koeffitsiyentlarining o'zgaruvchan bo'lishi mavjud qoldiq EYuK bilan izohlanadi. Katta qiymatli boshqaruv toklarida tavsiflarning shuningdek, ko'rsatkichlarga ega bo'lishi esa magnit tizimining to'yinishi bilan bog'liqdir.

EMKlarning tezkorligi elementlarining vaqt doimiyliklari orqali aniqlanadi:

1) boshqaruv chulg'ami uchun $T_1 = \frac{L_1}{R_1}$;

2) ko'ndalang zanjir uchun $T_2 = \frac{L_2}{R_2}$;

3) bo'ylama zanjir uchun $T_3 = \frac{L_3}{R_3 + R_{yuk}}$;

4) kompensatsiyalash konturi uchun $T_K = \frac{L_K}{R_K}$.

Agar amalda $R_{yuk} \gg R_3$ ekanligini va vaqt doimiyligi T_3 qiymatining qolgan uch vaqt doimiylilari qiymatlaridan ancha kichikligidan kelib chiqqan holda uning qiymatini hisobga olmaslik mumkin. Kuchaytirgichning tezkorligiga statorida joylashgan chulg'amlarning o'zaro ta'siri hamda ularning yakorda joylashgan chulg'am bilan ta'sirlari katta rol o'ynaydi.

O'tkinchi jarayonlarni hisoblashda chulg'amlarning barcha o'zaro ta'sirlarini hisobga olishga hojat yo'q, chunki ko'pgina hollarda ularning ta'sirlari sezilarli bo'lmaydi.

Agar boshqaruv chulg'ami bilan kompensatsion chulg'amlarining o'zaro magnitli bog'lanishi koeffitsiyentini birga teng deb qarasak, u holda EMK ning kirishidagi kuchlanishning vaqt bo'yicha o'zgarishi differensial tenglamasini operator ko'rinishda quyidagicha yozish mumkin:

$$k_U U_1 = (T_1 + T_K)T_2 p^2 e_3 + (T_1 + T_2 + T_K)pe_3 + e_3. \qquad (4.10)$$

Ko'ndalang maydonli EMK ning uzatish funksiyasi (4.10) tenglama asosida quyidagi ko'rinishda yoziladi:

$$W(p) = \frac{e_3}{U_1} = \frac{k_U}{1 + (T_1 + T_2 + T_K)p + (T_1 + T_K)T_2 p^2}. \qquad (4.11)$$

Ko'ndalang maydonli EMK larning asosiy afzalliklari:

1) quvvat bo'yicha kuchaytirish koeffitsiyenti yuqori;

2) kirish zanjiri quvvati kichik;

3) tezkorligi yetarli darajada, ekvivalent elektromagnit vaqt doimiyligi 0,1 – 0,2 s ni tashkil etadi;

4) ishonchli va uzoq muddat ishlashi yetarli darajada hamda quvvati keng oraliqda o'zgaradi;

5) kompensatsiyalash darajasini rostlab tavsiflarini o'zgartirish imkoni bor.

Ko'ndalang maydonli EMK larning asosiy kamchiliklari:

1) quvvatlari bir xil bo'lgan holda uning og'irligi va o'lcham ko'rsatkichlari o'zgarmas tok generatorlarnikiga nisbatan kattaroq;

2) gisterezis hisobiga qoldiq kuchlanishning bo'lishi.

NAZORAT UCHUN SAVOLLAR

1. *O'zgarmas tok mashinasi qanday holda generator bo'lib ishlaydi?*
2. *Elektromashina kuchaytirgichining o'zgarmas tok generatoridan farqi nimada?*
3. *Elektromashina kuchaytirgichlari necha turga bo'linadi?*
4. *Ko'ndalang maydonli elektromashina kuchaytirgichidagi hosil qilinadigan ko'ndalang magnit maydon nima uchun kerak?*
5. *Ko'ndalang maydonli elektromashina kuchaytirgichining qaysi ko'rsatkichlari bo'yicha kuchaytirish koeffitsiyentlari hisoblanadi?*
6. *Ko'ndalang maydonli elektromashina kuchaytirgichining boshqaruv tavsifi qanday quriladi?*
7. *Ko'ndalang maydonli elektromashina kuchaytirgichining tezkorligi qanday vaqt doimiyliklariga bog'liq?*
8. *Ko'ndalang maydonli elektromashina kuchaytirgichi tashqi tavsifining nishabligi qanday ko'rsatkichlarga bog'liq?*
9. *Ko'ndalang maydonli elektromashina kuchaytirgichining quvvat bo'yicha kuchaytirish koeffitsiyenti tavsifi yuklanish qarshiligi bilan qanday bog'langan?*
10. *Ko'ndalang maydonli elektromashina kuchaytirgichining asosiy afzalliklari va kamchiliklari nimalardan iborat?*

5-bob. TAXOGENERATORLAR

5.1. UMUMIY MA'LUMOTLAR

Generator rejimida ishlaydigan va aylanish tezligini proporsional elektr signaliga o'zgartiruvchi mikromashinalar ***taxogeneratorlar*** deb ataladi. Bunda taxogeneratorning kirish kattaligi – valning aylanish tezligi ω chiqish kattaligi – kuchlanish U_{chiq} ga o'zgartiriladi.

Ideal taxogeneratorning chiqish tavsifi tenglamasi quyidagi umumiy ko'rinishga ega

$$U_{chiq} = k_{KC}\omega = k_{KC}\frac{d\Theta}{dt}. \qquad (5.1)$$

Bunda: Θ – taxogenerator rotorining burilish burchagi; k_{KC} – statik kuchaytirish koeffitsiyenti.

(5.1) tenglamadan ko'rinib turibdiki, agar funksiyani rotorning burilish burchagi ko'rinishida berilsa, u holda taxogeneratordan elektromexanik differensiallovchi qurilma sifatida ham foydalanish mumkin.

Konstruksiyasi va ishlash asosiga ko'ra taxogeneratorlar ***o'zgarmas tok*** va ***asinxron*** (sinxron taxogeneratorlar esa deyarli qo'llanilmaydi) guruhlarga bo'linadi.

Taxogeneratorlarga qo'yiladigan asosiy talablar:

1) amplituda bo'yicha minimal xatolik, ya'ni chiqish tavsifining chiziqli bog'liqlikdan farqlanishi;

2) minimal faza xatoligi, ya'ni taxogenerator ish rejimi o'zgargandagi chiqish kuchlanishi fazasining minimal o'zgarishi;

3) kuchaytirish koeffitsiyentining yuqori bo'lishi;

4) rotori inersiya momentining kichik bo'lishi;

5) elektromagnit vaqt doimiyligining kichik bo'lishi.

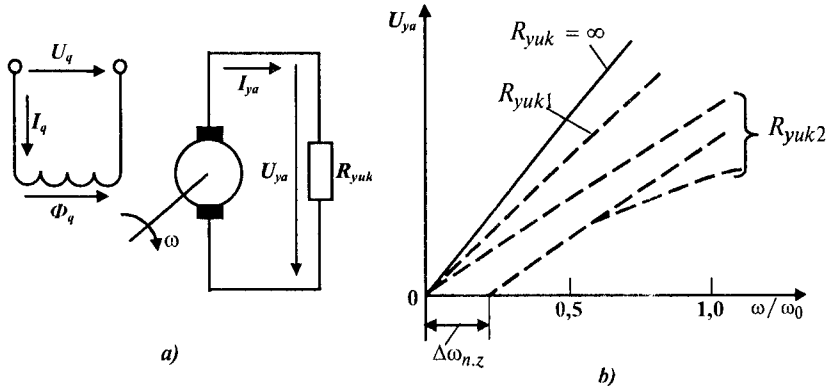
Amplituda bo'yicha xatolik ΔU ning qiymati ideal chiqish tavsifidagi aylanish tezligiga mos keluvchi chiqish kuchlanishi bilan haqiqiy chiqish kuchlanishi farqini bildiradi.

Faza bo'yicha xatolik $\Delta\beta$ ning qiymati qo'zg'atish kuchlanishi vektori va ideal taxogeneratorning chiqish kuchlanishi vektori orasidagi aylanish tez-

ligiga bog'liq bo'lmagan burchak β bilan haqiqiy burchak qiymati orasidagi farqni bildiradi.

5.2. O'ZGARMAS TOK TAXOGENERATORLARI

O'zgarmas tok taxogeneratorining ishlashi asosi va konstruktiv tuzilishi jihatidan mustaqil qo'zg'aluvchan yoki o'zgarmas magnitli qo'zg'aluvchan o'zgarmas tok kollektorli mashinalardan farq qilmaydi (5.1- *a* rasm).



5.1- rasm. O'zgarmas tok generatorining sxemasi va chiqish tavsiflari.

Qo'zg'atish magnit oqimi Φ ning va yuklanish R_{yuk} larning o'zgarmas qiymatlarida yakori uchidagi kuchlanish U ning yakor aylanish tezligi ω ga bog'liq o'zgarishi tavsifi o'zgarmas tok generatorining chiqish tavsifi deyiladi. Taxogenerator yakorida hosil qilinadigan EYuK quyidagi formula bilan aniqlanadi:

$$E_{ya} = k_E \omega = k_E \frac{d\Theta}{dt}, \qquad (5.2)$$

bunda: $k_E = k\Phi$ — mashina doimiyligi; k — mashinaning konstruktiv koeffitsiyenti.

(5.2) ifoda taxogeneratorning yakor zanjiri uziq holdagi salt yurishdagi chiqish tavsifidir. Bu chiziqli tavsif ($R_{yuk} = \infty$) 5.1- *b* rasmda tasvirlangan.

Qo'zg'atish magnit oqimining o'zgarmas qiymatida taxogenerator yakori uchlarini ma'lum ichki qarshilikka ega bo'lgan elektr o'lchov asbobi yoki qurilmaga ulanganida chiqish kuchlanishi yakor EYuKdan yakor zanjiridagi kuchlanish pasayishi qiymatiga kam bo'ladi:

$$U_{ya} = E_{ya} - I_{ya} R_{ya.z}, \qquad (5.3)$$

bunda: I_{ya} – yakor toki; $R_{ya.z}$ – yakor zanjirining aktiv qarshiligi.

5.1- *b* rasmda yuklanish qarshiligining ikki $R_{yuk1} > R_{yuk2}$ qiymatlari va cheksiz bo'lgan hollari uchun taxogeneratorning tashqi tavsiflari keltirilgan. $\Delta\omega_{n.z}$ – kuchaytirish koeffitsiyenti va cho'tkalarning qanday metalldan yasalganligiga bog'liq bo'lgan taxogeneratorning nosezgirlik zonasi.

O'zgarmas tok taxogeneratorlarning asosiy afzalliklari:

1) chiqish tavsifining yuqori darajada chiziqliligi;

2) faza bo'yicha xatolikning yo'qligi.

O'zgarmas tok taxogeneratorlarning asosiy kamchiliklari:

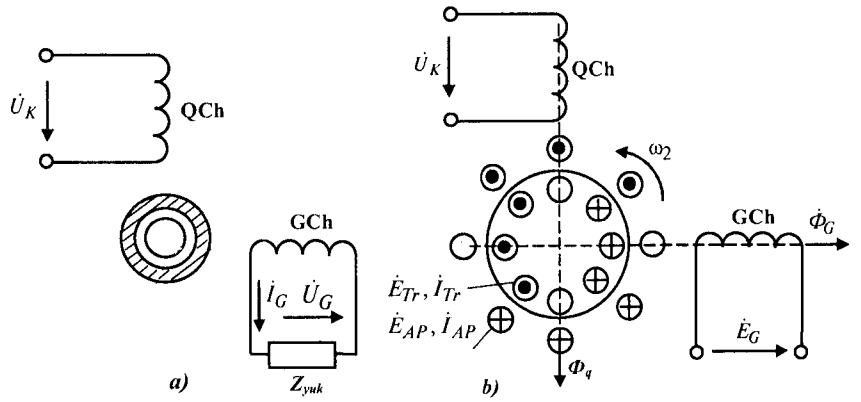
1) kollektor – cho'tka tizimida sirpanuvchi kontaktning hosil bo'lishi;

2) radioto'siqlardan himoyalash va chiqish kuchlanishi pulsatsiyalarini silliqlash uchun filtrlardan foydalanishning zarurligi;

3) konstruksiyasining murakkabligi va tannarxining yuqoriligi.

5.3. ASINXRON TAXOGENERATORLAR

Avtomatika va hisoblash-yechish qurilmalarida konstruktiv tuzilishi nomagnit ichi bo'sh rotorli ijrochi asinxron mashinadan farq qilmaydigan asinxron generatorlar ishlatiladi.



5.2- rasm. Asinxron taxogeneratorning sxemalari.

5.2- a rasmda asinxron taxogeneratorning sxemasi tasvirlangan. Asinxron taxogeneratorning statorida joylashgan qo'zg'atish chulg'ami (QCh)ga

amplitudasi va chastotasi o'zgarmas bo'lgan qo'zg'atish kuchlanishi U_Q beriladi. Taxogenerator statorida joylashgan ikkinchi chulg'am generator chulg'ami (GCh) deb ataladi va uning uchlaridan chiqish signali U_G olinadi. Umuman olganda bu chulg'am tashqi yuklanish qarshiligi R_{yuk} bilan tutashgan bo'ladi.

Asinxron generatorning ishlashini 5.2- *b* rasmdagi ekvivalent sxemasi asosida ko'rib chiqamiz. Ishlash asosini tahlil qilishni soddalashtirish maqsadida rotorini ma'lum sonli o'ramlarning uchlarini o'zaro qisqa tutashtirilgan va tashqi generator chulg'ami (GCh)ni tashqi qarshilikka ulanmagan deb qabul qilamiz. Rotori qo'zg'almas holda bo'lganida taxogeneratorni transformator deb qarash mumkin, bunda birlamchi chulg'am deb QCh ni olsak, ikkilamchi chulg'am deb rotor chulg'amini olish mumkin. QCh chulg'ami hosil qiladigan MYuK rotorni kesib o'tishi natijasida uning o'ramlarida transformator EBK E_{Tr} ni (shartli ravishda ichki o'ramlar halqasida ko'rsatilgan) yuzaga keltiradi. Rotor qisqa tutashtirilgan bo'lgani uchun bu o'ramlardan transformator toki I_{Tr} o'tib qo'zg'atish chulg'ami (QCh)ning magnit oqimiga teskari yo'nalgan magnit maydonini yuzaga keltiradi. Natijada chastotasi qo'zg'atish kuchlanishi chastotasiga mos bo'lgan qo'zg'atish o'qida magnit oqimlarining natijaviy magnit oqimi Φ_Q o'rnatiladi. Qo'zg'atish o'qida o'rnatilgan magnit oqimi vektorining yo'nalishi generator o'qiga perpendikular bo'lgani uchun generator chulg'amidagi EYuK E_G ning qiymati nolga teng bo'ladi.

Taxogenerator rotori ω_2 burchak tezlik bilan harakatga keltiriladi. Taxogenerator rotori simmetrik bo'lgani uchun transformator EYuK qiymati o'zgarmasdan qoladi. Qo'zg'atish o'qi rotori to'xtatilgan holdagidek rotor tezligiga bog'liq bo'lmagan magnit oqimi ta'sirida bo'ladi. Rotor o'ramlari bu magnit oqimida aylanadi va natijada bu o'ramlarda aylanish EYuK hosil bo'ladi:

$$\dot{E}_{ayl} = k\omega_2 \dot{\Phi}_q, \qquad (5.4)$$

bunda: k – mashinaning konstruktiv ko'rsatkichlariga bog'liq bo'lgan koeffitsiyent.

(5.4) ifodadan ko'rinib turibdiki, Φ_q = const bo'lganida E_{ayl} ning qiymati rotorning aylanish tezligi bilan chiziqli bog'langan va uning chastotasi qo'zg'atish kuchlanishi chastotasiga tengdir. EYuK E_{ayl} ta'sirida rotor chulg'amidan $\dot{I}_{ayl}$ oqadi va u generator chulg'ami o'qi bo'ylab $\dot{\Phi}_G$ oqimini yuzaga keltiradi. $\dot{I}_{ayl}$ tokining qiymati to'g'ridan-to'g'ri $\dot{E}_{ayl}$ ga bog'liq

bo'lgani uchun ham bu tok hosil qilgan magnit $\dot{\Phi}_G$ ning qiymati rotorning aylanish tezligi ω_2 ga to'g'ri proporsional bo'ladi. Magnit oqimi $\dot{\Phi}_G$ generator GCh da transformator EYuK $\dot{E}_G$ ni hosil qiladi va uning haqiqiy qiymati quyidagi tenglama bilan aniqlanadi:

$$E_G = 4{,}44 k_{chul.g} w_G f \Phi_G, \qquad (5.5)$$

bunda: w_G – generator chulg'ami (GCh)ning o'ramlar soni; $k_{chul.g}$ – generator chulg'ami (GCh)ning chulg'am koeffitsiyenti.

Φ_G ning qiymati rotor aylanish tezligiga to'g'ri proporsional bo'lgani uchun

$$\Phi_G = k_1 \omega_2,$$

(5.5) tenglamani o'zgartirilib, quyidagi ko'rinishda yoziladi:

$$E_G = k_G \omega_2 = k_G \frac{d\Theta}{dt}, \qquad (5.6)$$

bunda: $k_G = 4{,}44 k_{chul.g} w_G f k_1$; k_1 – taxogeneratorning konstruktiv ko'rsatkichlari va qo'zg'atish kuchlanishiga bog'liq bo'lgan koeffitsiyent.

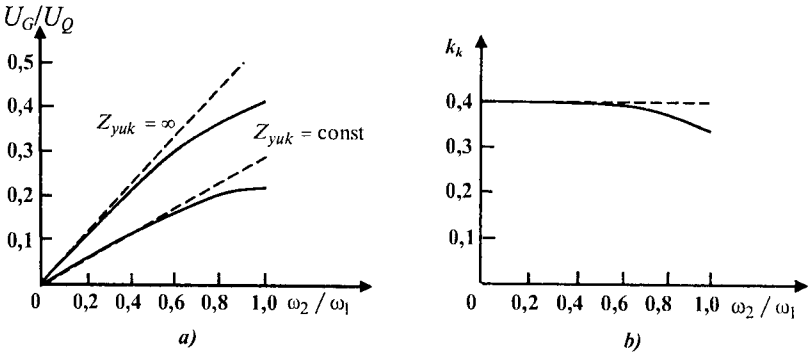
(5.6) tenglamaning tahlili shuni ko'rsatadiki, taxogeneratorning EYuK E_G ning qiymati taxogenerator rotori aylanishi tezligiga to'g'ri proporsional ekanligini bildiradi.

Asinxron taxogeneratorning tashqi tavsifini nisbiy kattaliklarda, ya'ni generator chulg'ami chiqishidagi kuchlanishning qo'zg'atish chulg'amiga berilayotgan qo'zg'atish kuchlanishiga nisbati U_G / U_Q ning rotor tezligining nisbiy o'zgarishi ω_2/ω_1 (bunda: ω_1 – sinxron tezlik) ga bog'liq tavsifi 5.3- *a* rasmda keltirilgan.

5.3- *b* rasmda asinxron taxogeneratorning statik kuchaytirish koeffitsiyenti $k_k = dU_G / d\omega_2$ ning rotor aylanish tezligi ω_2 / ω_1 ga bog'liq o'zgarish tavsifi berilgan. Tavsifdan ko'rinib turibdiki, rotor tezligining ortishi bilan real statik kuchaytish koeffitsiyentining kamayishi chiqish zanjiridagi aktiv va reaktiv qarshiliklar ta'sirida hamda qoldiq EYuK ning mavjudligi natijasida ro'y beradi.

Asinxron taxogeneratorlarning o'zgarmas tok taxogeneratorlariga nisbatan asosiy afzalliklari: sirpanuvchi kontaktlarning yo'qligi sababli ishonchlilik darajasi yuqori; ish jarayonida radioto'siq elektromagnit to'lqinlar yuzaga kelmaydi; konstruktiv tuzilishi sodda.

Asinxron taxogeneratorlarni o'zgarmas tok generatorlari bilan taqqoslaydigan bo'lsak, ular quyidagi kamchiliklarga ega: chiqish tavsifining chiziq-



5.3- rasm. Asinxron generatorning chiqish (a) va kuchaytirish koeffitsiyentining statik (b) tavsiflari (punktir bilan ideal chiziqli tavsiflari tasvirlangan).

lilik darajasi birmuncha past; kuchaytirish koeffitsiyenti kichikroq; faza xatoligi mavjud; chiqish kuchlanishining yuklanish xarakteriga bog'liqligi.

NAZORAT UCHUN SAVOLLAR

1. *Taxogeneratorlar qanday vazifalarni bajaradi?*
2. *O'zgarmas tok taxogeneratorlari qanday asosda ishlaydi?*
3. *O'zgarmas tok taxogeneratorlari qanday konstruktiv qismlardan tashkil topgan?*
4. *Nima uchun o'zgarmas tok taxogeneratori tashqi tavsifining nishabligi yuklanish qarshiligiga bog'liq?*
5. *O'zgarmas tok taxogeneratorlarining asosiy afzalliklari va kamchiliklari nimalardan iborat?*
6. *Asinxron taxogeneratorlar qanday asosda ishlaydi?*
7. *Asinxron taxogeneratorlar qanday konstruktiv qismlardan tashkil topgan?*
8. *Nima uchun asinxron taxogeneratorning chiqish tavsifida nochiziqli qismi mavjud?*
9. *Nima uchun asinxron taxogeneratorning kuchaytirish koeffitsiyenti tavsifida nochiziqli qismi mavjud?*
10. *Taxogeneratorlarning asosiy afzalliklari va kamchiliklari nimalardan iborat?*
11. *Taxogeneratorlar elektr yuritmalarning avtomatik boshqarish tizimlaridagi qanday teskari bog'lanish zanjirlarida qo'llaniladi?*
12. *Nima uchun amaliyotda sinxron taxogeneratorlar qo'llanilmaydi?*

6-bob. SELSINLAR

6.1. SELSINLAR HAQIDA UMUMIY MA'LUMOTLAR

Induksion sinxronlash tizimlarida o'lchov o'zgartkichlari va qabul qiluvchi sifatida o'z-o'zini sinxronlashtirish xususiyatiga ega bo'lgan mikromashinalar ***selsinlar*** deb ataladi.

Sinxron aloqa induksion qurilmalari ma'lum masofaga burchakli yoki chiziqli siljishni burchak burilishiga o'zgartirilgan siljishlarni uzatishga xizmat qiladi. Bu holda berilayotgan burchakni, ya'ni o'lchov o'zgartkichidan chiqayotgan signalni uzatuvchi qurilma bilan bu kattalikni qabul qilib oluvchi qurilmaga uzatish elektr aloqa vositasida amalga oshiriladi. O'lchov o'zgartkichi va qabul qilib oluvchi orasidagi bu bog'lanish ***aloqa liniyasi*** deb ataladi. Bunday tizimlarda burchak kattaligini uzatish sinxron ravishda va silliq amalga oshiriladi.

Induksion tizimlarda qo'llaniladigan sinxron aloqalaridagi selsinlar va shuningdek, tizimlarning o'zi ham ***uch fazali*** va ***bir fazali*** guruhlarga bo'linadi.

Elektr val sxemalarida – bir-biridan ma'lum masofada joylashgan ikki elektr motor tezligini bir paytda katta aniqlikda sinxron va fazasi bo'yicha ham sinxron boshqarish talab etilgan hollarda **uch fazali selsinlar** qo'llaniladi.

Bir fazali selsinlar ikki asosiy ish rejimida ishlashi mumkin:

indikator rejimi, o'lchov o'zgartkichi majburiy aylantiriladi, qabul qilib oluvchi qurilma esa holat o'lchov o'zgartkichi bo'yicha holatini o'zining sinxronlovchi momenti ta'sirida o'rnatadi;

transformator rejimi, o'lchov o'zgartkichi majburiy aylantiriladi, qabul qilib oluvchi qurilma esa burchak nomuvofiqligi funksiyasi bo'lgan kuchlanishni ishlab chiqaradi.

Har ikki ish rejimlari uchun ham quyidagi sxemalardan biri qo'llanilishi mumkin:

a) juftlik: o'lchov o'zgartkichi – qabul qiluvchi;

b) ko'p karrali: o'lchov o'zgartkichi – bir necha qabul qiluvchi;

d) differensial: ikki o'lchov o'zgartkichi – qabul qiluvchi.

Bir fazali selsin indikator va transformator rejimlarida o'lchov o'zgartkich hamda qabul qiluvchi sifatida ishlashi mumkin.

Bir fazali selsinlarga qo'yiladigan asosiy talablar:

1) statik va dinamik aniqliklari yuqori bo'lishi kerak. Statik xatolik sekin

burilish rejimida uzatilayotgan burchakning uzatish xatoligi qiymati, dinamik xatolik esa uzluksiz aylanishdagi berilayotgan burchakning uzatilish xatoligi;

2) bir aylanish oralig'ida o'zini-o'zi sinxronlash xususiyati, ya'ni selsinli tizimning bir aylanish oralig'ida faqat bitta turg'un mos holatda bo'lishi;

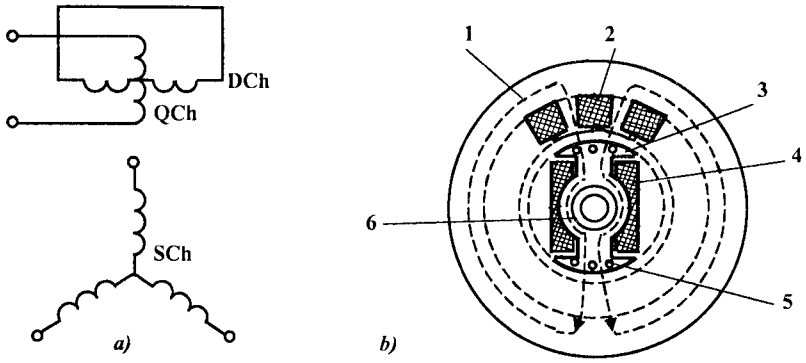
3) tezlikning katta qiymatlarida o'z-o'zini sinxronlash xususiyatini saqlab qolishi.

Bu talablarni ta'minlash uchun indikator selsinlari katta solishtirma va maksimal sinxronlash momentlarini yuzaga keltira olishi hamda qabul qiluvchi rotorining tinchlanishi esa eng kam vaqtda bo'lishi kerak bo'ladi. Transformator selsinlarining solishtirma chiqish kuchlanishlari, berilgan yuklanish qarshiligida iloji boricha katta bo'lishi va qabul qiluvchining chiqish qarshiligi minimal bo'lishi lozim.

6.2. BIR FAZALI SELSINLAR

Bir fazali selsinlar konstruktiv tuzilish va sirpanuvchi kontaklari borligi bo'yicha ***kontaktli*** va ***kontaktsiz*** turlarga bo'linadi.

Kontaktli selsinlar stator va rotordan iborat bo'ladi (6.1- *a* rasm). Stator (yoki rotor)da bir fazali qo'zg'atish chulg'ami (QCh), rotor (yoki stator)da sinxronizatsiya chulg'ami (SCh) joylashgan bo'ladi. Konstruktiv jihatdan bir fazali kontaktli selsinlar elektromagnitli qo'zg'aluvchan sinxron mashinalarga monanddir.



6.1- rasm. Kontaktli selsinning elektr (a) va konstruktiv sxemasi (b):
1 – stator; 2 – sinxronizatsiyalash chulg'ami; 3 – rotor; 4 – qo'zg'atish chulg'ami; 5 – dempferlash chulg'ami; 6 – kontakt halqachalari.

Bir fazali selsinlarda sinxronizatsiya chulg'ami uch fazali chulg'am kabi, ya'ni alohida uchta chulg'am fazoda o'zaro bir-biridan 120° burchakka siljitilgan holda yulduzcha usulida ulanib joylashtiriladi va har bir chulg'amda hosil bo'ladigan EYuK va uchala chulg'amdan vaqt bo'yicha fazasi bir xil toklar o'tadi. Shuning uchun sinxronizatsiya chulg'amini uch nurli sinxronizatsiya chulg'ami deb atalsa to'g'riroq bo'ladi.

Sinxronizatsiya chulg'ami har doim yoyilgan usulda tayyorlanadi. Qo'zg'atish chulg'amini ham yoyilgan, ham jamlangan usullarda tayyorlash mumkin.

Selsinlarning qutblar juftligi sonini birga teng qilib tanlanadi, shunda bir aylanish chegarasida sinxronizatsiyalash imkoni bo'ladi.

Selsinning qo'zg'atish chulg'ami ma'lum chastotali magnit oqimini hosil qiladi. Bu oqimning kuch chiziqlari selsinning magnit o'tkazgichidan o'tayotib sinxronizatsiyalash chulg'amini kesib o'tadi va unda qiymati rotor burilish burchagiga bog'liq bo'lgan EYuK hosil qiladi. Rotorning burilishi paytida qo'zg'atish va sinxronizatsiyalash chulg'amlarining o'zaro induktivligi kosinus qoidasi bo'yicha silliq o'zgaradi va natijada sinxronizatsiyalash chulg'amida hosil bo'ladigan EYuKning qiymati rotor burilishi burchagining kosinusiga proporsional bo'ladi.

Ba'zi selsinlarda qo'zg'atish chulg'amiga perpendikular holda joylashtirilgan dempferlash chulg'ami (DCh) ham bo'ladi.

Selsinning ishlash prinsipi chulg'amlarining statorda yoki rotorda joylashishiga bog'liq emas. Ammo aksariyat selsinlar qo'zg'atish chulg'ami rotorda va sinxronizatsiyalash chulg'ami statorda joylashgan qilib tayyorlanadi (6.1- *b* rasm). Bunday selsinlarda kontaktlarning kam bo'lishi uning ishonchli ishlashini ta'minlaydi, ishqalanish momenti kam va selsinning massa hamda o'lchov ko'rsatkichlari kichik bo'ladi. Signalni uzatish (sinxronizatsiyalash chulg'amining aloqa) liniyasida sirpanuvchi kontaktlar bo'lmaydi. Bunday konstruksiyali selsinlarda dempferlovchi chulg'amni rotorda o'rnatish osonroqdir.

Sirpanuvchi kontaklarning bo'lishi kontaktli selsinlarning ishonchli ishlashiga salbiy ta'sir qiladi. Shuning uchun ham hozirda ***kontaktsiz selsinlar*** keng qo'llanilmoqda.

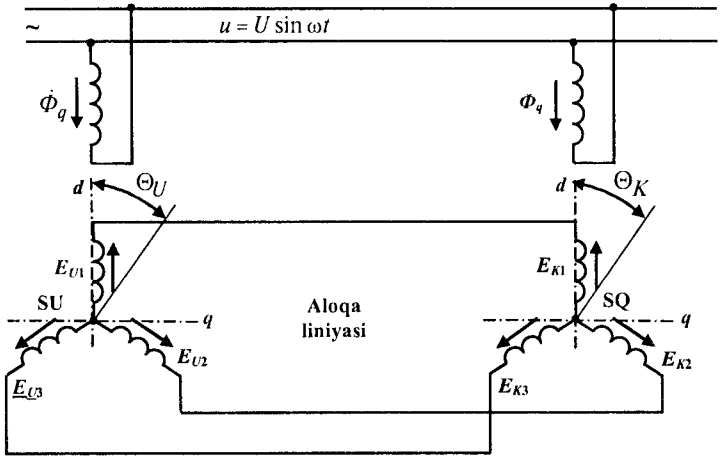
Kontaktsiz selsinlar konstruktiv ijrosi bo'yicha ***stator tomonidan rotor qo'zg'atiladigan*** *va* ***o'tkinchi halqachali transformatorli*** turlarga bo'linadi.

Differensial selsinlar bir fazali kontaktli selsinlardan rotori va statoridagi chulg'amlarining uch nurli bo'lishi bilangina farq qiladi.

6.3. SELSINLARNING INDIKATOR ISH REJIMI

Uzoq masofada joylashgan qandaydir mexanik rostlanuvchi organlar (masalan, suv taqsimlagich klapan)ning holati to'g'risidagi informatsiyani ***indikator rejimida ishlaydigan*** selsinlar yordamida uzatish qulaydir.

Odatda, indikator rejimida ikkita bir xil rusumdagi selsinlar: uzatuvchi SU va qabul qiluvchi SQ lar ishlaydi. 6.2- rasmda indikator rejimida ishlaydigan bir fazali selsinlarning sxemasi keltirilgan.



6.2- rasm. Indikator rejimida ishlaydigan bir fazali selsinlarning sxemasi.

Ikkala selsinning qo'zg'atish chulg'amlari bir fazali o'zgaruvchan tok tarmog'iga ulangan. Ularning sinxronizatsiyalash chulg'amlari o'zaro mos ravishda aloqa liniyalari bilan ulangan.

SU va SQ selsinlarning qo'zg'atish chulg'amlari selsinlarning magnit tizimlarida ma'lum chastotaga ega bo'lgan magnit oqimi F_q ni hosil qiladi. Selsinlar bir xil bo'lgani uchun ular hosil qilgan magnit oqimining qiymati ham bir xil bo'ladi.

$$\left.\begin{aligned} \dot{E}_{U1} &= \dot{E}_{\max} \cos \Theta_U; \\ \dot{E}_{U2} &= \dot{E}_{\max} \cos(\Theta_U - 120°); \\ \dot{E}_{U3} &= \dot{E}_{\max} \cos(\Theta_U - 240°), \end{aligned}\right\} \qquad (6.1)$$

bunda: Θ_U – muvozanat holatidan keyin yuzaga kelgan selsin – uzatuvchi rotorining burilish burchagi (muvozanat holati deb, selsin – uzatuvchining

E_{U1} EYuK hosil bo'ladigan sinxronizatsiyalash chulg'amining o'qi qo'zg'atish chulg'ami o'qi bilan bir o'qda yotgan holati tushuniladi); $\dot{E}_{\max}$ sinxronizatsiyalash chulg'ami bilan qo'zg'atish chulg'ami bir o'qda yotgan holatiga to'g'ri keladigan sinxronizatsiyalash chulg'amining maksimal EYuK qiymati; $\dot{E}_{U1}$, $\dot{E}_{U2}$, $\dot{E}_{U3}$ – selsin – uzatuvchi sinxronizatsiyalash chulg'amlarining mos EYuK.

Selsin – qabul qiluvchi EYuKning ifodalari ham xuddi (6.2) ko'rinishga ega bo'ladi

$$\left.\begin{aligned} \dot{E}_{K1} &= \dot{E}_{\max}\cos\Theta_K; \\ \dot{E}_{K2} &= \dot{E}_{\max}\cos(\Theta_K - 120°); \\ \dot{E}_{K3} &= \dot{E}_{\max}\cos(\Theta_K - 240°). \end{aligned}\right\} \qquad (6.2)$$

(6.1) va (6.2) tenglamalardagi EYuKlar vaqt bo'yicha fazalari bir xil, ya'ni bir fazali tizimli bo'lgani uchun tenglamalardan kelib chiqadigan ifodalarda vektor belgisini qo'yish shart emas.

Burchak nomutanosibligi uzatuvchi selsin rotorining burilish burchagi bilan qabul qilib oluvchi selsin rotorining burilish burchagi ayirmasiga teng:

$$\Theta = \Theta_U - \Theta_K. \qquad (6.3)$$

Agar $\Theta = 0$ bo'lsa, u holda $\Theta_U = \Theta_K$ bo'ladi va shunda

$$E_{U1} = \dot{E}_{K1};\ E_{U2} = \dot{E}_{K2};\ E_{U3} = E_{K3}.$$

Aloqa liniyasidagi tok ham nolga teng bo'ladi

$$I = \frac{E_E - E_K}{2Z} = 0, \qquad (6.4)$$

bunda: Z – bir selsin sinxronizatsiyalash chulg'amining to'liq qarshiligi.

Bu holda selsin statori magnit oqimi bilan rotori o'rtasida o'zaro ta'sir bo'lmaydi va selsinlar tinch holatda bo'ladi.

$\Theta \neq 0$ bo'lganida, ya'ni $\Theta_U \neq \Theta_K$ holat yuzaga keladi va selsin – uzatuvchi va selsin – qabul qiluvchi EYuKlarining ayirmasi noldan farqli qiymatga ega bo'ladi:

$$E_1 = E_{U1} - E_{K1};\ E_2 = E_{U2} - E_{K2};\ E_{U3} - E_{K3}. \qquad (6.5)$$

Aloqa liniyasining qarshiligini hisobga olmaganda sinxronizatsiyalash chulg'amlaridagi va aloqa liniyasidagi quyidagi ifodalar yordamida aniqlaymiz:

$$I_1 = \frac{E_1}{2Z};\ I_2 = \frac{E_2}{2Z};\ I_3 = \frac{E_3}{2Z}. \qquad (6.6)$$

Sinxronizatsiyalash chulg'amlaridan o'tayotgan toklar qo'zg'atish chulg'amlari hosil qilgan magnit maydonlari bilan o'zaro ta'siri natijasida aylantirish momentlarini hosil qiladi va bu aylantirish momentlar o'zaro qarama-qarshi yo'nalgan bo'lib, burchaklar ayirmasini nolga keltirishga intiladi.

Sinxronizatsiyalash momentini aniqlash uchun uch fazali MYuKni bo'ylama d o'qi va ko'ndalang q o'qlar bo'yicha tashkil etish usuli qo'llaniladi.

Uzatuvchi va qabul qiluvchi selsinlarning sinxronizatsiyalash chulg'amlaridan o'tayotgan I_1, I_2, I_3 toklar shu chulg'amlarning o'qlari yo'nalishiga mos bo'lgan F_1, F_2, F_3 yo'nalishdagi MYuKlarni yuzaga keltiradi.

Oraliqdagi o'zgartirish amallaridan so'ng uzatuvchi selsinning bo'ylama va ko'ndalang o'qlardagi MYuK:

$$F_{Ud} = -\frac{3}{4} F_{\max}(1 - \cos\Theta); \qquad (6.7)$$

$$F_{Uq} = -\frac{3}{4} F_{\max}(\cos\Theta), \qquad (6.8)$$

bunda: $F_{\max} = 1{,}8wk_{chul}I_{\max}$; $I_{\max} = \frac{E_{\max}}{Z}$ tokning maksimal haqiqiy qiymati; w – sinxronizatsiyalash chulg'amining soni; k_{chul} – chulg'am koeffitsiyenti.

Qabul qiluvchi selsin uchun ham bo'ylama va ko'ndalang o'qlardagi MYuKni hisoblash (6.7) va (6.8) ifodalar ko'rinishida bo'ladi:

$$F_{Kd} = -\frac{3}{4} F_{\max}(1 - \cos\Theta); \qquad (6.9)$$

$$F_{Kq} = -\frac{3}{4} F_{\max}(\cos\Theta). \qquad (6.10)$$

Selsinning bo'ylama o'qi bo'yicha to'liq MYuK qiymati qo'zg'atish chulg'ami va sinxronizatsiya chulg'amlarining shu o'qi MYuKlari yig'indisidan iborat bo'ladi:

$$F_{\Sigma d} = F_K + F_d. \qquad (6.11)$$

Bo'ylama o'q bo'yicha hosil qilingan magnit oqimi,

$$\Phi_d = F_{\Sigma d}\Delta_d, \qquad (6.12)$$

bunda: Δ_d – bo'ylama o'q bo'yicha magnit o'tkazuvchanlik.

Uzatuvchi va qabul qiluvchi selsinlarning sinxronizatsiyalash chulg'amlarining MYuKlari ko'ndalang magnit maydonini hosil qiladi:

$$\Phi_q = F_q \Delta_q, \tag{6.13}$$

bunda: Δ_q – ko'ndalang o'q bo'yicha magnit o'tkazuvchanlik.

Sinxronizatsiyalash momenti asosan magnit oqimi Φ_d bilan sinxronizatsiyalash chulg'amlarining ko'ndalang tashkil etuvchisi toklarining o'zaro ta'siri natijasida hosil bo'ladi.

Sinxronizatsiyalash momentining oniy qiymati

$$m_C = \frac{1}{2} c \Phi_d F_{\max} \cos\psi \sin\Theta - \frac{1}{2} c \Phi_d F_{\max} \cos(2\omega t - \psi) \sin\Theta, \tag{6.14}$$

bunda: ψ – magnit oqimi Φ_d bilan MYuK $F_{\max}$ vektorlari orasidagi vaqt bo'yicha siljish burchagi; c – konstruktiv koeffitsiyent.

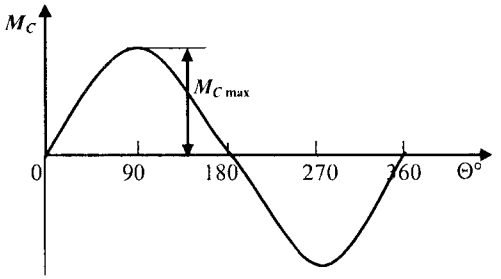
Bir davr ichida (6.14) ikkinchi qismining o'rtacha qiymati nolga teng bo'lgani uchun sinxronizatsiyalash momentining o'rtacha qiymati M_C tenglama o'ng qismining birinchi hadiga teng bo'ladi va uning ifodasi quyidagi ko'rinishda yoziladi:

$$M_C = M_{C\max} \sin\Theta, \tag{6.15}$$

bunda:

$$M_{C\max} = \frac{1}{2} c \Phi_d F_{\max} \cos\psi. \tag{6.16}$$

6.3- rasmda sinxronizatsiyalash momenti M_C ning $p = 1$ holati uchun nomutanosiblik burchagi Θ ga bog'liq o'zgarishi funksiyasi keltirilgan.



6.3- rasm. Sinxronizatsiyalash momentining tavsifi.

Real selsinlarda sinxronizatsiyalash momentining tavsifi sinusoidaldan farqliroq bo'ladi, chunki Φ_d va ψ kattaliklarning qiymatlari Θ ning qiymatiga bog'liq ravishda o'zgaradi.

Ba'zi hollarda indikator rejimida ishlaydigan selsinlar uzluksiz aylanish rejimida ishlaydi. Bu holda sinxronizatsiyalash momenti aylanish tezligining funksiyasi bo'ladi va u ***dinamik sinxronizatsiyalash momenti*** deb ataladi. Dinamik sinxronizatsiyalash momenti quyidagi empirik formula bilan ifodalanadi:

$$M_{C.din} = M_{C.\max} \sin\Theta \cos\frac{\omega p}{4f}, \qquad (6.17)$$

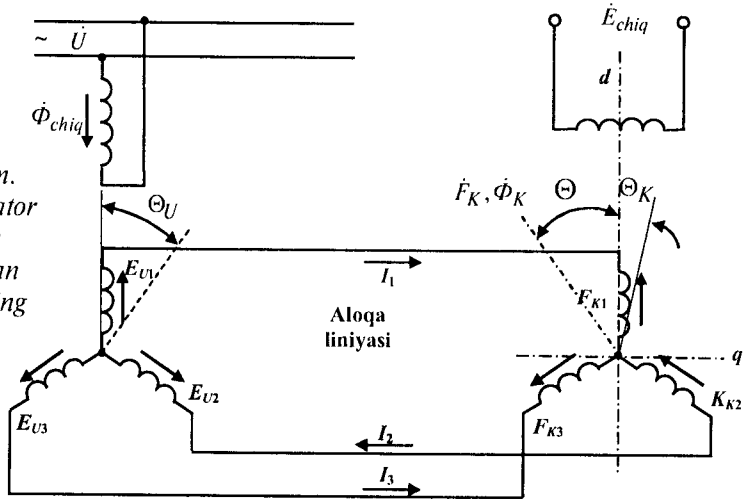
bunda: ω – qabul qiluvchi selsin rotorining aylanish tezligi; $M_{C.max}$ – maksimal statik sinxronizatsiyalash momenti.

Ba'zi hollarda masofaga bir emas bir nechta joyga burchak kattaligini uzatishga to'g'ri keladi. Bitta uzatuvchi selsinga bir nechta qabul qiluvchi selsinlar ulanadigan sxemalar ***selsinlarning ko'p karrali indikator rejimi sxemalari*** deyiladi.

6.4. SELSINLARNING TRANSFORMATOR ISH REJIMLARI

Bu ish rejimida kichik quvvatli signal aloqa liniyasidan uzatiladi, so'ngra bu signal kuchaytiriladi, ijrochi motorni ishga tushiradi, motor esa boshqaruv obyektini siljitishi bilan bir paytda uzatuvchi selsin bilan qabul qiluvchi selsinlar orasidagi nomutanosiblik burchagini kamaytiradi.

6.4- rasmda selsinlarning transformator ish rejimida ishlash sxemasi keltirilgan.



6.4- rasm. Transformator rejimida ishlaydigan selsinlarning sxemasi.

Uzatuvchi selsinning qo'zg'atish chulg'ami ta'minlovchi tarmoqqa ulanib mashinaning magnit tizimida ma'lum chastotali magnit oqimini hosil qiladi. Uzatuvchi va qabul qiluvchi sinxronizatsiyalash chulg'amlari o'zaro aloqa liniyalari bo'yicha ulangan.

Qabul qiluvchi selsinning qo'zg'atish chulg'amining vazifasi nomutanosiblik burchagi $\Theta = \Theta_U - \Theta_K$ ga mos bo'lgan signal (kuchlanish)ni hosil qilishdan iborat.

Qabul qiluvchi selsinning qo'zg'atish chulg'ami uzatuvchi selsinning qo'zg'atish chulg'amidan avvaldan 90°ga burilgan bo'lsa, u holda selsinlarning transformator rejimi sxemasi mos deyiladi. Qabul qiluvchi selsin rotorining burilish burchagi Θ_K ning qiymati shu holatga nisbatan hisoblanadi.

Uzatuvchi selsinning qo'zg'atish chulg'amida hosil qilingan ma'lum chastotali magnit oqimi $\dot{\Phi}_K$ sinxronizatsiyalash chulg'amlarida mos ravishda E_1, E_2, E_3 EYuKlarni yuzaga keltiradi va ularninng qiymatlarini (6.1) tenglamalar asosida hisoblash mumkin. Agar aloqa liniyalarining qarshiliklarini hisobga olmasak va har ikkala selsinlarning qarshiliklarini o'zaro teng, ya'ni $Z_U = Z_K = Z$ deb qabul qilsak, u holda EYuK ta'sirida chulg'amlar va liniyalardan o'tayotgan toklar quyidagi ifodalar bilan aniqlanadi:

$$\left.\begin{aligned} I_1 &= \frac{E_{\max}}{2Z}\cos\Theta_U; \\ I_2 &= \frac{E_{\max}}{2Z}\cos(\Theta_U - 120°); \\ I_3 &= \frac{E_{\max}}{2Z}\cos(\Theta_U + 120°). \end{aligned}\right\} \qquad (6.18)$$

Bu toklar qabul qiluvchi selsinning sinxronizatsiyalash chulg'amlarida F_{K1}, F_{K2}, F_{K3} MYuKlarni hosil qiladi.

MYuKlarning natijaviy qiymati bo'ylama va ko'ndalang tashkil etuvchilar yordamida hisoblanadi:

$$F = \sqrt{F_d^2 + F_q^2} = \frac{3}{2}F_{\max}, \qquad (6.19)$$

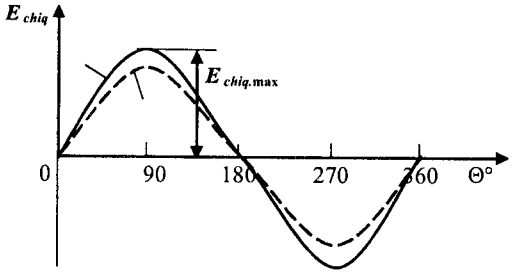
bunda: $F_{\max} = 1{,}8\omega k_{chul} I_{\max}$ – qutblar juftligiga to'g'ri keladigan MYuK.

Natijaviy MYuK magnit oqimi Φni hosil qiladi va bu magnit oqimi esa qabul qiluvchi selsinning qo'zg'atish chulg'ami bilan o'zaro ta'siri natijasida qo'zg'atish chulg'amida chiqish EYuKni yuzaga keltiradi:

$$E_{chul} = E_{chiq.\max} \sin \Theta, \qquad (6.20)$$

bunda: $E_{chiq.\max}$ – natijaviy MYuK vektorining qabul qiluvchi selsin qo'zg'atish chulg'ami o'qi bilan mos kelgan holdagi chiqish EYuK qiymati.

6.5- rasmda transformator rejimi sxemasida ishlayotgandagi qabul qiluvchi selsinning chiqish EYuK va kuchlanishining nomutanosiblik burchagi Θ ga bog'liq o'zgarishi tavsiflari keltirilgan.



6.5- rasm. Qabul qiluvchi selsinning chiqish EYuK (1) va kuchlanish (2) tavsiflari.

NAZORAT UCHUN SAVOLLAR

1. *Selsinlar qanday vazifani bajaradi?*
2. *Selsinlar necha turga bo'linadi?*
3. *Uzatuvchi selsin bilan qabul qiluvchi selsinlarning funksiyalari nimalardan iborat?*
4. *Bir fazali kontaktli selsin qanday konstruktiv qismlardan tashkil topgan?*
5. *Qaysi hollarda bitta uzatuvchi va bir nechta qabul qiluvchi selsinlardan foydalaniladi?*
6. *Selsinlarning qanday ish rejimlari mavjud?*
7. *Selsinlarning indikatorli ish rejimi qanday rejim?*
8. *Selsinning transformator ish rejimi qanday rejim?*
9. *Sinxronizatsiya momenti qanday hosil qilinadi?*
10. *Qabul qiluvchi selsinning chiqish elektr EYuK va kuchlanish tavsiflari qanday hosil qilinadi?*

7-bob. BURILUVCHI TRANSFORMATORLAR

7.1. BURILUVCHI TRANSFORMATORLAR HAQIDA UMUMIY MA'LUMOTLAR

Rotorning burilish burchagi Θ ni $\sin\Theta$ yoki $\cos\Theta$ funksiyalarga proporsional bo'lgan yoki burchak Θ ning o'ziga proporsional bo'lgan kuchlanishga o'zgartiruvchi mikromashinalar ***buriluvchi transformatorlar*** deb ataladi. Bu transformatorlar hisoblash qurilmalarida matematik amallarni bajarishda ishlatiladi. Buriluvchi transformatorlar ayniqsa avtomatik boshqarish qurilmalarida koordinatalar vektorlarini o'zgartirish, ajratish va natijada vektorlar uchburchagini qurish asosida geometrik hamda trigonometrik masalalarni yechishda keng qo'llaniladi. Avtomatik boshqarish tizimlarida buriluvchi transformatorlardan tizimning ma'lum holatidagi qayd qilingan farqli nomutanosiblikni o'lchovchi sifatida foydalaniladi.

Buriluvchi transformatorlar chulg'amlarining ulanish sxemalari turlariga qarab bir necha rejimlarda ishlashi mumkin:

1) sinus-kosinusli, bir chulg'amining kuchlanishi rotori burilishi burchagining sinusiga proporsional, ikkinchi chulg'amining kuchlanishi esa rotori burilishi burchagining kosinusiga proporsional bo'ladi;

2) grafik chizg'ich, to'g'ri burchakli koordinatalar tizimidagi (to'g'ri burchakli uchburchakning katetlari) vektorlar diagrammasining tashkil etuvchilariga proporsional bo'lgan kuchlanishlarni stator chulg'amlarining har ikkalasiga berilganida, chiqish kuchlanishining vektor moduliga proporsional bo'ladi (gipotenuzaga), rotor burilishi burchagi esa uning argumenti (katet bilan gipotenuza orasidagi burchak) bo'ladi;

3) chiziqli, chiqish kuchlanishi rotor burilishi burchagiga proporsional. Bunday mikromashinalar sifatida asosan sinus-kosinusli burilish transformatorlari ishlatiladi;

4) masshtabli, chiqish kuchlanishi kirish kuchlanishiga proporsional bo'ladi va proporsionallik koeffitsiyenti (masshtab) rotorning burilish burchagi qiymati bilan aniqlanadi.

Burilish transformatorlariga qo'yiladigan asosiy talablar:

1) berilgan funksiyani qayd qilinishida amplituda bo'yicha minimal xatolikka ega bo'lishi;

2) burilish burchagi yoki yuklanishga bog'liq bo'lgan, ya'ni faza bo'yicha chiqish kuchlanishining xatoligi minimal bo'lishi;

3) rotorning aylanish tezligi yuqori bo'lishi.

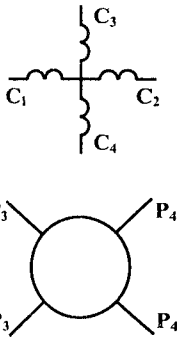
Bundan tashqari, buriluvchi transformatorlarga qo'yiladigan talablarning ko'lami aniq qo'llanilishi shart-sharoitidan kelib chiqqan holda mikromashinalarga qo'yladigan talablar asosida kengayishi ham mumkin.

Konstruktiv jihatdan buriluvchi transformatorlar ***kontaktli*** va ***kontaktsiz*** turlarga bo'linadi.

Buriluvchi transformatorlar qo'zg'almas stator va qo'zg'aluvchan rotordan iborat bo'ladi. Stator va rotorlarning o'zaklari elektrotexnik po'lat listlardan yoki magnit qarshiligi kichik bo'lgan permoloydan yasaladi. Listlar bir-biridan lak bilan izolatsiyalanadi.

Stator va rotor ariqchalarida ikkitadan chulg'amlar joylashtirilgan bo'ladi va ular orasidagi burchak 90°ni tashkil etadi. 7.1- rasmda bu chulg'amlarning joylashishi ko'rsatilgan: C_1C_2 – statorning bosh chulg'ami; C_3C_4 – statorning yordamchi (kvadratur) chulg'ami; P_1P_2 va P_3P_4 – rotorning sinus va kosinus chulg'amlari.

Odatda, stator chulg'amlarining o'ramlari soni, qo'llanilgan simning turi va ko'ndalang kesim yuzasi hamda ulanish sxemalari bir xil tayyorlanadi. Rotor chulg'amlari ham bir xil qilib tayyorlanadi. Rotor burilishi burchagi Θning qiymatini hisoblash sinus chulg'ami o'qidan boshlanib to stator yordamchi chulg'ami o'qigacha oraliqda amalga oshiriladi.



7.1- rasm. Buriluvchi transformator chulg'amlarining joylashishi.

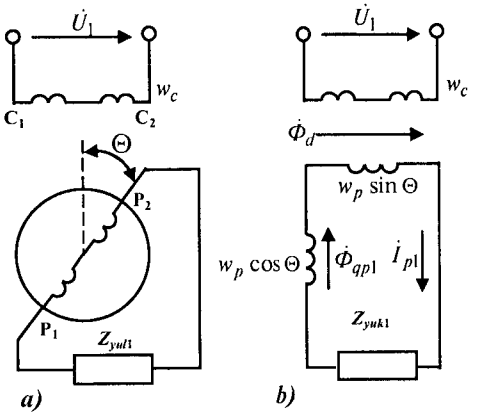
Stator chulg'amlarining uchlari to'g'ridan-to'g'ri ulagichlarga chiqarilib borilgan bo'ladi. Kontaktli buriluvchi transformatorlari rotor chulg'amlarining uchlari to'rt kontaktli halqacha – cho'tka tizimi orqali tashqi elektr sxemaga ulanadi.

Kontaktsiz buriluvchi transformatorlari rotor chulg'amlarining uchlari spiral prujina yoki oraliq halqali transformator yordamida tashqi elektr sxemaga ulanadi.

Buriluvchi transformatorlar asosan ikki qutbli elektr mashinalardir. Ammo distansion boshqarish tizimlarida uzatilayotgan burchak qiymati aniqligini oshirish maqsadida ko'p qutbli buriluvchi transformatorlar ham ishlatiladi. Barcha turdagi buriluvchi transformatorlarning nominal chastotasi 400 Hz dan kam emas.

7.2. SINUS-KOSINUSLI BURILUVCHI TRANSFORMATORLAR

Buriluvchi transformatorlarning ishlash asosini rotor burilish burchagi sinusi funksiyasini olish misolida ko'rib chiqamiz (sinusli buriluvchi transformator). Bu rejimda statorning bosh chulg'ami C_1C_2 qiymati o'zgarmas bo'lgan o'zgaruvchan tok kuchlanishi manbayi $\dot{U}_1$ ga ulangan (7.2- *a* rasm). Rotor chulg'ami P_1P_2 tashqi yuklanish $Z_{yuk1} = R_{yuk1} + jX_{yuk1}$ ga ulangan. C_3C_4 va P_3P_4 chulg'amlar uzilgan bo'lib, buriluvchi transformatorning bu rejimida ishtirok etmayotganligi sababli rasmda ko'rsatilmagan.



7.2- rasm. Sinusli buriluvchi transformatorning prinsipial elektr (a) va ekvivalent (b) sxemalari.

C_3C_4 va P_3P_4 chulg'amlar orasidagi o'zaroinduktivlik rotor burilish burchagiga bog'liq ravishda o'zgarishini quyidagi tenglama bilan ifodalanadi:

$$M = \Lambda w_c w_p \sin\Theta, \qquad (7.1)$$

bunda: Λ – magnit o'tkazuvchanlik; havoli tirqichning bir tekisligi tufayli uning qiymati rotorning burilish burchagiga bog'liq emas; w_c, w_p – stator va rotor chulg'amlarining effektiv o'ramlari soni.

Buriluvchi transformatorning ikki holatdagi ish rejimini ko'rib chiqamiz.

1. Buriluvchi transformatorning salt ish rejimi ($Z_{yuk1} = \infty$; $I_{p1} = 0$). Rotori chulg'ami EYuKning stator chulg'ami EYuKga nisbati

$$\frac{E_{p1}}{E_{c1}} = \frac{w_p \sin\Theta}{w_c} = k_{tr} \sin\Theta, \qquad (7.2)$$

bunda: E_{c1} – bosh stator chulg'amining EYuK ($E_{c1} \approx U_1$); $k_{tr} = \frac{w_p}{w_c}$ transformatsiya koeffitsiyenti.

Shunday qilib,

$$\dot{E}_{p1} = k_{tr} \dot{E}_{c1} \sin\Theta, \qquad (7.3)$$

ya'ni buriluvchi transformatorning salt ish rejimidagi rotorining EYuK rotor burilishi burchagining sinusoidal funksiyasi bo'ladi.

2. Buriluvchi transformatorning yuklanishli ish rejimi ($Z_{yuk1} \neq \infty$, $I_{p1} \neq 0$). Bu ish rejimida buriluvchi transformator rotorining qiymati salt yurishdagidan $(1 + \dot{b}\cos^2\Theta)$ martaga kam bo'ladi, ya'ni

$$\dot{E}_{p1} = \frac{k_{tr} \dot{E}_{c1} \sin\Theta}{1 + \dot{b}\cos^2\Theta}, \qquad (7.4)$$

bunda:
$$\dot{b} = j \frac{\omega_1 w_p^2 \Lambda}{(Z_{yuk1} + Z_{p1})}, \qquad (7.5)$$

ω_1 – tarmoq kuchlanishining burchak chastotasi; $Z_{p1} = R_{p1} + jX_{p1}$ – rotor chulg'ami P_1P_2 ning kompleks qarshiligi.

Shuningdek, rotorning P_3P_4 chulg'ami ishchi chulg'am bo'lib, P_1P_2 chulg'ami uzilgan holda C_1C_2 va P_1P_2 chulg'amlar orasidagi o'zaro induktivlik kosinusoidal qonuniyatga bo'ysunadi. Shunda buriluvchi transformator kosinusli buriluvchi transformatorga aylanadi va uning salt yurish rejimidagi rotorning EYuK ifodasi:

$$\dot{E}_{p1} = k_{tr} \dot{E}_{c1} \cos\Theta, \qquad (7.6)$$

yuklanishli rejim uchun esa

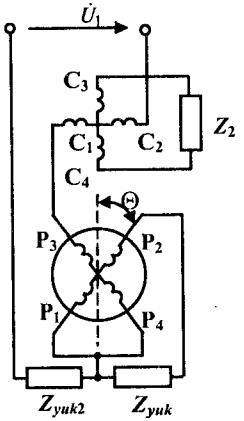
$$\dot{E}_{p1} = \frac{k_{tr} \dot{E}_{c1} \cos\Theta}{1 + \dot{b}\sin^2\Theta}. \qquad (7.7)$$

7.3. CHIZIQLI, MASSHTABLI VA GRAFIK CHIZGICH BURILUVCHI TRANSFORMATORLAR

Chiziqli buriluvchi transformatorlarda chiqish kuchlanishining qiymati rotori burilish burchagining quyidagi funksiyasiga proporsional bo'lishi kerak

$$f(\Theta) = \frac{\sin\Theta}{1 + c\cos\Theta}, \qquad (7.8)$$

bunda: c — rotor burilishi burchagiga bog'liq bo'lmagan koeffitsiyent.



7.3- rasm. Birlamchi simmetriyalanuvchi chiziqli buriluvchi transformatorning prinsipial elektr sxemasi.

(7.8) ifodani amalga oshirish uchun buriluvchi transformatorni 7.3- rasmda keltirilgan sxema bo'yicha ulanishi lozim. Bu sxemada statorning bosh chulg'ami C_1C_2 va rotorning kosinus chulg'ami P_3P_4 ketma-ket ulanadi. Statorning yordamchi chulg'ami C_3C_4 ga parallel Z_2 qarshilik ulangan. Rotorning sinus chulg'ami P_1P_2 uchlaridagi kuchlanish chiqish kuchlanishi bo'ladi. **Birlamchi simmetriyalashning** sharti bajarilganida (odatda, $Z_2 = 0$), P_1P_2 va P_3P_4 rotor chulg'amlari hamda C_3C_4 stator chulg'ami ko'ndalang o'ramlari hosil qilgan natijaviy ko'ndalang magnit oqimi nolga teng bo'ladi. Natijada, P_1P_2 rotor chulg'amining ko'ndalang o'ramlarida o'zinduksiya EYuK hosil bo'lmaydi. C_1C_2 stator chulg'amining w_c o'ramidan hamda P_3P_4 rotor chulg'amining $w_p \cos\Theta$ bo'ylama o'ramidan o'tayotgan tok $\dot{I}_{c1}$ bo'ylama (asosiy) magnit oqim $\dot{\Phi}_d$ ni hosil qiladi, ya'ni natijaviy qo'zg'atish chulg'ami $w_c + w_p \cos\Theta$ o'ramlardan iborat bo'ladi va shunda chiqish EYuK quyidagi ifoda bilan aniqlanadi:

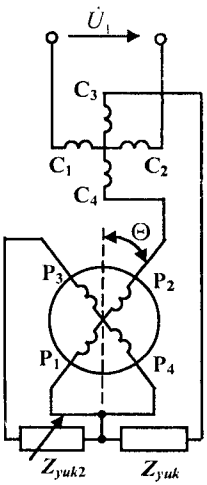
$$\dot{E}_{p1} = k_{tr}\dot{E}_1 \frac{\sin\Theta}{1 + k_{tr}\cos\Theta}, \qquad (7.9)$$

bunda: $\dot{E}_1$ — natijaviy qo'zg'atish chulg'amining EYuK ($\dot{E}_1 \approx \dot{U}_1$); $k_{tp} = \frac{w_p}{w_c}$ transformatsiya koeffitsiyenti.

(7.9) ifoda ko'rinishi bilan (7.8)ga monand. Demak, buriluvchi transformatorning chiqish tavsifi berilgan rotor burilishi burchagi oralig'ida chiziqli bo'ladi. Chiziqli buriluvchi transformatorlar $k_{tr} = 0,565$ qilib ishlab chiqariladi.

Ko'p bosqichli sxemada ishlaydigan chiziqli buriluvchi transformatorlar chiqish tavsiflarining yuklanishga bog'liqligini yo'qotish maqsadida ***ikkilamchi simmetriyalash*** usuli qo'llaniladi (7.4- rasm).

Qo'zg'atish kuchlanishi bosh stator chulg'ami C_1C_2 uchlariga beriladi. Statorning yordamchi chulg'ami C_3C_4 va rotorning sinus chulg'ami P_1P_2 ketma-ket ulanib umumiy zanjirni tashkil etadi va ularning uchlariga yuklanish qarshiligi Z_{yuk1} ulangan. Bu qarshilik uchidan olinayotgan kuchlanish chiziqli buriluvchi transformatorning chiqish kuchlanishi bo'ladi. Rotorning P_3P_4 ikkinchi chulg'amiga o'zgaruvchan yuklanish qarshiligi ulanadi.



7.4- rasm. Ikkilamchi simmetriyalanuvchi chiziqli buriluvchi transformatorning prinsipial elektr sxemasi.

Ikkilamchi simmetriyalanuvchi chiziqli buriluvchi transformatorning chiqish EYuK qiymati quyidagi formula yordamida aniqlanadi:

$$\dot{E}_{p1} = k_{tr}\dot{E}_1 \frac{\sin\Theta}{1 + \dot{a}\cos\Theta}, \qquad (7.10)$$

bunda: $\dot{a} = j\dfrac{\omega_1 w_c w_p \Lambda}{Z_{yuk1} + Z_{p1} + Z_{c1}}$ – rotorning burilish burchagiga bog'liq bo'lgan kompleks ko'phad.

Bunday chiziqli buriluvchi transformatorlarning asosiy kamchiligi yuklanish qarshiligi Z_{yuk1} qiymati o'zgaruvchan bo'lganida simmetriya sharti va chiqish kuchlanishining chiziqligi buziladi.

Elektr sxemaning ba'zi qismlarida, kuchlanishning o'zgarish qonuniyatlarini o'zgartirmagan holda, kuchlanishlarning masshtablarini o'zaro moslashtirish maqsadida ***masshtabli buriluvchi transformatorlar*** ishlatiladi. Umuman olganda barcha masshtablarni moslashtirish usullari asosan ikki turga bo'linadi: signal kuchlanishini hosil qilish va surish kuchlanishini hosil qilish.

Birinchi holda masshtabli buriluvchi transformator oddiy birlamchi simmetriyalanuvchi sinusli buriluvchi transformator sxemasi bo'yicha ula-

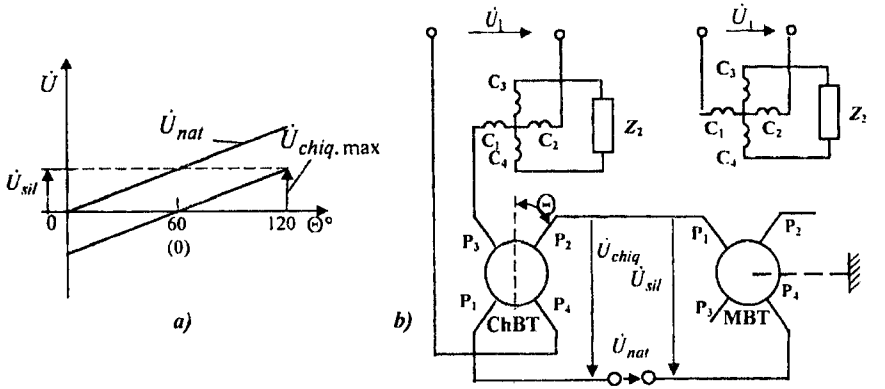
nadi (7.2- *a* rasm). Bosh stator chulg'ami C_1C_2 uchlariga oldingi pog'ona sxemasidagi chiqish kuchlanishi $\dot{U}_1$ beriladi. Chulg'am P_1P_2 uchlaridan olinadigan buriluvchi transformatorning chiqish kuchlanishi $\dot{U}_{p1}$ sxemaning keyingi pog'onasi uchun kirish signali bo'ladi.

Chiqish kuchlanishi

$$\dot{U}_{p1} = k_U \sin\Theta \dot{U}_1, \qquad (7.11)$$

bunda: $k_U \sin\Theta$ masshtab koeffitsiyenti.

Siljituvchi kuchlanishlarni hosil qilish, asosan, kirish kattaligi bir xil ishorali o'zgarganida chiziqli buriluvchi transformatorlarning ishlash oralig'ini kengaytirish maqsadida qo'llaniladi (7.5- *a* rasm).

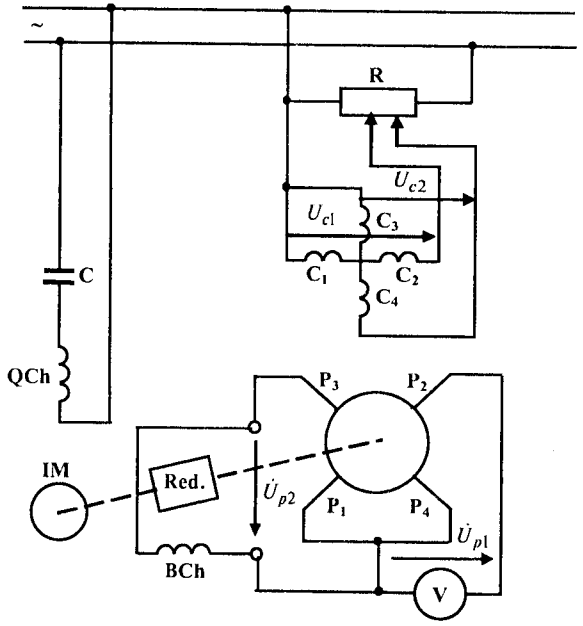


7.5- rasm. Siljitish kuchlanishini hosil qilish (a) va chiziqli siljuvchi buriluvchi transformatorning sxemasi (b).

Natijaviy chiqish kuchlanishi $\dot{U}_{nat}$ chiziqli buriluvchi transformatorning chiqish kuchlanishi $\dot{U}_{chiq}$ bilan o'zgarmas qiymatli siljitish kuchlanishi $\dot{U}_{sil} = \dot{U}_{chiq.\max}$ yig'indisidan iborat bo'ladi.

7.5- *b* rasmda chiziqli siljuvchi buriluvchi transformatorning sxemasi berilgan. Siljitish kuchlanishi $\dot{U}_{sil}$ masshtabli buriluvchi transformator MBTdan olinadi; MPTning rotori chiqish kuchlanishi talab etilgan kuchlanishga teng bo'lishini ta'minlovchi holatgacha buriladi. Har ikkala buriluvchi transformatorlar birlamchi chulg'amlari tomonidan simmetriyalangan bo'ladi.

To‘g‘ri burchakli uchburchakning berilgan ikki katetlari asosida gipotenuzasini aniqlovchi ***grafik chizg‘ich buriluvchi transformatorning*** sxemasi 7.6- rasmda keltirilgan.



7.6- rasm. Grafik chizg‘ich buriluvchi transformatorning sxemasi.

Statorning C_1C_2 va C_3C_4 chulg‘amlari bir fazali tarmoqqa kuchlanish taqsimlovchi R orqali ulangan. R ni qo‘llashdan maqsad stator chulg‘amlarining uchlariga kerakli qiymatli U_{c1} va U_{c2} kuchlanishlarni o‘rnatishdan iborat. Rotor chulg‘amlari birining uchlariga kerakli o‘lcham birliklaridagi shkalaga ega bo‘lgan voltmetr ulangan. Ikkinchi rotor chulg‘ami ijrochi asinxron motor (IM)ning boshqaruv chulg‘ami (BCh)ni ta’minlaydi. IMning qo‘zg‘atish chulg‘ami (QCh) kondensator C orqali bir fazali tarmoqqa ulangan. Ijrochi motor va buriluvchi transformatorning rotorlari reduktor orqali mexanik birlashgan.

7.6- rasmda keltirilgan sxema quyidagi tartibda ishlaydi. To‘g‘ri burchakli uchburchakning C_1 va C_2 katetlari berilgan va uning a gipotenuzasi aniqlanishi talab etiladi. Bu katetlar U_{c1} va U_{c2} kuchlanishlar ko‘rinishida buriluvchi transformatorning stator chulg‘amlariga beriladi. C_1C_2 va C_3C_4 chulg‘amlarning MYuKlari fazoda chulg‘amlarning o‘qi bo‘ylab harakatlan-

maydigan ma'lum chastotaga ega bo'lgan Φ_{c1} va Φ_{c2} magnit oqimlarini hosil qiladi va ularining modullari ularni hosil qilgan U_{c1} va U_{c2} kuchlanishlarga proporsional bo'ladi. Bu magnit oqimlarning geometrik qo'shilishi natijasida C_1C_2 va C_3C_4 chulg'amlar joylashgan fazoviy oraliqda natijaviy magnit oqimi Φ_a yuzaga keladi. Magnit oqimi Φ_a rotorning chulg'amlarida E_{p1} va E_{p2} EYuK larni hosil qiladi.

P_3P_4 chulg'amning EYuK E_{p2} ijrochi motorning boshqaruv chulg'ami (BCh)ning uchlarida kuchlanish U_{p2} hosil qiladi. Motor rotori harakatga keladi va reduktor yordamida buriluvchi transformatorning rotorini buradi. P_3P_4 chulg'amining o'qi Φ_a magnit oqimi o'qiga perpendikular holatga kelganida bu chulg'amning EYuK nolga teng bo'ladi va IM rotori harakatdan to'xtaydi. Bu holda P_3P_4 chulg'amning o'qi Φ_a magnit oqimining o'qi bilan yo'nalishi mos keladi va voltmetr U_{p1} kuchlanishning eng katta qiymatini ko'rsatadi va bu qiymat gipotenuza a ning uzunligiga proporsional bo'ladi. Rotorning burilish burchagi esa gipotenuzaning katetlariga nisbatan qanday burchakdaligi holatini bildiradi. Buriluvchi transformator bajargan amal, tashkil etuvchilari oldindan berilgan, dekart koordinatalar tizimidagi vektorning qiymati va uning argumentini aniqlashni anglatadi.

NAZORAT UCHUN SAVOLLAR

1. *Buriluvchi transformatorning ishlash prinsipi qanday?*
2. *Buriluvchi transformatorlar konstruktiv jihatdan necha turga bo'linadi?*
3. *Sinusli buriluvchi transformatorda chiqish kuchlanishi qanday hosil qilinadi?*
4. *Birlamchi simmetriyalash sharti nimadan iborat?*
5. *Chiziqli birlamchi simmetriyali buriluvchi transformatorda chiqish kuchlanishi qanday hosil qilinadi?*
6. *Masshtabli buriluvchi transformatorda siljitish kuchlanishi qanday hosil qilinadi?*
7. *Masshtabli buriluvchi transformatorda chiqish kuchlanishi qanday hosil qilinadi?*
8. *Grafik chizg'ich buriluvchi transformatorida ijrochi motor qanday harakatga keltiriladi?*

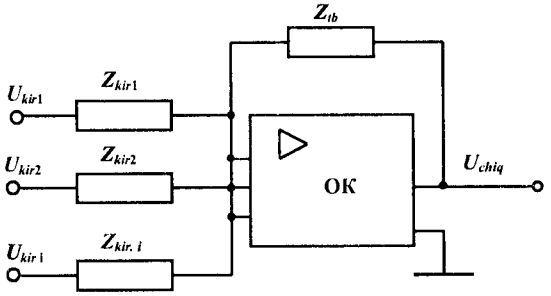
8-bob. ELEKTROMEXANIK TIZIMLARNING BOSHQARISH TIZIMLARI ELEMENTLARI

8.1. ELEKTROMEXANIK TIZIMLARNING ANALOG ELEMENTLARI VA QURILMALARI

Elektromexanik tizimlarning analog elementlari tranzistorli o'zgarmas tok kuchaytirgichi, boshqaruvchi va vazifalovchi qurilmalar, funksional o'zgartkichlar, boshqariluvchi koordinatalarning o'lchov o'zgartkichlari va ta'minot bloklaridan tashkil topgan bo'ladi. Tizimda umumlashgan quyidagi (0 ± 24) V, (0 ± 10) mA ko'rsatkichli signallardan foydalanish, umummaqsadlar uchun ishlatiladigan tranzistorlarni keng qo'llash imkonini beradi.

Bu rostlash tizimlarida mikrosxemalarning qo'llanilishi, boshqarish sxemalarining texnik tavsiflarini yaxshilashga va ularning funksional imkoniyatlarini kengaytirishga olib keldi. Rostlash tizimi bloklari almashtiriluvchi shtepseli yacheykalarga joylashtiriladi. Tizimda qo'llaniladigan signallarning ko'rsatkichlari $\pm 10V$ va ± 5 mA ekanligi sababli ham uning elementlari boshqa diskret elementlar va texnologik jarayonni avtomatlashtirish qurilmalari bilan ham uyg'un ishlash imkonini beradi.

Operatsion kuchaytirgich. Analog tizimning asosiy elementi bu operatsion kuchaytirgichdir (OK). U kuchaytirish koeffitsiyenti juda katta bo'lgan (5 dan 100 minggacha) va manfiy teskari bog'lanishli o'zgarmas tok kuchaytirgichidir. 8.1- rasmda OKning sxemasi keltirilgan bo'lib, bunda: $Z_{kir1}, \ldots, Z_{kir.i}$ orqali belgilangan kompleks aktiv-sig'imli kirish qarshiliklari va Z_{tb} – teskari bog'lanish zanjirining kompleks qarshiligi.



8.1- rasm. Operatsion kuchaytirgichning sxemasi.

OK kirish signali $U_{kir.i}$ ni quyidagi ifoda yordamida chiqish signali $U_{chiq.i}$ ga o'zgartiradi:

$$U_{chiq} = -Z_{tb} \sum_{1}^{n} \frac{U_{kir.i}}{Z_{kir.i}}. \qquad (8.1)$$

Eng oddiy holatda OKning kirish qismiga bitta U_{kir} signali berilsa va $Z_{tb} = R_{tb}$ hamda $Z_{kir1} = R_1$ bo'lganida (8.1) tenglama quyidagi sodda ko'rinishga ega bo'ladi:

$$U_{chiq} = -R_{tb} \frac{U_{kir}}{R_1} = -kU_{kir}. \qquad (8.2)$$

Agar $R_{tb} = R_1$ bo'lsa, u holda $k = 1$ ga teng bo'ladi va OK kirish signali ishorasinigina o'zgartiradi, ya'ni inversiyalaydi.

Agar $Z_{tb} = R_{tb}$ va $Z_{kir.i} = R_{kir.i}$ bo'lsa, u holda OK kirish qismidagi signallarni qo'shish bilan bir paytda mos kuchaytirish koeffitsiyentlariga ko'paytiradi ham

$$U_{chiq} = -\sum_{1}^{n} U_{kir.i} k_i, \qquad (8.3)$$

bunda: $$k_i = \frac{R_{tb}}{R_{kir.i}}.$$

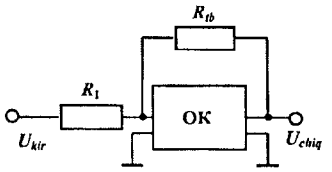
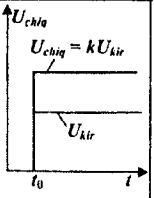
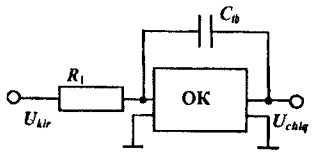
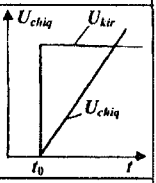
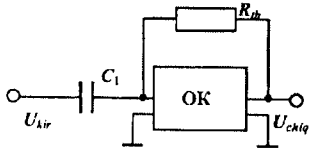
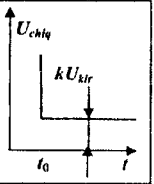
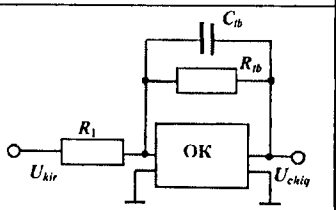
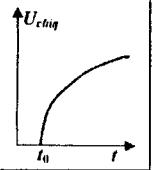
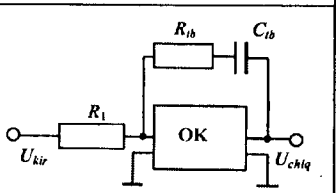
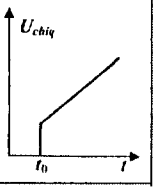
OKning kirish qismiga va teskari bog'lanish zanjiriga aktiv qarshiliklar – rezistorlar bilan bir qatorda kondensatorlar ulansa, u holda EYuni boshqarish uchun zarur bo'ladigan turli ko'rinishdagi signallarni ham hosil qilish mumkin bo'ladi. Bunday sxemalar ***rostlagichlar*** deb nomlanadi. 8.1- jadvalda OK asosidagi rostlagichlarning sxemalari va ularning tavsiflari hamda asosiy ko'rsatkichlari keltirilgan.

Rostlagichlar. Bu qurilmalarning nomlanishi ularning kirish signalini funksional o'zgartirish amalini bajarishi bilan bog'liqdir. **Proporsional P rostlagich** (8.1- jadvalning birinchi qatoriga qarang).

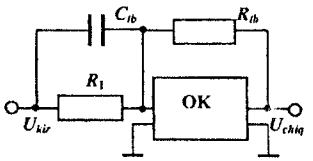
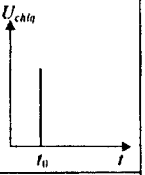
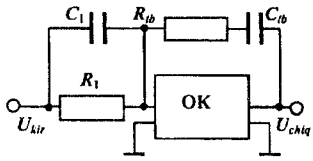
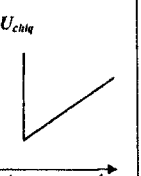
Bu rostlagich yuqorida ko'rib chiqilgan kirish signalini masshtabli (proporsional) $k = R_{tb} / R_1 \neq 0$ chiqish signaliga o'zgartiradi. 8.1- jadvalning 5 ustunida P rostlagich vaqtning t_0 momentida pog'onali kirish signallari berilganida chiqish signalining vaqt bo'yicha o'zgarish tavsiflari keltirilgan.

Tavsiflardan ko'rinib turibdiki, rostlagichning chiqish signali kirish signalining k koeffitsiyentiga ko'paytirilgan qiymatini aynan qaytariladi va o'tish vaqti qiymati nolga teng bo'ladi.

8.1-jadval

Rostlagichlar	Sxema	O'zgartirish usuli	Rostlagich ko'rsatkichlari	O'tish tavsifi
P		$U_{chiq} = kU_{kir}$	$k = R_{tb}/R_1$	
I		$U_{chiq} = \frac{1}{T}\int U_{kir}dt$	$T = R_1C_{tb}$	
D		$U_{chiq} = T\frac{dU_{kir}}{dt}$	$T = R_1C_{tb}$	
A		$U_{chiq} = kU_{kir} + \frac{1}{T}\int U_{kir}dt$	$k = R_{tb}/R_1$ $T = R_{tb}C_{tb}$	
PI		$U_{chiq} = k(U_{kir} + \frac{1}{T}\int U_{kir}dt)$	$k = R_{tb}/R_1$ $T = R_{tb}C_{tb}$	

8.1-jadvalning davomi

Rost-lagich-lar	Sxema	O'zgartirish usuli	Rostlagich ko'rsat-kichlari	O'tish tavsifi
PD		$U_{chiq} = k(U_{kir} + T\frac{dU_{kir}}{dt})$	$k = R_{tb}/R_1$ $T = R_1C_1$	
PID		$U_{chiq} = k[U_{kir} \times \left(1+\frac{T_2}{T_1}\right) + T\frac{dU_{kir}}{dt} + \frac{1}{T}\int U_{kir}dt]$	$k = R_{tb}/R_1$ $T_1 = R_{tb} \times C_{tb}$ $T_2 = R_1C_1$	

Integral I rostlagichning sxemasi OK teskari bog'lanish zanjiriga kondensator C_{tb} va chiqish zanjiriga rezistor R_1 ulash natijasida hosil qilinadi (8.1-jadval ikkinchi qatorining birinchi ustuniga qarang). Buning natijasida rostlagich integrallovchi qurilma xususiyatiga ega bo'ladi va uning chiqishidagi kuchlanish kirish signalining integrali bilan belgilanadi (8.1-jadval ikkinchi qatorining 3-ustuni). I rostlagichning o'tish jarayoni funksiyasi 8.1-jadval ikkinchi qatori 5-ustunida keltirilgan ko'rinishda bo'ladi.

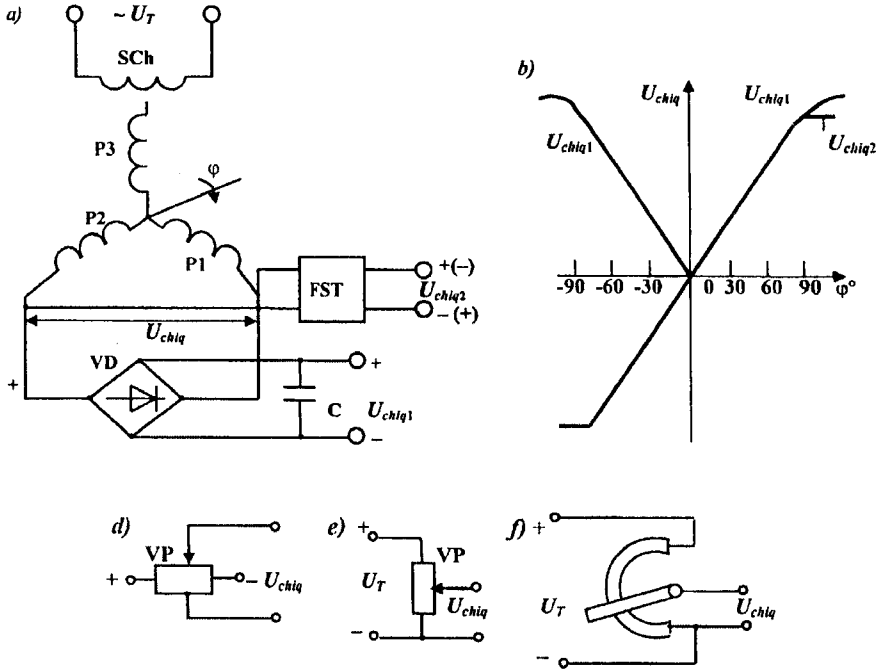
Differensial D rostlagichning sxemasi 8.1-jadval uchinchi qatorining 1 ustunida keltirilgan. Bu sxemali OK sxemasi $T = R_{tb}C_1$ koeffitsiyentli kirish signalini differensiyalash imkonini beradi. Ideal D rostlagichning o'tish jarayoni funksiyasi, cheksiz amplitudaga va juda kichik davomiylikka ega bo'lgan elektr impulsi ko'rinishda bo'ladi.

Nodavriy A rostlagichning sxemasi 8.1-jadvalning to'rtinchi qatori ikkinchi ustunida keltirilgan. Bu rostlagichning o'tish jarayoni funksiyasi chiqish signalining vaqt bo'yicha eksponensial o'zgarishi ko'rinishiga ega bo'ladi.

Shuningdek, **proporsional-integral (PI)**, **proporsional-differensial (PD)** va **proporsional-integral-differensial (PID)** rostlagichlarning sxemalari va tavsiflari 8.1-jadvalning mos ravishda 5–7-qatorlarida keltirilgan. Bu rostlagichlar chiqish signallarini kompleks tarzda o'zgartirishi sababli ham bu rostlagichli elektr yuritmalar murakkab qonuniyatlar asosida boshqariladi.

Funksional o'zgartkichlar (FO'). Bu o'zgartkichlar kirish signallarini kvadratga oshirish, ildiz ostidan chiqarish, bo'lish hamda signallarning modullarini ajratish va kirish hamda chiqish signallari orasidagi nochiziqli bog'lanishlarni amalga oshirish kabi funksiyalarni bajaradi. Funksional o'zgartkichlar bir yoki bir necha operatsion kuchaytirgichlar negizida yaratilishi mumkin.

Vazifalovchi qurilmalar selsin komandoapparatlar negizida bajariladi. Bu qurilmalar dastakli, pedal va maxovikchali yuritmali ijrolarda bo'lishi mumkin.



8.2- rasm. Selsin komandoapparatning sxemasi (a) va chiqish tavsifi hamda potensiometrik vazifalovchi qurilmalarning sxemalari (d, e, f).

Selsin komandoapparatning ishlashini ko'rib chiqamiz (8.4- *a* rasm). Selsinning bir fazali stator chulg'ami (SCh) chastotasi 50 Hz bo'lgan kuchlanishi $U_t = 110$ V bo'lgan o'zgarmas tok tarmog'iga ulanadi. Rotor chulg'amining ikki fazasidan olinayotgan o'zgaruvchan tok kuchlanishi U_{chiq} boshqarilmaydigan to'g'rilagich VD yoki fazasezgir to'g'rilagich FST yordamida to'g'irlanadi. Birinchi holatda chiqish kuchlanishi U_{chiq1}

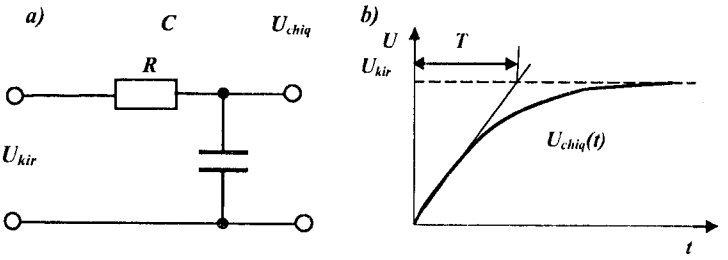
muqim qutbli bo'lsa, ikkinchi holatda esa U_{chiq2} ning qutbi ishorasi stator va rotor kuchlanishlarining o'zaro faza bo'yicha siljishlariga bog'liqdir. Shunday qilib, FST chiqish signali qutbining ishorasi, kirish o'zgaruvchan tok kuchlanishi fazasiga bog'liq bo'lgan to'g'rilagichdir.

Selsin rotori burilganida uning chulg'amlarida hosil bo'ladigan EYuK va mos ravishda chiqish kuchlanishi U_{chiq} nol qiymatdan (rotorning boshlang'ich holati $\varphi = 0$ da) va maksimal qiymatigacha (rotorning oxirgi holati $\varphi = 90°$ da) o'zgaradi (8.2- *b* rasm). Komandoapparat chiqish (vazifalovchi) kuchlanishi rotorning burilish burchagiga bog'liqligining chiziqli bo'lishiga bu burchakni $-60° < \varphi < +60°$ oraliqda o'zgarishi asosida erishiladi.

EYu larning boshqarish sxemalarida harakatlanuvchi elementi chiziqli (8.2- *d, e* rasm) va aylanma (8.2- *f* rasm) harakatlanadigan potensiometrik vazifalovchi qurilmalar ham keng qo'llaniladi. Agar vazifalovchi qurilmalarning harakatlanuvchi elementlarini ijrochi motorlar harakatga keltirsa, u holda bu qurilmalar tezlanishni vazifalovchi qurilma funksiyalarini ham bajarishi mumkin.

Shuningdek, to'rt OKdan iborat statik tezlanishni vazifalovchi qurilmalar ham qo'llaniladi. Bu qurilmada pog'onali kirish signali vaqt bo'yicha chiziqli o'zgaradigan chiqish signaliga o'zgartiriladi. OKlardan biri kirish signalini cheklashning boshqarish rejimida, ikkinchisi esa integrator rejimida va qolgan ikki OK esa invertor rejimida ishlaydi.

Elektr yuritmalarni boshqarish sxemalarida rezistor va kondensatorlardan iborat passiv elementli tezlanishni vazifalovchi qurilmalar ham qo'llaniladi (8.3- *a* rasm).



8.3- rasm. Tezlanishni vazifalovchi qurilmaning sxemasi (a) va chiqish kuchlanishi tavsifi (b).

$R - C$ zanjirga pog'onali kirish signali U_{kir} berilganida uning chiqish qismidagi signal U_{chiq} eksponenta bo'yicha o'zgaradi (8.3- *b* rasm). Chiqish

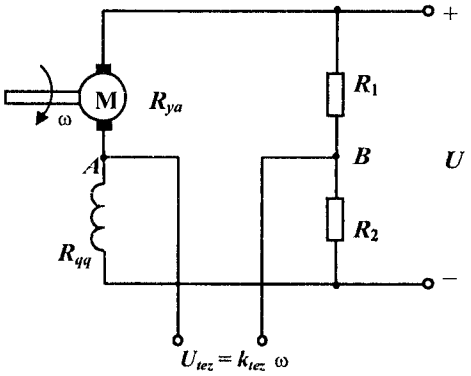
kuchlanishi o'zgarishining tezlanishini uning vaqt doimiyligi $T = RC$ ko'rsatkichlarini o'zgartirib boshqarish mumkin.

Elektr yuritmalar koordinatalarining o'lchov o'zgartkichlari. Yopiq EYularning talab etiladigan statik va dinamik tavsiflarini hosil qilish uchun tezlik, holati, tok va kuchlanishlar boshqa boshqariluvchi koordinatalar bo'yicha teskari bog'lanishlar qo'llaniladi hamda bu bog'lanishlar mos o'lchov o'zgartkichlari yordamida amalga oshiriladi.

Tezlik o'lchov o'zgartkichlari. EYu ning tezligi to'g'risidagi axborotni turli o'lchov o'zgartkichlari va motorning o'zidan ham olish mumkin. O'zg'aruvchan va o'zgarmas tok motorlarining tezligi to'g'ridan-to'g'ri ularning EYuKlariga bog'liqdir. Shunday qilib, EYuK qiymatini o'lchanuvchi o'zgaruvchan qiymat sifatida qarasak, u holda motorning tezligi haqidagi informatsiyaga ega bo'lamiz.

Taxogeneratorlar (TG) tezlik o'lchov o'zgartkichi sifatida yopiq elektr yuritma tizimlarida keng qo'llaniladi. Elektr yuritma tizimlarida asosan o'zgarmas qutbli magnitdan qo'zg'aladigan o'zgarmas tok taxogeneratorlari ishlatiladi.

Tezlik o'lchov o'zgartkichi sifatida o'zgarmas tok motorli taxometrik ko'prik sxema ham qo'llaniladi (8.4- rasm). R_1 va R_2 qarshiliklar va R_{ya} va R_{qq} qarshiliklardan iborat birlamchi ko'prik sxema hosil qilinadi.



8.4- rasm. O'zgarmas tok motori sxemasini tezlik o'lchov o'zgartkichi sifatida ishlatish.

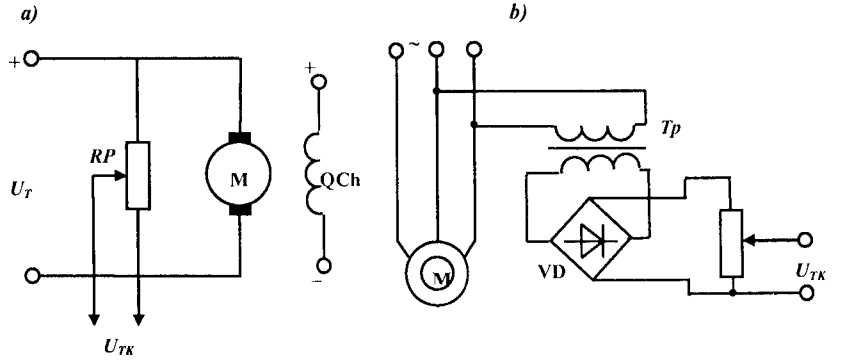
Birlamchi ko'prik sxemasining muvozanat shartidan kelib chiqqan holda A va B nuqtalarning orasidagi kuchlanish quyidagi ifoda bilan aniqlanadi:

$$U_{tez} = R_1/(R_1 + R_2)k\Phi_{nom}\omega = k_{tez}\omega. \qquad (8.4)$$

Taxometrik ko'prik sxemasi yopiq EYu tizimlarida qo'llanilganda sxemadagi *A* va *B* nuqtalarga relening g'altagi ulanadi.

Elektr yuritma tezligini katta aniqlikda nazorat qilish shart bo'lmagan hollarda, o'zgarmas tok motori yakori cho'tkalaridan to'g'ridan-to'g'ri olingan kuchlanishning o'zi tezlikka proporsional signal ekanligidan foydalaniladi.

O'zgarmas tok motorli elektr yuritmalarda ***kuchlanish o'lchov o'zgartkichi*** sifatida potensiometrlardan foydalaniladi (8.5- *a* rasm). Potensiometr *RP* motor *M* ning yakor uchlariga ulanadi va kuchlanish bo'yicha teskari bog'lanish koeffitsiyentining qiymati potensiometrning harakatlanuvchi qismining holati bilan aniqlanadi.



8.5- rasm. Potensiometrik (a) va transformatorli (b) kuchlanish o'lchov o'zgartkichlari.

O'zgaruvchan tok motorli elektr yuritmalari uchun kuchlanish bo'yicha teskari bog'lanish signallarini olishda transformatorli sxemalar qo'llaniladi (8.5- *b* rasm). «Boshqariluvchi to'g'rilagich – o'zgarmas tok motori» tizimlarining kuchlanish bo'yicha teskari bog'lanish signallarini olish, boshqariluvchi to'g'rilagichning o'zgaruvchan tok zanjiriga kuchlanish transformatori ulab amalga oshiriladi.

Ishchi mexanizm ijrochi organi yoki motor valining holatini aniqlash uchun ***holat o'lchov o'zgartkichlari*** ishlatiladi. Holat o'lchov o'zgartkichlari sifatida selsinlar, potensiometrlar va aylanuvchi transformatorlar ishlatiladi.

Selsinli holat o'zgartkichlarining o'zgarmas tokli chiqish qismi (8.2- *a* rasmga qarang) ishchi mexanizm ijrochi organi yoki motor vali bilan birikkan bo'ladi va natijada o'zgartkichning chiqish qismida holatini bildiruvchi mos signal hosil bo'ladi.

Potensiometrik holat o'zgartkichlari 8.2- *d, e, f* sxemalar asosida yaratiladi. Ularning harakatlanuvchi qismlari motor vali bilan biriktirilib, chiqish qismidan holatiga mos signallar olinadi.

Aylanuvchi transformatorli holat o'lchov o'zgartkichlarining ishlash asosi selsinlarnikidan farq qilmaydi. Ularning chiqish qismidagi signalning qiymati transformatorning aylanuvchi qismi holati bilan belgilanadi.

8.2. ELEKTROMEXANIK TIZIMLARNING DISKRET ELEMENTLARI VA QURILMALARI

Ishchi mashina va mexanizmlarining ishlarini kompleks avtomatlashtirishdan kelib chiqqan holda, ularning EYulariga qo'yiladigan ko'pgina talablarni raqamli boshqarish sxemalarigina bajara oladi. Raqamli boshqarish sxemalari EYu ishining tezkor va yuksak aniqlikda bajarilishi hamda ishonchli va kam energiya iste'mol qilishi bilan xarakterlidir. EYuning raqamli boshqarish sxemasi tabiiy ravishda texnologik jarayonlarni boshqarishda qo'llaniladigan EHM bilan uyg'unlashib, yagona avtomatlashtirilgan boshqarish tizimini tashkil etadi.

Ko'pgina hollarda EYularni boshqarishda aralash, raqamli-uzluksiz boshqarish sxemalarini qo'llash maqsadga muvofiq bo'ladi.

EYularda foydalaniladigan raqamli boshqarish vositalari quyidagi guruhlarga bo'linadi:

sodda mantiqiy amallarni bajaruvchi mantiqiy elementlar va triggerlar;

mantiqiy elementlar majmuasidan iborat bo'lgan va signallarni birmuncha murakkab funksional o'zgartiruvchi raqamli majmualar;

EYuni murakkab funksiyalar asosida boshqarishni amalga oshiruvchi raqamli qurilmalar;

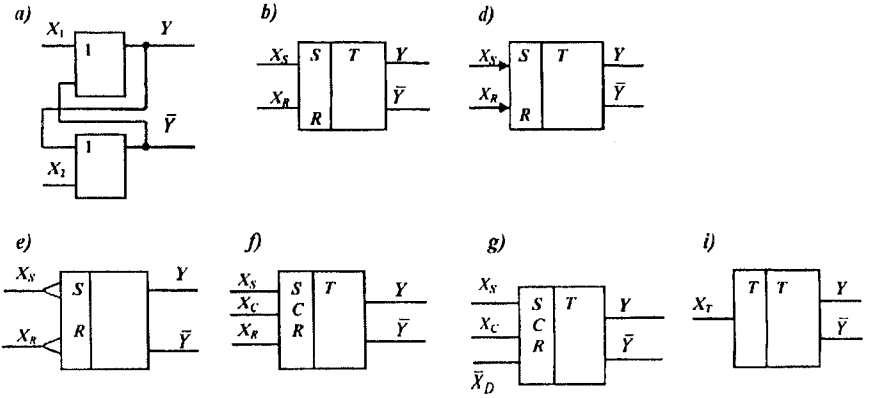
EYuni barcha boshqariluvchi koordinatalari asosida boshqarishni amalga oshiruvchi yuqori ko'rinishdagi jamlangan raqamli qurilmalar majmuasi.

Asosiy diskret elementlar va ular asosidagi qurilmalarning ishlash asoslarini ko'rib chiqamiz.

Trigger. Bu qurilma raqamli qurilmalar ichida eng ko'p tarqalgan qurilma bo'lib, ikkita turg'un holatga ega va uning bir holatdan ikkinchi holatga sakrab o'tishi tashqi boshqaruv signali ta'sirida amalga oshadi. Triggerlardan foydalanilgan holda turli mantiqiy va hisoblash qurilmalari, generatorlar va xotira qurilmalari yaratish mumkin.

Trigger ikkita HAM – YoKI mantiqiy elementlaridan iborat bo'lib (8.6- *a* rasm), quyidagicha ishlaydi. Uning kirish qismiga $X_1 = 1$ signalini berilishi va $X_2 = 0$ signalining bo'lmasligi elementning yuqori chiqishida

$\bar{Y} = 0$ holat hosil bo'ladi, pastki chiqishida esa $Y = 1$ holat yuzaga keladi. (O'zgaruvchan kattalik ustidagi chiziqcha kattalikning inversiya holatini anglatadi). Sxemaning bu holati X_1 ($X_1 = 0$) signalni o'chirishgacha saqlanib turadi. Endi $X_2 = 1$ signalni berganimizda trigger boshqa turg'un holat $Y = 0$ ga o'tadi va shuningdek $\bar{Y} = 1$ bo'ladi.



8.6- rasm. Triggerlarning sxemalari.

8.6- *b* rasmda ***R − S* triggerning** sxemasi keltirilgan va uni ishlashi statik asinxron trigger deb ataluvchi triggerning ishlashiga mos keladi. Ingliz tilida Set – o'rnatishni anglatuvchi so'zning bosh harfi bilan belgilangan S kirishiga kirish signali $X_1 = X_S = 1$ beriladi va shundan so'ng triggerning to'g'ridan-to'g'ri chiqish qismida birlik signal $Y = 1$ paydo bo'ladi (o'rnatiladi), inversorli chiqish qismida esa $\bar{Y} = 0$ hosil bo'ladi. Ingliz tilida Reset – ag'darishni anglatuvchi so'zning bosh harfi bilan belgilangan R kirishiga birlik signali $X_2 = X_R$ berilganida triggerning Y chiqishida nol signal, ya'ni $Y = 0$ paydo bo'ladi inversorli chiqish qismida esa $\bar{Y} = 1$ hosil bo'ladi.

Agar triggerning har ikkala kirishida signal bo'lmasa, ya'ni $X_S = X_R = 0$ bo'lsa, u holda trigger bundan oldingi holatini «esda saqlab» qoladi va bu uning asosiy xususiyatidir. $X_S = X_R = 1$ bo'lishi taqiqlanadi, chunki bunday holatda triggerning chiqishidagi signallar noaniq holatga tushib qoladi.

«Statik» tushunchasi kirish signallari manbalari triggerning chiqishi bilan to'g'ridan-to'g'ri kuchlanish bo'yicha bog'langan va ularning qiymatlari darajasi ta'sirida bo'lishini bildiradi. Agar triggerning kirish signallar manbalari bilan to'g'ridan-to'g'ri bog'lanmasdan, balki impuls transformatorlari, RC zanjirlari va boshqa vositalar orqali bog'langan bo'lsa, u

holda u kirish kuchlanishlari o'zgarishi ta'sirida bo'ladi va signallarning qiymatlari darajasi ta'sirida bo'lmaydi. Bunday boshqariladigan triggerlar ***dinamik boshqariladigan triggerlar*** deb ataladi. Agar triggerning ishlashi kirish signalining 0 dan 1 gacha o'zgarganda amalga oshsa, u holda triggerning kirishi ***bevositali*** deb ataladi va uning sxemasi 8.6- *d* rasmdagi ko'rinishga ega bo'ladi. Aks holda, triggerning ishlab ketishi kirish signalining 1 dan 0 gacha o'zgarganida amalga oshsa, u holda triggerning kirishi inversiyali deb ataladi va uning sxemasi 8.6- *e* rasmdagi ko'rinishdagidek tasvirlanadi.

«Asinxron» tushunchasi, vaqtning istalgan momentida kirish signallari majmuasi ta'sirida triggerning qayta ulanish rejimiga o'tishini bildiradi. Agar triggerning qayta ulanish rejimida ishlashi vaqtning ma'lum momentlarida amalga oshirilishi kerak bo'lsa, u holda trigger qo'shimcha yana bir kirish S bilan to'ldiriladi va bu kirishga ma'lum chastota taktiga ega X_S signali beriladi. $X_S = 0$ bo'lishi triggerning oldingi holatini saqlanganligini bildiradi va $X_S = 1$ bo'lishi esa triggerning qayta ulanish rejimiga ruxsat etilganini bildiradi. 8.6-*f* rasmda sinxron $R - S$ triggerning shartli belgilanishi keltirilgan.

***D* trigger** sinxron triggerning turlaridan biridir. Uning kirishiga birgina signal X_D signal beriladi. Bu trigger $R - S$ triggerning S kirishiga X_D hamda R kirishiga inversion signal $\bar{X}_D$ berish natijasida hosil qilinadi. 8.6- *g* rasmda D triggerning shartli belgilanishi keltirilgan.

***T* trigger** faqatgina hisoblash kirishiga ega va u shu signal impulsi vositasida boshqariladi. Navbatdagi kirish signali impulsi berilishi bilan triggerning chiqishidagi signalning darajasi teskarisiga o'zgaradi. Bunday triggerlar asosan impuls hisoblagichlar va impuls bo'lgichlarni yaratishda qo'llaniladi. 8.6- *i* rasmda T triggerning shartli belgilanishi keltirilgan.

Ikki pog'onali sinxron $R - S$ trigger ikki kirish va chiqish triggerlardan iborat bo'lganiligi sababli ham uning funksional imkoniyatlari sezilarli darajada kattadir. Tashqi chorrahali bog'lanishlardan foydalanilgan holda ***JK triggerlar*** deb ataladigan universal triggerlarni hosil qilish mumkin va ular $R - S$ trigger, D trigger va T trigger rejimlarida ishlay oladi.

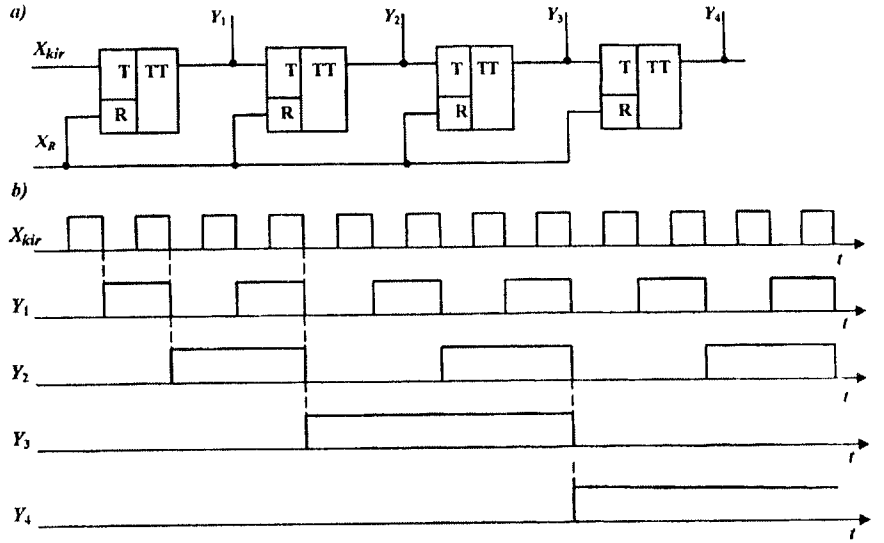
Raqamli qurilmalar o'zining bajaradigan vazifalariga ko'ra hisoblash, mantiqiy, eslab qolish, moslashtirish, vaqt, raqamli-uzluksiz o'zgartkich, signallarni kiritish va qabul qilib olish, raqamli o'lchov o'zgartkichlari kabi qurilmalarga bo'linadi. Endi bularning ichida eng ko'p qo'llaniladiganlarini ko'rib chiqamiz.

Hisoblash qurilmalari. Bu qurilmalar turli arifmetik amallarni bajarish uchun xizmat qiladi. Hisoblash amallari hisoblash qurilmasining raqamli elementlarida hisoblashning ikkilik tizimi asosida bajariladi.

Hisoblash qurilmalariga, shuningdek, hisoblagichlar, jamlagichlar va komparatorlar (taqqoslash qurilmalari) kiradi.

Hisoblagich. Bu raqamli qurilma kirish signallarining sonini hisoblash uchun xizmat qiladi. Hisoblagichlar jamlovchi, ayiruvchi va reversiv turlarga bo'linadi.

Ketma-ket harakatlanuvchi jamlovchi hisoblagich to'rtta ikki pog'onali T triggerdan iborat bo'ladi (8.7- *a* rasm).



8.7- rasm. Hisoblagichning sxemasi (a) va ishlash diagrammasi (b).

Birinchi triggerning ulanishi va o'chirilishi (chiqish Y_1) kirish signali X_{kir} ning orqa fronti bilan amalga oshiriladi (8.7- *b* rasm). Qolgan triggerlarning ulanishi va o'chirilishi o'zidan oldingi triggerning bevosita chiqish impulsi orqa fronti bilan amalga oshiriladi.

Triggerlarning $Y_1 - Y_4$ chiqish signallari to'plami impulslar hisoblagichiga ikkilik sanoq tizimida berilayotgan impulslar soniga to'g'ri keladi. Triggerning tartib nomeri ikkilik sanoq tizimi sonining razryadini bildiradi. 8.7- *b* rasmdagi tavsifdan ko'rinib turibdiki, hisoblagichning kirishiga 6 impuls berilgan bo'lsa, u holda triggerlarning chiqishida $Y_4 = 0$, $Y_3 = 1$, $Y_2 = 1$, $Y_1 = 0$ signallar hosil bo'ladi, ya'ni impulslar soni $m = (0110)_2 = (110)_2 = (6)_{10}$ ga teng bo'ladi. Hisoblagichning sig'imi N triggerlar soni n bilan quyidagi formula yordamida aniqlanadi:

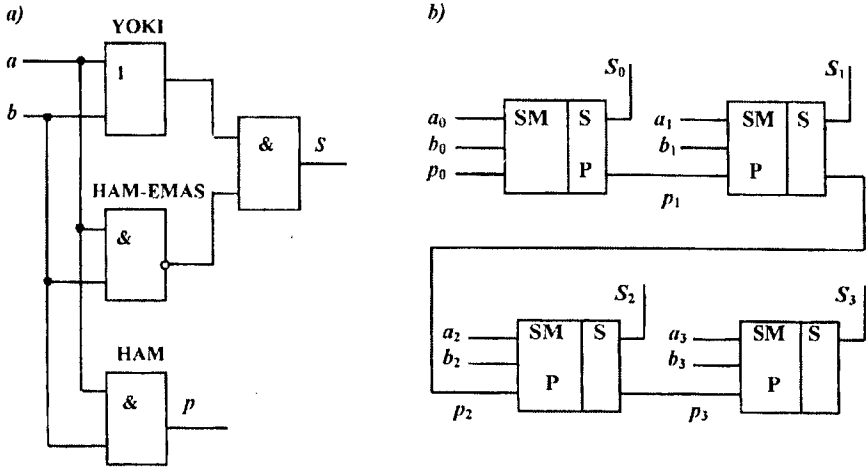
$$(N)_{10} = 2^4 - 1 = (15)_{10} = (1111)_2.$$

Chastota bo'lgich. 8.7- *a* rasmda keltirilgan sxemani chastotani bo'luvchisi sifatida ham qo'llash mumkin. 8.7- *b* rasmdagi diagrammadan ham ko'rinib turibdiki, har bir ketma-ketlikdagi triggerning chiqishidagi impulslar soni bir donaga va shu bilan bir qatorda ikki martaga kamayadi hamda bu esa impulslar chastotasining ikki marta kamayganligini bildiradi.

Hisoblagichda nol boshlang'ich holatini o'rnatish barcha triggerlarning R kirishlariga birlik signal X_R berilishi bilan amalga oshiriladi.

Reversiv hisoblagichlarda sonlarni qo'shish va ayirish amallari bajarilsa, ayiruvchi hisoblagichlarda faqat ayirish amali bajariladi.

Jamlagichlar. Bu raqamli qurilmada ikki sonni qo'shish amali bajariladi. Odatda, jamlagichlar ikkilik sonlari jadvali bo'yicha ishlaydigan bir razryadli jamlovchi sxemalar yig'ilmasidan iborat bo'ladi. 8.8- *a* rasmda bir razryadli jamlagichning sxemasi keltirilgan.



8.8- rasm. Bir razryadli (a) va to'rt razryadli jamlagich (b) sxemasi.

O'zining tarkibiga ko'ra bir razryadli jamlagich ikki bir razryadli *a* va *b* sonlarni ikkilik sanoq tizimi bo'yicha quyidagicha qo'shadi:

$$a + b = \begin{cases} 0 + 0 = 0, & S = 0, \quad P = 0, \\ 0 + 1 = 1, & S = 1, \quad P = 0, \\ 1 + 0 = 1, & S = 1, \quad P = 0, \\ 1 + 1 = 10, & S = 0, \quad P = 1. \end{cases}$$

Ikkita birni qo'shishdan hosil bo'lgan natija ikki razryadli ko'rinishga ega bo'ldi: $S = 0$ o'sha razryadli bo'lgan holda, $P = 1$ keyingi yuqoriroq razryadga ko'chirilgan. Shunday qilib, ixtiyoriy i razryadli qo'shish amalini bajarish, oldingi razryaddan ko'chirilgan natijalar a_i, b_i va P_i uch qo'shiluvchilarni hisobga olgan holda amalga oshiriladi. Misol tariqasida 8.8- *b* rasmda to'rt razryadli jamlovchining sxemasi keltirilgan.

Jamlovchilarda ayirish amallarini ham bajarish mumkin. Bunday jamlovchilarda ayirish amali ayiriluvchiga razryad bo'yicha kamayuvchi qo'shimcha qo'shish bilan almashtiriladi.

Komparator. Bu raqamli qurilmada ikki son A_n va B_n larni taqqoslash funksiyasi bajariladi. Taqqoslash natijasida quyidagi taqqoslashlardan birining haqiqiyligi aniqlanadi: $A_n = B_n$; $A_n > B_n$; $A_n < B_n$ va ularning har biri mos chiqishlarda birlik signal bilan qayd qilinadi.

Bir razryadli komparatorning ishlash asosini, ikki bir razryadli *a* va *b* sonlarni taqqoslash bo'yicha 8.2- jadval orqali tushuntirish mumkin.

8.2- jadval

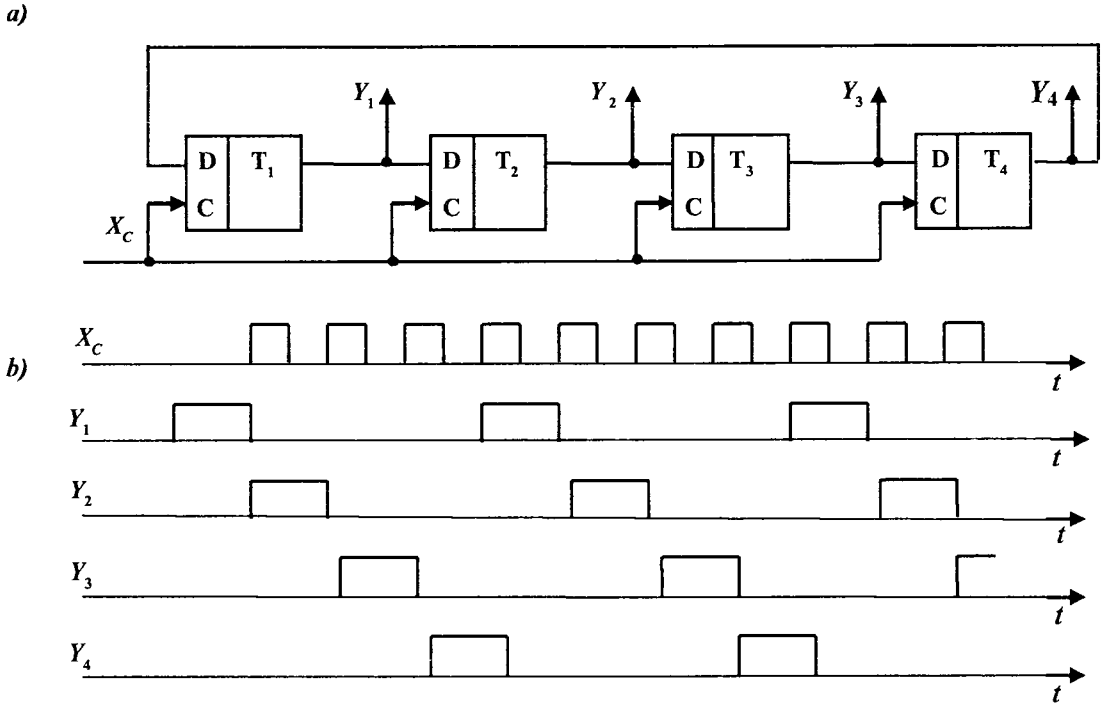
a	b	$Y_1(a = b)$	$Y_2(a > b)$	$Y_3(a < b)$
1	1	1	0	0
1	0	0	1	0
0	1	0	0	1
0	0	1	0	0

n razryadli sonlarni taqqoslash ularning razryadlari bo'yicha amalga oshiriladi, shundan so'ng qo'shimcha mantiqiy sxema yordamida yuqori razryadidan boshlab natijalar tahlil qilinadi.

Mantiqiy raqamli qurilmalar. Bu qurilmalarda diskret elektr signallar bilan turli mantiqiy amallar bajariladi. Bunday qurilmalarga impulslarni taqsimlovchilar, shifratorlar, deshifratorlar va multpleksorlar kiradi.

Impulslarni taqsimlovchi qurilma deb, bir kanalli ketma-ketlikdagi impulslarni bir necha chiqishlarga taqsimlovchi qurilmaga aytiladi. Uning i chiqishidagi birlik Y_i signal, taqsimlovchining oldingi $(i - 1)$ chiqishidagi Y_{i-1} signal o'chganidan keyin paydo bo'ladi, signal Y_i esa kirish (taktli) impuls sifatida olinadi. 8.9- *a* rasmda to'rtta *D* triggerdan tashkil topgan impuls taqsimlagichning sxemasi keltirilgan.

Boshlang'ich holatda birinchi triggerning chiqishida birlik signal $Y_1 = 1$ bor deb faraz qilamiz. Birinchi kirish (taktli) signali X_S ning berilishi (8.9- *b* rasmga qarang) birinchi triggerning chiqishida signal yo'qolishiga ($Y_1 = 0$) va ikkinchi triggerning chiqishida signalning paydo bo'lishiga olib keladi ($Y_2 = 0$). Keyingi impuls berilganidan so'ng Y_2 signali nolga teng



8.9- rasm. Impuls taqsimlagichning sxemasi (a) va ishlash diagrammasi (b).

bo'ladi, signal $Y_3 = 1$ bo'ladi va hokazo. To'rtinchi triggerning chiqishida signal paydo bo'lganidan keyin bu signal teskari bog'lanish zanjiri bo'yicha birinchi triggerning kirishiga beriladi va sikl takrorlanadi. Impuls taqsimlagichning har bir chiqishidagi $Y_1 - Y_4$ signallarning chastotasi quyidagi formula bilan aniqlanadi:

$$f = f_T / n, \qquad (8.5)$$

bunda: n — taqsimlagich triggerlarining soni, f_T — taktli impulslarning chastotasi.

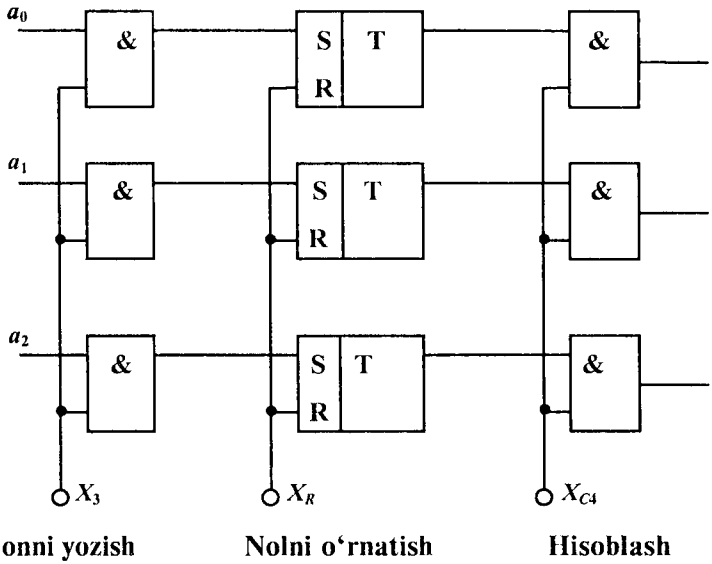
Deshifrator (dekoder). Bu raqamli qurilmaga n kirishidagi signallarni birgina chiqishida 1 signalga o'zgartirib, qolgan barcha chiqishlardagi signallarni 0 ga tengligi saqlanib qoladi. Bunga teskari bo'lgan amalni ***shifrator*** amalga oshiradi, ya'ni kirishlardan biridagi berilayotgan birlik signalni bir necha chiqishlaridagi ikkilik tizimidagi sonlarga o'zgartiradi.

Multipleksor. Bu qurilma, bir necha kirish liniyalaridagi signallarni bir chiqish liniyalarga uzatishni ta'minlovchi qurilmadir. Kirish liniyasini tanlash, multipleksor kirishlarini boshqarish uchun beriladigan boshqaruvchi impuls (kod) yordamida amalga oshiriladi. Multipleksor asosining sxemasini bir oz o'zgartirilgan deshifrator tashkil etadi.

Xotira qurilmasi. Bu qurilma informatsiyalarni eslab qolish, saqlash va uzatish uchun xizmat qiladi. Registrlar, yig'uvchi-matritsalar va eslab qolish qurilmalari (EQ)ga: tezkor eslab qolish qurilmalari (TEQ) va doimiy eslab qolish qurilmalari (DEQ) kiradi.

Ikkilik tizimidagi ko'p razryadli sonlarni yozib olish, eslab qolish va uzatish hamda ular bilan murakkab bo'lmagan mantiqiy amallarni bajarish uchun ***registrlar*** qo'llaniladi. 8.10- rasmda uch razryadli A sonini saqlashga xizmat qiluvchi registrning sxemasi keltirilgan. Sxemaning asosini uchta trigger va olti mantiqiy element HAM tashkil etadi.

Yozishdan oldin $X_R = 1$ signali beriladi va bu signal triggerlarning chiqishlarida nol signallarni yuzaga keltiradi, ya'ni $Y_0 = Y_1 = Y_2 = 0$ bo'ladi, bu esa hozirgacha bo'lgan registrdagi barcha sonlarning o'chirilganini va registrni yangi yozishga tayyor ekanligini bildiradi. Ikkilik tizimdagi a_0, a_1, a_2 razryadli sonlarni yozish $X_3 = 1$ signal berilganidan so'ng, ya'ni triggerlarning kirishlari sonli informatsiyani qabul qilib olishga tayyor bo'ladi. Yozib olingan son $X_3 = 0$ bo'lganida ham eslab qolinadi va saqlanadi. Eslab qolingan sonni sanash uchun $X_{SY} = 1$ signal beriladi va yozib olingan A ning razryadini Y_0, Y_1, Y_2 chiqishlarga uzatiladi. 8.10- rasmdagi registrning ishlashi, sonlarni parallel kod bo'yicha kiritishiga mos keladi, ya'ni registrda informatsiyaning hamma razryadlari bir paytda yoziladi. Sonlarni parallel yozish bilan bir qatorda, n takt bo'yicha bir kirish orqali n razryadli



8.10- rasm. Uch razryadli registrning sxemasi.

saqlanishi kerak bo'lgan sonlarni kiritishga mo'ljallangan ketma-ketlik kodi ham qo'llaniladi.

Registrga qo'shimcha bog'lanishlarni hamda mantiqiy elementlarni kiritish natijasida, kodni invertirlash, sonlarning kerakli razryadli qilish uchun o'ngga yoki chapga surish, sonlarni boshqa razryadli qilib uzatish va boshqa bir qancha shu kabi mantiqiy amallarni bajarish mumkin bo'ladi.

Saqlanayotgan informatsiyalar alohida ***bit*** va ***bayt*** o'lchov birliklarida o'lchanadi. ***Bit*** – bu bir razryadli ikkilik tizimidagi 1 yoki 0 qiymatli son. Bit guruhlari (razryadlar) so'zni tashkil etadi va ular 4, 8, 12 va 16 bitdan tashkil topgan bo'ladi. 8 bit uzunlikka ega bo'lgan so'z ***bayt*** deyiladi.

Yig'uvchi-matritsa. Bu qurilma registrga nisbatan xotirasi birmuncha yuqori bo'lgan qurilmadir. Matritsaning asosini 1 bit informatsiyani (bir razryadli ikkilik tizimidagi sonni) esda saqlovchi triggerlar tashkil etadi. Ko'p razryadli matritsalar bir razryadli matritsalarni parallel ulash natijasida hosil qilinadi. Informatsiyalarni matritsaga kiritish va undan olish barcha yacheykalarini o'zaro bog'lab turuvchi shinalarga mos signallar berilganidan so'ng amalga oshiriladi. Yacheykalarga bu signallar boshqarish shinalari (BSh) vositasida maxsus kommutatsiyalovchi qurilmalardan uzatiladi.

Yig'uvchi-matritsalarning funksional imkoniyatlari nisbatan yuqoriroq darajada bo'lgan turlaridan biri bu dasturiy mantiqiy matritsadir (DMM). Uning vazifasi EYularni boshqarishda talab etiladigan mantiqiy funksiyalarni shakllantirishdan iboratdir. DMMning kirish qismiga zarur bo'lgan moslashtiruvchi bloklar vositasida elektr yuritmani boshqarish va himoyalash tashqi qurilmalaridan informatsiya beriladi. Talab qilinayotgan dasturga mos ravishda olingan informatsiyalar qayta ishlanadi va mantiqiy signalga o'zgartirilib, moslashtiruvchi bloklar vositasida EYuning ijrochi elementlariga uzatiladi. DMM kontaktsiz sxemalar asosida elektr yuritmalarni boshqarish imkonini beradi.

Eslab qoluvchi qurilmalar (EQ) katta sig'imdagi informatsiyalarni saqlash imkonini beradi. Informatsiyalarni ko'p marta yozib oluvchi va sanovchi eslab qoluvchi qurilmalar tezkor ***eslab qoluvchi qurilmalar*** (TEQ) deb ataladi. Bu qurilmalarning asosiy kamchiligi undagi informatsiyalar ta'minlovchi manbada kuchlanish bo'lgandagina mavjud bo'lib, kuchlanishning o'chishi esa barcha informatsiyalarning yo'qolishiga olib keladi.

Yozilgan informatsiyalarni doimiy xotirada saqlash uchun xizmat qiluvchi eslab qoluvchi qurilmalar ***doimiy eslab qoluvchi qurilmalar*** (DEQ) deb ataladi. Bu qurilmalar, ularga yozilgan informatsiyalarni ta'minlovchi manbaning kuchlanishi o'chib qolganida ham benuqson saqlab qolishga qodirdir. DEQ larning informatsiyalarni saqlash sig'imi TEQlarnikidan katta, sxemasi nisbatan sodda va kam energiya iste'mol qiladi.

Vaqt qurilmalari. Bu qurilmalarga chastotasi 100–500 kHz (1- ijro) yoki 1–5 mHz (2- ijro) bo'lgan takt impulslarini hosil qilishga xizmat qiluvchi etalon chastota generatori, shuningdek, chiqish signali chastotasi 200 kHz gacha bo'lgan universal multvibratorlar kiradi.

Raqamli-analog qurilmalar. Bu qurilmalar tarkibiga quyidagi o'zgartkichlar kiradi: kod-kuchlanish o'zgartkichi (KKO'), ikkilik yoki ikkilik-o'nlik tizimli kodlarni o'zgarmas tok kuchlanishiga o'zgartiruvchi qurilmalar; impulslar ketma-ketligi chastotasini o'zgarmas tok kuchlanishiga o'zgartiruvchi va shuningdek, teskari o'zgartirishlarni amalga oshiruvchi chastota-kuchlanish o'zgartkichlar (ChKO') va kuchlanish-chastota o'zgartkichlar (KChO').

Moslashtiruvchi qurilmalar. Bu qurilmalar, raqamli qurilmalarning signallari EYuning boshqarish apparaturalari bilan o'zaro moslashtirish, mantiqiy qurilmalarning signallarini kuchaytirish va elektr zanjirlardagi mavjud bo'lgan galvanik (potensial) bog'lanishlarni bartaraf etish uchun xizmat qiladi.

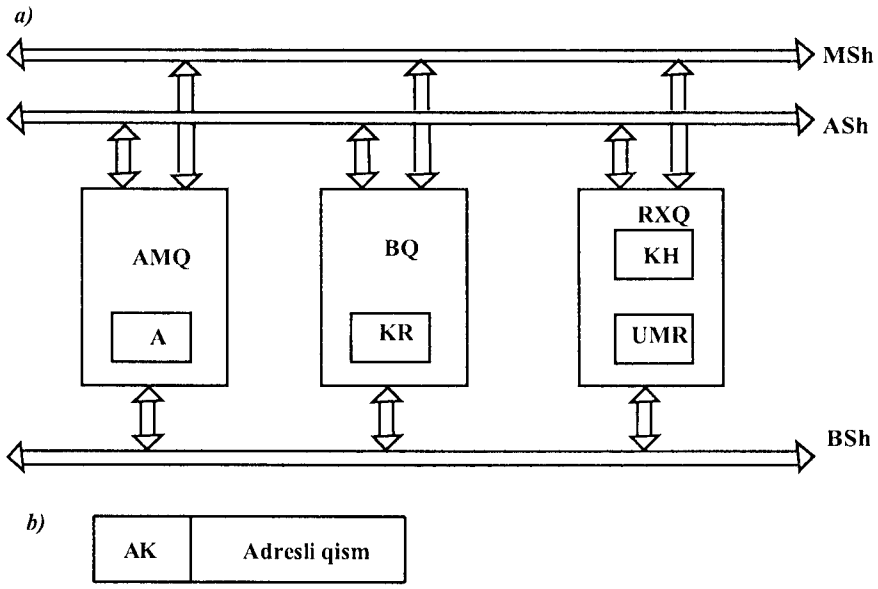
8.3. ELEKTROMEXANIK TIZIMLARNI BOSHQARISHNING MIKROPROTSESSORLI VOSITALARI

Mikroprotsessor (MP) deb, bir yoki bir necha katta integral sxema (KIS)lar bazasida yaratilgan va raqamli informatsiyalarni qayta ishlash hamda ular asosida boshqarish jarayonlarini amalga oshiruvchi dasturiy boshqariladigan qurilmaga aytiladi.

Mikroprotsessor xotirasiga joylashtirilgan dasturni o'zgartirish mumkin bo'lgani uchun ham moslanuvchan algoritm bo'yicha ishlash jarayonini boshqarish mumkin. MPlarning ishlatish jarayonida boshqaruv funksiyasining o'zgarishini xotirasidagi boshqa dastur bilan almashtirish natijasida amalga oshiriladi.

Mikroprotsessorning tarkibiy sxemasi. Bu sxemaga (8.11- *a* rasm) arifmetik-mantiqiy qurilma (AMQ), boshqarish qurilmasi (BQ) va registrli xotira qurilmasi (RXQ) kiradi. MPning bu asosiy qismlari quyidagi bog'lanish liniyalari – shinalar ma'lumotlar shinasi (MSh), adreslar shinasi (ASh) va boshqarish shina (BSh)si bilan o'zaro bog'langan bo'ladi.

Arifmetik-mantiqiy qurilmaning vazifasi ikkilik hisoblash tizimida berilgan qiymatlar ustida arifmetik va mantiqiy amallarni bajarishdir. Bu amal-



8.11- rasm. Mikroprotsessorning sxemasi (a) va komandalar tarkibi (b).

lar bajariladigan qiymatlar ***operandlar*** deb ataladi. Amallarni bajarishda, odatda, ikkita operandlar ishtirok etadi, ulardan biri alohida registr – akkumulator *A* da, ikkinchisi esa RXQ registrlarida yoki MPning xotirasida saqlanadi. AMQ ba'zida MPning amaliy qismi deb ham nomlanadi.

MP bloklarining ishlashini ta'minlovchi boshqarish signallarini ishlab chiqarish ***boshqarish qurilmasida*** amalga oshiriladi. BQ tarkibiga komandalarning bajarilishi vaqtini qayd qiluvchi komandalar registri (KR) kiradi.

Mikroprotsessor xotirasiga yozilgan dastur asosida ishlaydi.

Dastur. Axborotlarni berilgan algoritm bo'yicha qayta ishlashini ta'minlovchi komandalar ketma-ketligi dasturni tashkil etadi. Ta'kidlash lozimki, dasturning komandalari aniq ketma-ketlikda yozilgan bo'lib, qadam-baqadam bajariladi.

Dasturning har bir komandasi, qaysi operandlar bilan qanday amallar bajarilishi kerak va amallar natijalarini qaysi adreslarga joylashtirish kerakligi to'g'risida axborotlarga ega bo'lishi lozim. Buning uchun komanda 8.11- *b* rasmdagi tuzilishga ega bo'lishi kerak. Komandaning birinchi qismi amallar kodi (AK), ya'ni operandlar ustida bajariladigan amallarning xarakteri to'g'risida axborotlarga ega bo'lishi kerak (masalan, qo'shish, mantiqiy taqqoslash va hokazo). Komandaning ikkinchi qismi – amallar bajarilayotgan operandlarning joylashgan adreslari va natijalari qayd qilinishi kerak bo'lgan registrlar yoki xotira yacheykalari to'g'risida axborotlarga ega bo'lishi kerak.

Komandalar, adreslar va operandlar ikkilik hisoblash tizimidagi ko'p razryadli sonlar bilan ifodalanadi. Bu sonlar hamma raqamli qurilmalaridagi kabi kuchlanishning yuqori va past darajalarida ifodalanadi. Zamonaviy MP sakkiz va o'n olti razryadli sonlar ustida amallar bajarishga mo'ljallangan.

MPning dasturi bir necha usullar bilan yozilishi mumkin. Birinchi usul, komandalar to'g'ridan-to'g'ri mashina tilida yoziladi. Bunday usulda dastur tuzish ko'pgina hollarda noqulay va ayniqsa katta dasturlarni tuzish uchun ko'p vaqt talab etadi.

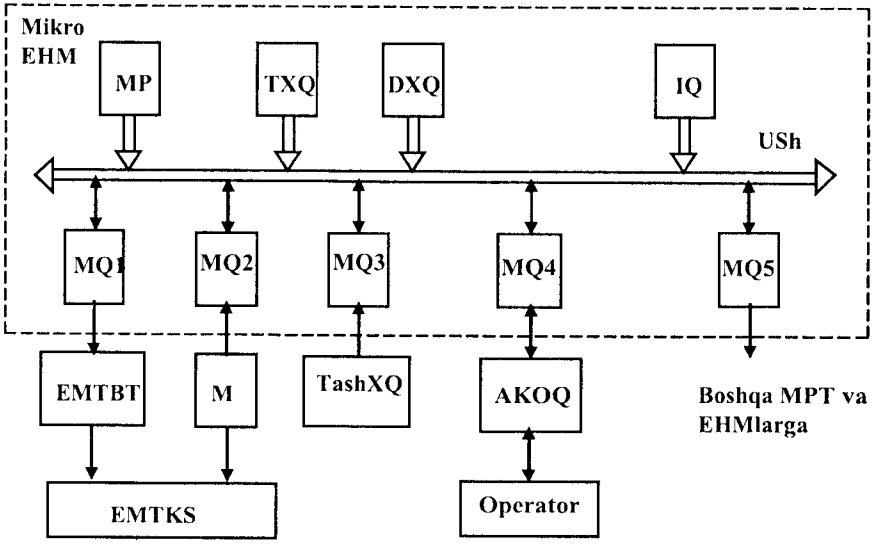
MPlarning dasturlarini tuzishda dasturlash tillaridan foydalanish birmuncha qulaydir. Dasturlash tillari ichida birmuncha past darajada bo'lgan Assembler dasturlash tili MPni dasturlash uchun qo'llaniladi va u shartli mnemokomandalar tarzida berilgan bir necha o'nlab komandalar turkumiga egadir. Masalan, bu til sakkiz razryadli MPlar uchun qo'llanilgan bo'lib, 80 turkum komandalardan iborat – arifmetik, mantiqiy, axborotlarni uzatish, boshqarishni uzatish va hokazo.

Dasturlash tillarining yuqori darajadagi tillar: FORTRAN, PASKAL, PL/M, BEYSIK, SI, ADA va ularning dialektlaridan foydalanilish za-

monaviy MP sxemalardan foydalanuvchilarga qulay va katta imkoniyatlar beradi. Bu tillarda tuzilgan dasturlar, kross-dasturlar deb nomlanuvchi alohida dasturlar yordamida mashina uchun tushunarli bo'lgan mashina kodi tizimiga o'tkaziladi.

8.11- *a* rasmda keltirilgan MPning sxemasini to'g'ridan-to'g'ri elektromexanik tizimlarni boshqarishda qo'llab bo'lmaydi. MPni EMT larni boshqarishda qo'llash uchun tarkibiga qo'shimcha xotira qurilmasi, axborotlarni kiritish va olish qurilmalari, impulslar takti generatori, EMTning boshqa bloklari bilan moslashtiruvchi qurilmalar kabi bir necha bloklari bo'lishi zarurdir.

Mikroprotsessorli tizim. MPning qayd qilingan qo'shimcha qurilma va bloklari mikprotsessor tizimi (MPT) ni tashkil etadi va uning tarkibiy tuzilish sxemasi quyidagi 8.12- rasmda keltirilgan.



8.12- rasm. Mikroprotsessorli tizimning tarkibiy sxemasi.

MPTning tarkibiga umuman olganda MP bilan bir qatorda tezkor xotira qurilmasi (TXQ) va doimiy xotira qurilmasi (DXQ); interfeys qurilmasi (IQ); tashqi obyektlar bilan moslashtiruvchi qurilma (MQ)lar; tashqi xotira qurilmalari (TashXQ); axborotlarni kiritish va olish qurilmasi (AKOQ); MSh, BSh va ASh shinalarni o'z ichiga olgan umumiy shina (USh)lar kiradi.

Bundan tashqari, bu sxemada tarikibiga energiya o'zgartkich, elektr motor va mexanik uzatmalarni o'z ichiga olgan elektromexanik tizimning kuch sxemasi ETMKS ham keltirilgan. MPT qurilmalarining bajaradigan vazifalarini qisqacha bayon etamiz.

TXQ va DXQ xotira qurilmalari dastur bo'yicha qayta ishlanishi kerak bo'lgan ma'lumotlar joylashtiriladi. Dastur bo'yicha qayta ishlashlar amalga oshiriladi va natijalari ham shu qurilmalarda saqlanadi. MPT ning imkoniyatlarini kengaytirish maqsadida TXQ va DXQlardan tashqari axborotlarni jamlovchi qo'shimcha TashXQlar sifatida magnit disklar ham ishlatiladi.

Axborotlarni kiritish va olish qurilmasi (AKOQ) operator bilan MPT orasidagi o'zaro muloqatni tashkil etishga xizmat qiladi. Bu qurilmalarga MPTning boshqarish pult klaviatura, printer, displey va boshqa shunga o'xshash amallarni bajaruvchi qurilmalar kiradi.

Moslashtirish qurilmalari (MQ) MPTning tashqi obyektlar bilan bog'lanishlarni ta'minlaydi. Ularning ijrosi va sxemalari turlicha bo'lishi mumkin. Xususan, moslashtirish qurilmalariga EMT koordinatalarining o'lchov o'zgartkichlari hamda boshqarish sxemalari bloklari bilan MPT ning o'zaro bog'lanishini ta'minlashda keng qo'llaniladigan elektr signallarni o'zgartiruvchi uzluksiz-raqamli (URO') va raqamli-uzluksiz (RUO') o'zgartkichlar (sxemada ular MQ1 va MQ2 bilan belgilangan) kiradi.

MQ2 va MQ3 qurilmalari MPTning ABOQ va TashXQlar bilan o'zaro bog'lanishlarni ta'minlaydi. Bu qurilmalar umumiy shina (USh)dan olinayotgan axborotlarni tashqi qurilmalarga uzatish yoki olish jarayonlarida oraliq xotira registri vazifasini bajaradi. Moslashtirish qurilmalarining ***kontroller (mikrokontroller)*** deb nomlangan turi murakkabroq funksiyalarni bajarishi va dasturlanishi mumkin.

MQ5ning vazifasi MPTning boshqa MPT va EHMlar bilan birgalikda ishlashini ta'minlashdan iborat. Bunday turdagi qurilmalar ***adapterlar*** deb ataladi.

Interfeys qurilmasi (IQ) – bu MP, tashqi xotira va tashqi qurilmalarga kiruvchi TashXQ, M hamda AKOQ qurilmalar bilan o'zaro axborotlarni uzatishni tashkil etishni ta'minlovchi elektron sxemalar, shinalar va algoritm (dastur)lar yig'ilmasidir. Qisqacha aytganda, IQ MPTning ish rejimi o'zgarganida, uning keltirilgan tashqi qurilmalar bilan talab qilingan darajadagi o'zaro muvofiqlikni ta'minlaydi. Tashqi biror qurilma signali asosida MPTning bajarilib turilgan dasturdan ikkinchi dasturga o'tib ishlashi tipik misol bo'la oladi. Bunday o'tish ***uzilish*** deb ataladi. Uzilish dasturi tugaganidan so'ng, IQ MPTni uzilgan dastur bo'yicha qayta ishlashini ta'minlaydi.

Taymer, xotiraga to'g'ridan-to'g'ri murojaatli bloklar, uzilishni tashkil etuvchi bloklar IQlarga misol bo'la oladi.

MP, xotiralar, IQ, MQ va UShlarning yig'ilmasi mikro EHM deb ataladi.

MPT va mikro EHM bajaradigan vazifasiga ko'ra universal va maxsus turlarga bo'linadi.

Universal turdagi MPT va mikro EHMlar turli obyektlarni, chunonchi texnologik jaryonlarni, ishlab chiqarish korxonalarini va hokazolarni (shu jumladan elektr yuritmalarni ham) boshqarish bilan bir qatorda xilma-xil matematik amallarni ham bajara oladi. Buning uchun MPT 8.12- rasmda keltirilgan bir necha tashqi qurilmalarga ega.

Maxsus MPT yaratilish jarayonidayoq ma'lum bir vazifaga mo'ljallab loyihalanadi. Masalan, elektr yuritmalarni, maishiy asbob va qurilmalarni, o'yin avtomatlarini va hokazolarni boshqarishga mo'ljallangan bo'ladi. Shuning uchun bunday MPTlar bajarilishi kerak bo'lgan dasturga va bu dasturni amalga oshirish uchun zarur bo'lgan qurilmalardangina iborat bo'ladi.

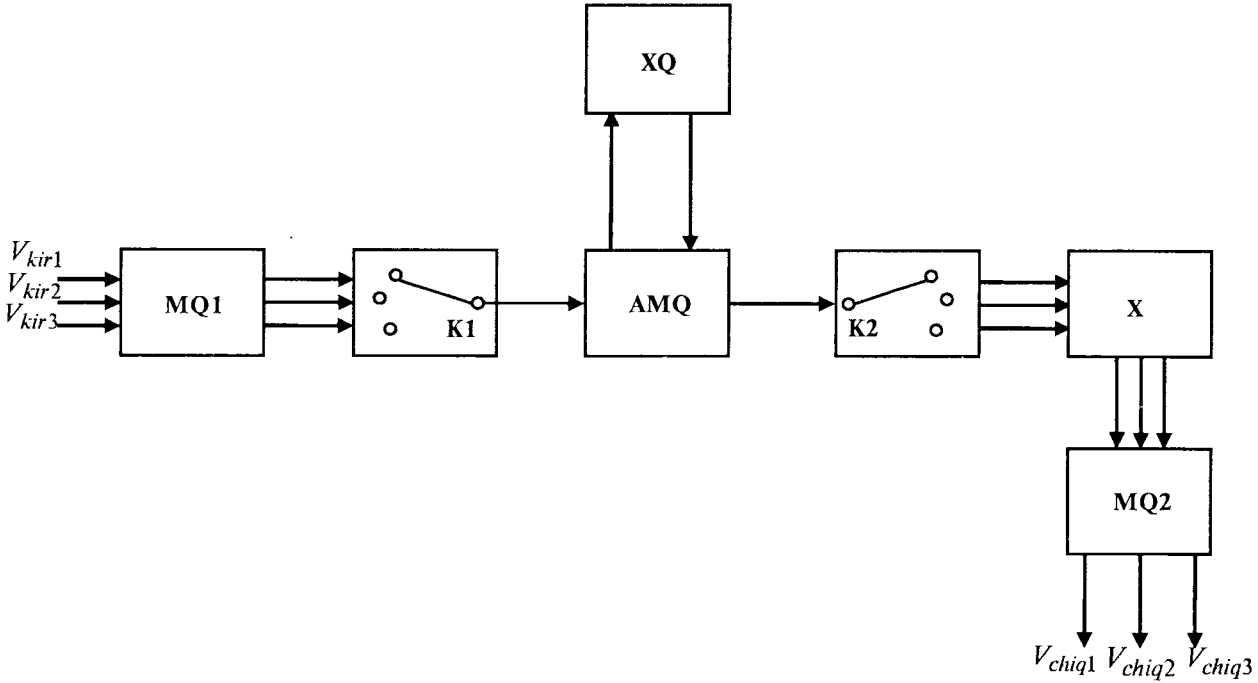
Maxsus MPT larga ***dasturlangan kontroller (DK)***lar misol bo'la oladi. DKning tarkibiga (8.13- rasm) uning ishlashini ta'minlovchi dastur joylashtirilgan xotira qurilmasi (XQ); ketma-ket berilayotgan signallar asosida mantiqiy amallarni bajaruvchi mantiqiy protsessor, ya'ni arifmetik-mantiqiy qurilma (AMQ); kirish va chiqish signallarining kommutatorlari K1 va K2; DKning kirish hamda chiqish signallarini moslashtiruvchi qurilmalar MQ1 va MQ2; mantiqiy amallarning natijalari kelib tushadigan xotira (X).

Texnologik jarayonning ketishi, EYu alohida qismlarining ish rejimlari, himoya tizimi holati va boshqa ko'rsatkichlar bo'yicha axborotlarga ega bo'lgan V_{kir1}, V_{kir2},..., $V_{kir.n}$ kirish signallari MQ1 ning kirishiga beriladi, u yerda bu signallar galvanik bog'liqlikdan xalos etiladi va DKda qo'llaniladigan mos ko'rinishli va qiymatli signallarga o'zgartiriladi.

Hosil qilingan signallar K1 ning kirishiga beriladi va u yerda XQdan berilayotgan navbatdagi komandada adresi yozilgan signal AMQga uzatiladi.

XQdagi dasturda qayd etilgan o'zgartirishlar AMQ da bajarilganidan so'ng signallar kommutator K2 orqali xotira registri (X)ga uzatiladi va shundan keyin DKning chiqishiga beriladi.

Amallar ketma-ketlik prinsipida bajarilgani uchun axborotlarni qayta ishlash uchun vaqt ko'p ketayotgandek ko'rinadi. Aslida esa har bir amalni bajarish uchun bor yo'g'i bir necha mikrosekund ketishini hisobga oladigan bo'lsak, u holda DKning tezkorligi mutloq ko'p hollarda yetarli darajadadir.



8.13- rasm. Dasturiy kontrollerning tarkibiy sxemasi.

8.4. ELEKTROMEXANIK TIZIMLARNI MIKROPROTSESSORLI BOSHQARISH TIZIMLARI

Elektr motorlarni mikroprotsessorli boshqarish elektr motor, rostlagichlar, rostlanuvchi ta'minot manbayi, o'lchov o'zgartkichlari, uzatish qurilmalari moduli darajasida qo'llanilishi mumkin.

Bunda mikroprotsessordan modul darajasida boshqarishning mantiqiy va hisoblash masalalarini yechishda foydalaniladi. Ular tizimga birlashtirilganida umumiy hisoblash qurilmasi orqali boshqariladigan mikroprotsessor tarmog'i hosil bo'ladi.

Boshqarishning bir qismi qattiq mantiqiy qurilmalar yordamida bajariladi. EMTlarni mikroprotsessorli boshqarishning tarkibiy tuzilishi turlicha bo'lishi mumkin. 8.14- rasmda elektromexanik tizimlarning asosini tashkil etuvchi elektr yuritmalarni (EYu) mikroprotsessorli boshqarish tizimining tipik tarkibiy tuzilishi keltirilgan va bu tizim quyidagi asosiy qurilma va bloklardan iborat:

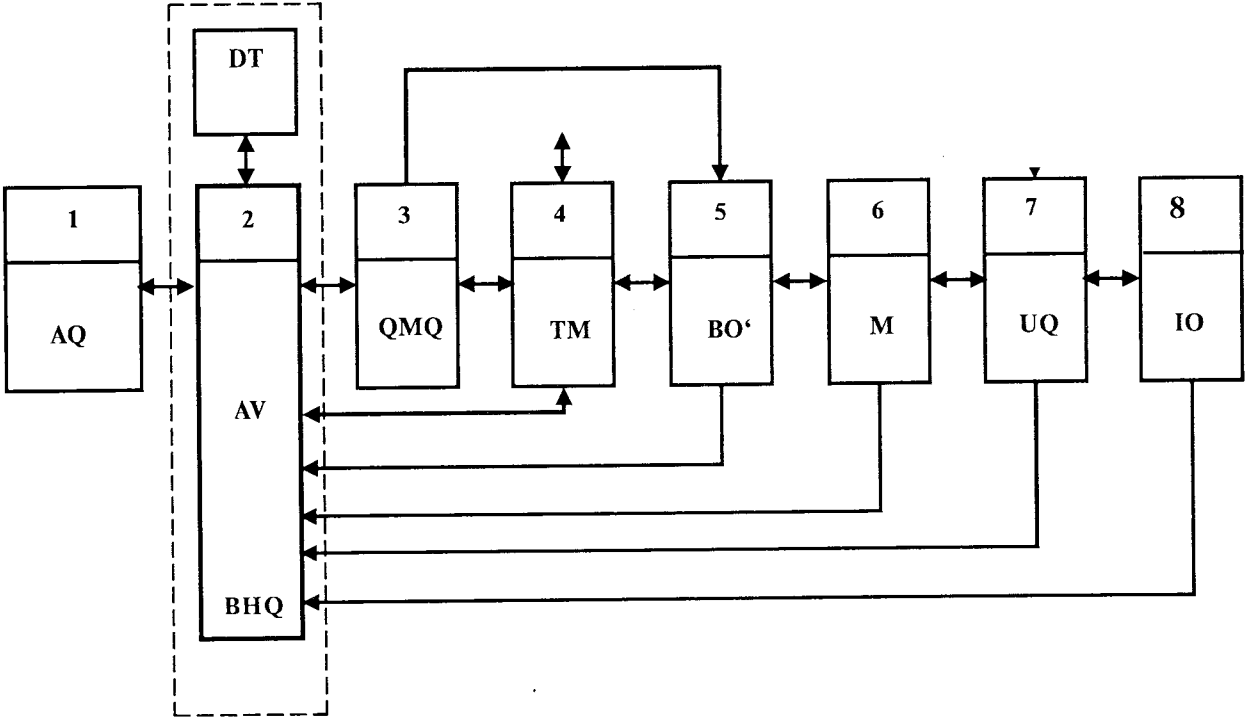
1 – mikro EHM yoki operator bilan aloqa qurilmasi (AQ).

2 – apparat vositalari (AV) va dasturiy ta'minot (DT) dan iborat bo'lgan boshqaruvchi hisobot qurilmasi (BHQ).

Apparat vositalari – bu qat'iy kommutatsiya amallarini bajaradigan avtomat bo'lib, maxsus dasturlardan foydalanish hisobiga o'ziga xos qo'llanishga ega bo'lgan funksional qism hisoblanadi. Boshqarish tizimi BHQ va EHM dan AQ orqali berilayotgan komandalar asosida 3–8 qurilmalarning chiqish qismlarida hosil bo'lgan signallarni va boshqarish signallarini ishlab chiqaradigan markaziy qismdir.

3 – qat'iy mantiqiy qurilma (QMQ) boshqarish apparatlari ayrim bloklari qat'iy ulangan tizimni tashkil etadi. Bu apparatlar EHM ishdan chiqqanda boshqarish jarayonini mustaqil ravishda davom ettirishga xizmat qiladi. Ko'p holatlarda, agar EYuni boshqarishda yuqori tezkorlik talab etilsa, u holda bu bloklar yoki ularning qismlari avtomatik ishlash rejimida ishtirok etadi. QMQning chiqish signallari ta'minot manbayi (TB) va kuch o'zgartkich (KO') kirishlariga beriladi.

4 – boshqariladigan ta'minot manbayi (TM). Chastotani o'zgartirib tezligi rostlanadigan asinxron elektr yuritmalar uchun TM sifatida tiristorli yoki tranzistorli chastota o'zgartkichlar qo'llaniladi. «Impuls kengligi o'zgartkichi – o'zgarmas tok motori» tizimida boshqarilmaydigan to'g'rilagich TM sifatida ishlatiladi. «Boshqariluvchi to'g'rilagich – o'zgarmas tok motori» tizimida esa TM va boshqariluvchi o'zgartkich (BO') funksiyalariga ko'ra birlashtirilgan bo'ladi. TM boshqarish signalini BHQ va QMQlardan



8.14- rasm. Mikroprotsessorli boshqariladigan elektr yuritmaning tarkibiy tuzilishi.

oladi, teskari bog'lanish zanjiri bo'yicha diagnostika va ko'rsatkichlari holati to'g'risida axborotlari yuboriladi.

5 – boshqariluvchi o'zgartkich (BO') elektr yuritma kuch zanjirini talab etilgan ko'rsatkichlardagi elektr energiya bilan ta'minlaydi. Odatda, BO'lar boshqariluvchi to'g'rilagich, impuls kengligi boshqariladigan o'zgartkichlar, o'zgaruvchan tok kuchlanishi rostlagichlari, chastota o'zgartkichlardan iborat bo'ladi. Motorning qanday turdaligiga qarab va qanday ish rejimida ishlashiga mos ravishda BO'da QMQ hamda BHQlaridan beriladigan signallar hamda teskari bog'lanish zanjirlaridan olinayotgan axborotlar asosida elektr energiyaning ko'rsatkichlari rostlanadi.

6 – elektr motor (M) tezlik, aktiv qismlarining haroratini nazorat qiluvchi o'lchov o'zgartkichlari va motorning o'zidan iborat modulni tashkil etadi.

7 – uzatish qurilmasi (UQ): ulanish muftasi, reduktor va zarur bo'lgan tezlik, tezlanish, moment va hokazo o'lchov o'zgartkichlaridan iborat. Ba'zi bir hollarda elektromagnit muftalarning qo'llanilishi elektr yuritma tezligini rostlash imkonini beradigan murakkab uzatish qurilmalari ham ishlatiladi.

8 – texnologik mashina va mexanizmlarning ijrochi organi (IO) mos o'lchov o'zgartkichlari bilan birga masalan, keskich, qamragich, va hokazolar ham bo'lishi mumkin.

Ko'pgina hollarda konstruktiv jihatdan bir nechta qurilmalar bitta modulga birlashtirilgan bo'lishi mumkin. Masalan, motor-transport sanoat roboti g'ildiragining moduli BO', M, UQ VA IO hamda ularni boshqaradigan MP tizimidan iborat bo'ladi. Modulda ba'zi bir qurilmalar, masalan, konstruktiv jihatdan IO bilan birlashgan yuritmalarda UQ bo'lmasligi ham mumkin.

O'zaro fuksional bog'lanishlarni tushunish uchun axborotlarning o'tishini ko'rib chiqamiz. Tizimning asosiy axborot komponenti sifatida mikro EHM yoki dasturlanadigan kontroller qo'llaniladigan BHQdir. BHQning kirishiga boshqa EHMdan ham axborotlar kelib tushadi. BHQ EHMdan bir necha metr va undan ortiqroq masofada joylashgan bo'lsa, bu ko'rsatma axborot ketma-ket kod tarzida uzatiladi. Lekin shu bilan birga BHQ parallel kodda (8 yoki 16 razryadi) ishlaydi. Kodlarni o'zgartirish uchun tutashish qurilmasi ishlatiladi. BHQni tizimning 3–8 qurilmalari bilan aloqasi (bog'lanishi) analog, raqamli va impuls signallar yordamida amalga oshiriladi. Buning uchun BHQ tarkibida analog-raqamli, raqam-impulsli (RIO'), impuls-raqamli (IRO') o'zgartkichlar kiritiladi. Operator bilan bog'lanish uchun kiritish-chiqarish qurilmasi ishlatiladi. Bu

qurilma sifatida displeyga ega bo'lgan pult, chop etuvchi qurilma va hokazolar ishlatiladi.

BHQ, TM va BO' ko'rsatkichlarining holati hamda jarayonning kechishi to'g'risida o'lchov o'zgartkichlardan axborot kelib turadi. Bu axborotlar ishlash qobiliyatini nazorat qilish va boshqarish signallariga tuzatish kiritish uchun ishlatiladi.

Motor, oraliq qurilma va ish organlari ham holat o'lchov o'zgartkichlari bilan ta'minlangan hamda ulardan axborot doimiy ravishda yoki talab etilganda BHQga berib turiladi.

NAZORAT UCHUN SAVOLLAR

1. *Operatsion o'zgarmas tok kuchaytirgichi qanday xususiyatlarga ega?*
2. *Proporsional rostlagichning chiqish signali kirish signali bilan qanday bog'lanishda bo'ladi?*
3. *Elektr yuritmalarni boshqarishda asosan qanday turdagi analog rostlagichlar ishlatiladi va ularning chiqish tavsiflari kirish signali bilan qanday bog'lanishda bo'ladi?*
4. *Elektr yuritmalarda qanday turdagi vazifalovchi analog qurilmalar ishlatiladi?*
5. *Elektr yuritmalarni boshqarishda asosan qanday turdagi raqamli qurilmalar ishlatiladi va ularning vazifalari nimalardan iborat?*
6. *Mantiqiy raqamli qurilmalarga qanday qurilmalar kiradi?*
7. *Triggerlar qanday vazifani bajaradi?*
8. *Elektr yuritmalarni mikroprotsessorli boshqarish tizimi qanday qurilmalardan tashkil topgan va ularning vazifalari nimalardan iborat?*
9. *Arifmetik-mantiqiy qurilma qanday funksiyani bajaradi?*
10. *Dasturiy kontrollerning mikroprotsessorli boshqarish tizimidan farqi nimada?*

9-bob. ASINXRON MOTORLARNI EKSPLUATATSIYA QILISHDA ENERGIYADAN FOYDALANISH SAMARADORLIGINI OSHIRISH

9.1. TARMOQ FAZALARIDAGI KUCHLANISHLARNING NOSIMMETRIKLIGI VA ULARNI YO'QOTISH

Katta quvvatdagi har xil turdagi bir fazali va uch fazali elektr yoy pechlarining ishlatilishi sababli sanoat korxonalarining elektr tarmoqlaridagi fazalari orasida tok hamda kuchlanishlarning nosimmetrik taqsimlanishiga olib keladi. Elektr tarmoqdagi kuchlanish bo'yicha nosimmetriya ayniqsa asinxron motorlarning ish rejimiga salbiy ta'sir qiladi. Fazalardagi kuchlanishlarning simmetrik bo'lmasligi asinxron motorlarning ishlash muddatiga ta'siri katta bo'ladi. Asinxron motorning teskari yo'nalishdagi tok bo'yicha qarshiligi to'g'ri yo'nalishdagiga nisbatan 5–7 marta kam ekanligini hisobga olsak, u holda ozgina qiymatdagi teskari yo'nalishdagi kuchlanishning paydo bo'lishi teskari yo'nalishdagi tok qiymatining sezilarli ortishiga olib keladi. Bu tok to'g'ri yo'nalishdagi tok bilan qo'shilib stator va rotor chulg'amlarining qo'shimcha qizishiga olib keladi. Bu esa o'z-o'zidan chulg'am izolatsiyasini tez eskirishiga va motor quvvatining kamayishiga sabab bo'ladi. Misol uchun kuchlanish nosimmetriyasi 4% ga teng bo'lsa, to'liq quvvatda ishlayotgan motorning ishlash muddati taxminan 2 baravarga kamayadi; nosimmetriya 5% bo'lganda motorning quvvati 5–10% ga kamayadi; nosimmetriya 10% bo'lganda esa motorning quvvati motorning turiga qarab 20–50% gacha kamayishi mumkin.

Asinxron motorlarda kuchlanish bo'yicha nosimmetriyaning bo'lishi asosiy aylantiruvchi momentga qarshi tormozlovchi momentni yuzaga keltiradi va u quyidagi formula bilan aniqlanadi:

$$\frac{M_2}{M_{NOM}} = \frac{s}{2-s}\frac{Z_1^2 U_2^2}{Z_2^2 U_{NOM}} = \frac{s}{2-s}\frac{Z_1^2}{Z_2^2}E_1^2, \qquad (9.1)$$

bunda: s – sirpanish; Z_1 hamda Z_2 – motorning to'g'ri va teskari yo'nalishi bo'yicha to'liq qarshiliklari.

Shunday qilib, motor momentining kamayishi kuchlanishlar nosimmetriyasining kvadratiga to'g'ri proporsional ekanligi ayon bo'ldi.

Asinxron motor va boshqa induktiv xarakterdagi iste'molchilarning reaktiv quvvatlarini kompensatsiyalovchi kondensator qurilmalarining normal ishlashi uchun ham salbiy ta'sir qiladi, ya'ni tarmoqdagi nosimmetriyani

yanada ham orttirib yuboradi. Fazalar bo'yicha reaktiv quvvatning taqsimlanishi notekis bo'lib, umumiy reaktiv quvvat qiymati o'zgarib ketadi. Kuchlanishning nosimmetrik holatidagi kondensatorlar batareyasining reaktiv quvvati kuchlanishning simmetrik holatidagi kondensatorlar batareyasi reaktiv quvvatiga nisbati quyidagi ko'rinishga ega bo'ladi:

$$\frac{Q_{NSM}}{Q_{NOM}} = \frac{U_{NOM}^2 - U_1^2}{U_{NOM}^2} = \left(1 + E_2^2\right). \qquad (9.2)$$

Kondensator batareyasining normal uzoq muddat ishlashi uchun har bir fazadagi quvvat isrofi me'yoriy nominal qiymatidan ortmasligi kerak. Bu shart kondensator batareyalarining to'liq reaktiv quvvatidan foydalanishga yetarli bo'lmay, balki quvvatning mumkin bo'lgan yuqori chegarasinigina belgilaydi:

$$Q = \frac{Q_{NOM} U_2^2 (1 + E_2^2)}{U_{K.Yu.F.}^2}, \qquad (9.3)$$

bunda: $U_{K.Yu.F.}$ – eng ko'p yuklangan fazadagi kuchlanish.

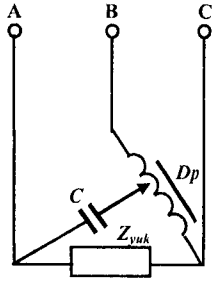
Kuchlanishlarning fazalar bo'yicha nosimmetrik bo'lishi ko'p fazali to'g'rilagichlarning ish rejimiga ham salbiy ta'sir qiladi. Agar simmetrik kuchlanishlarda ishlayotgan ko'p fazali to'g'rilagichning hamma tiristorlaridagi toklarning qiymatlari bir xil bo'ladigan bo'lsa, u holda fazalardagi kuchlanishlarning nosimmetriyaligi tiristorlardagi toklarning qiymatiga katta ta'sir qiladi. Natijada to'g'rilagichlarning ruxsat etilgan quvvati pasayadi, bir qism tiristorlardagi yuklanish toklarining qiymati katta bo'lishiga olib keladi.

Kuchlanishlarning nosimmetriyaligi 3, 6, 12 fazali va boshqa to'g'rilagich sxemalarining samaradorligini pasaytiradi. Tokning ikkilangan chastotali garmonik tashkil etuvchilari paydo bo'lib, ularning amplitudasi nosimmetriya koeffitsiyentiga to'g'ri proporsional bo'ladi. Bu garmonik tashkil etuvchilar silliqlovchi filtrlar kondensatorlarini o'ta yuklanishiga olib keladi va ularning ishdan chiqishini tezlashtiradi.

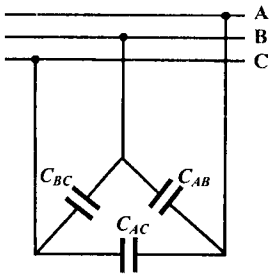
Tarmoqdagi nosimmetriyani kamaytirish uchun alohida simmetriyalovchi qurilmalar ishlatiladi. Bir fazali induktiv xarakterdagi yuklanishni uch fazaga ulashda droselli bo'luvchi sxemadan foydalanish mumkin (9.1- rasm). Bunday simmetriyalovchi qurilmalar yuklanish xarakteriga qarab boshqariluvchi va boshqarilmaydigan variantlarda bajariladi.

Ikki va uch fazali nosimmetrik yuklanishlarni kichik quvvat koeffitsiyentli simmetriyalovchi qurilma – nosimmetrik kondensator batareyalaridan ibo-

rat sxemalar yordamida fazalardagi nosimmetriklikni kamaytirish mumkin (9.2- rasm).



9.1- rasm. Sig'im va drosselli simmetriyalovchi qurilmaning yuklanishga ulanish sxemasi.



9.2- rasm. Uch fazali sig'imli simmetriyalovchi qurilmaning ulanish sxemasi.

Umuman olganda har bir fazaga ulangan kondensator batareyalarining quvvati bir xil bo'lmaydi:

$$Q_{C_1CB} \neq Q_{C_2BC} \neq Q_{C_3CA}. \qquad (9.4)$$

Har qanday simmetriyalovchi qurilmalardan foydalanish qo'shimcha sarmoya sarfi va elektr energiya isrofi bilan bog'liqdir. Agar fazalar bo'yicha yuklanishni simmetrik taqsimlashning imkoni bo'lmasa, simmetriyalovchi qurilmalar o'rniga «yulduz-yulduz» sxemasi bo'yicha chulg'amlari ulangan transformator o'rniga chulg'amlari «yulduz-zigzak» sxemasi bo'yicha ulangan transformatorni ishlatish ham samara beradi. Bunda quvvat isrofi va transformatorning narxi 2–3% ga ortadi. Ammo alohida simmetriyalovchi qurilmaning yo'qligi elektr energiya isrofini 5–8% ga va shuningdek, sarmoya sarfining ham kamayishiga olib keladi.

Har qanday holatlarda ham simmetriyalovchi qurilmalarni ishlatish yoki boshqa tadbirlar natijasida nosimmetriyani yo'qotish yoki kamaytirish texnik-iqtisodiy hisob-kitoblar asosidagina amalga oshiriladi.

9.2. KUCHLANISHNI $[U_F]-[U_L]$ ULANISH ASOSIDA BOSHQARISH

Uch fazali o'zgaruvchan tok tizimida kuchlanishni rostlash fazalar kuchlanishi tizimidan liniya kuchlanishlar tizimiga o'tish yoki aksincha liniyalar kuchlanishi tizimidan fazalar kuchlanishi tizimiga o'tish bajariladi. Bu rostlash pog'onali bo'lib, kontaktsiz kommutatsion apparatlar

yordamida amalga oshiriladi. Elektr energiyadan iqtisod qilish nuqtayi nazaridan bu usul ancha qulaydir. Masalan, agar asinxron motorning yuklanganligi 40% dan kam bo'lsa, u holda stator chulg'ami «uchburchak» ulangan sxemadan «yulduzcha» sxemasiga o'tkazilganda, har bir fazadagi kuchlanish 3 martaga kamayadi va natijada motor energiya tejamkorlik rejimida ishlay boshlaydi. Kommutatsion apparatlar vazifasini tiristorlar yoki katta quvvatli tranzistorlar bajarib, ular kalit ish rejimida ishlaydi. Asinxron motorning yuklanish koeffitsiyenti qiymatiga qarab, u yoki bu sxema stator chulg'amlarini avtomatik ulab, motorning butun ishlashi davomida elektr energiyadan tejamkorlik bilan foydalanish imkonini beradi. 9.3-rasmda asinxron motor chulg'amini λ / Δ sxemalar bo'yicha ulab, kuchlanishini rostlashga xizmat qiluvchi tiristorli qayta ulagichning anod bo'yicha *(a)*, neytrali izolatsiyalangan *(b)* va ajratilgan katod bo'yicha boshqariladigan (*d*) kuch sxemalari ko'rsatilgan.

Sanoat qurilmalaridagi reaktiv quvvatni kompensatsiya qilishda kondensator batareyalaridagi kuchlanishni pog'onali rostlash yaxshi samara beradi. Kondensator qurilmalaridagi (KQ) reaktiv quvvatning kuchlanishga bog'liqligi quyidagi ifoda bilan aniqlanadi:

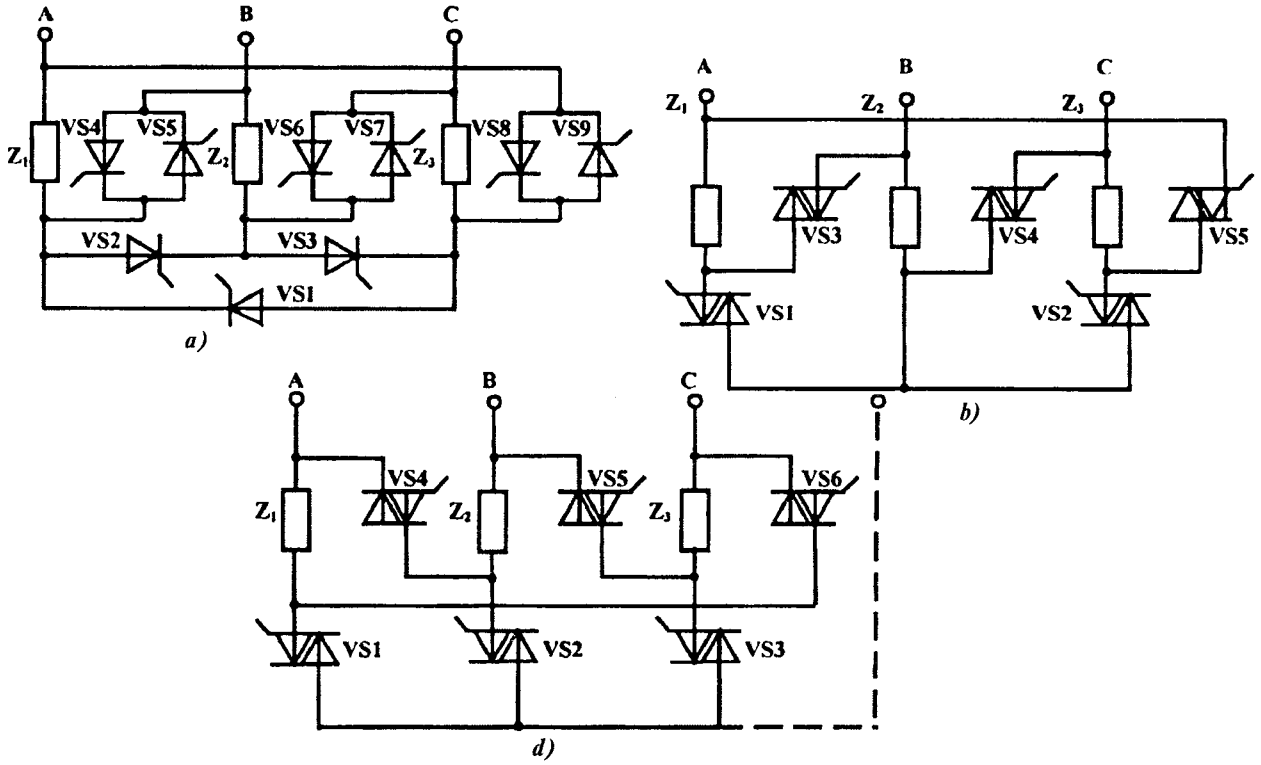
$$Q_{KQ} \equiv U_T^2, \tag{9.5}$$

bunda: U_T – tarmoqdagi kuchlanish qiymati.

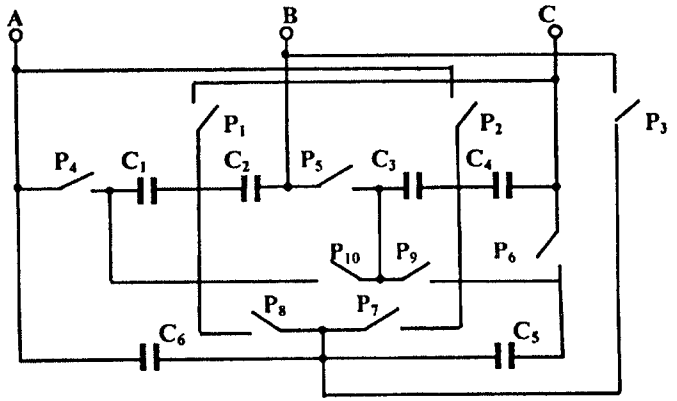
KQlar tiristorli kuchlanish rostlagichlar orqali tarmoqqa ulansa, u holda kondensatorlardagi kuchlanishni rostlash hisobiga Q_{KQ} ni boshqarish mumkin bo'ladi. Biroq zanjirda yuqori chastotali tashkil etuvchilarning tarmoqqa ta'siri sezilarli bo'ladi. Kondensatorlar bilan bir qatorda boshqariladigan reaktorlarni qo'llash kondensator qurilmalarining narxini ham sezilarli oshirib yuboradi. Kondensator batareyalarining seksiyalari sonini oshirish ham sarmoya sarflarini oshirib yuboradi va ko'pincha o'zini oqlamaydi.

Kondensator batareyalarining tarmoqqa ulanishini «yulduzcha» sxemadan «uchburchak» sxemasiga va aksincha ulashni amalga oshirish kondensator batareyalarining reaktiv quvvatlarini keng diapazonda rostlash imkonini beradi. Ko'p seksiyali KQlarda rostlash pog'onalari soni $K_R = 2^N - 1$ bir pog'onali rostlashdan to $K_R = 3^N - 1$ (bunda N – seksiyalar soni)gacha bo'ladi.

9.4- rasmda seksiyalar quvvati 1 : 4 nisbatda bo'lgan bir va ikki pog'onali seksiyalari boshqariladigan ikki seksiyali KQning reaktiv quvvati rostlanishi ko'rsatilgan.



9.3- rasm. Kuchlanishni rostlashga xizmat qiluvchi tiristorli qayta ulagichlarning sxemalari.



9.4- rasm. Kondensator batareyalarining tarmoqqa ulanish sxemasi.

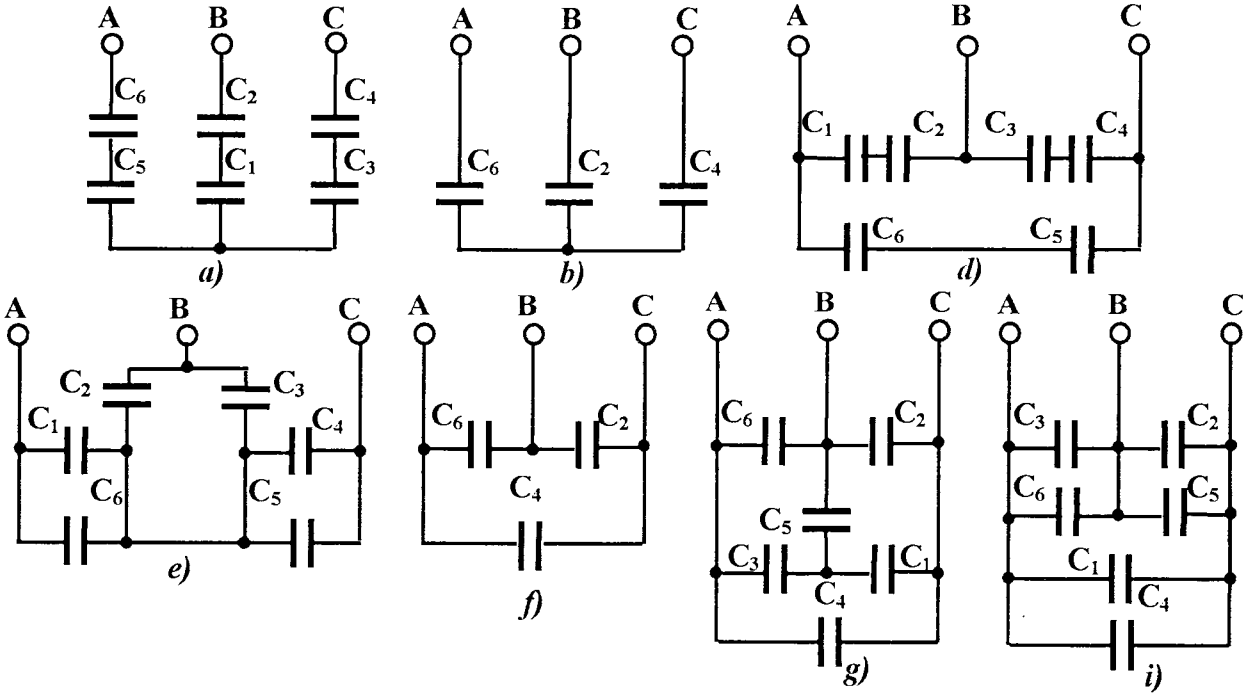
9.5- rasmda ko'p pog'onali KQning sxemasi keltirilgan bo'lib, tarmoqqa C_1-C_6 kondensatorlar «oltiburchak» sxemasi – maksimal variant bo'yicha tarmoqqa ulanish imkonini beradi. KQning tarmoqqa ulanish sxemalarida hosil qiilinayotgan reaktiv quvvatning rostlanish pog'onalariga to'g'ridan-to'g'ri bog'liqligi asosida reaktiv quvvatlarning nisbati 1 : 2 : 3 : 4 : 6 : 8 : 12 bo'lgan quvvatlarni hosil qilish imkonini beradi.

9.6- rasmda keltirilgan sxema C_1-C_3 kondensatorlarning «uchburchak» sxemasidan «yulduzcha» sxemasiga ulanish va aksi bo'yicha tarmoqqa ulash sxemasi ko'rsatilgan, bunda $VS1-VS10$ tiristorlar kalit rejimida ishlaydi.

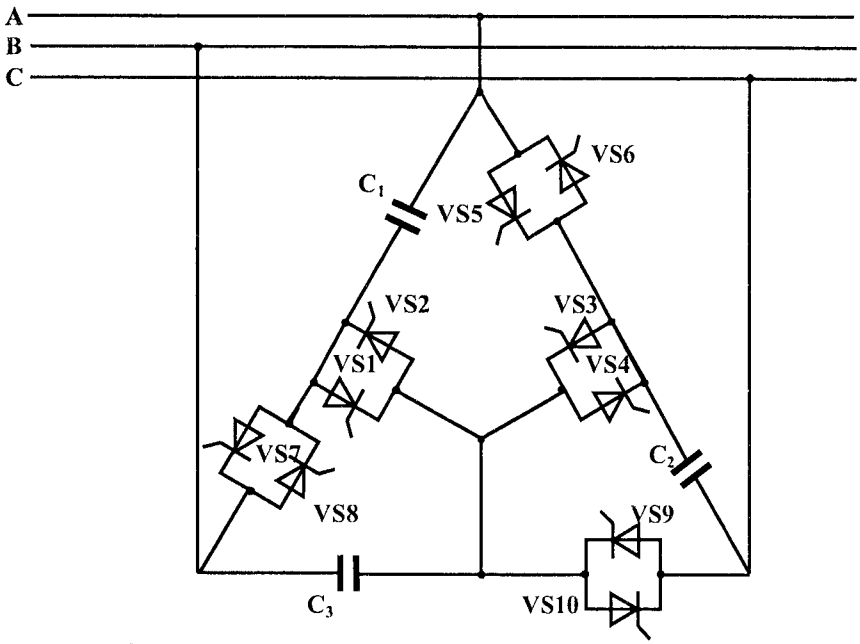
Boshqariladigan KQlarning qo'llanilishi elektr iste'molchilarning talab qilayotgan reaktiv quvvatiga bog'liq ravishda kerakli miqdorda reaktiv quvvat bilan avtomatik uzluksiz ta'minlash imkonini beradi.

9.3. TEZLIGI ROSTLANMAYDIGAN ASINXRON MOTORLARNING MINIMUM STATOR TOKI ISH REJIMI

Asinxron motor ishlayotgan vaqtida stator chulg'ami kuchlanishining chastotasi $f = 50$ Hz = const ekanligini va yuklanish momentining nominal qiymatidan kichik, ya'ni $\mu_C \leq 1$ ekanligi uchun motor magnit tizimi to'yinmagan bo'ladi, motor magnitlanish tavsifining to'g'ri chiziqli qismida ishlaydi va shuning uchun $\phi = \gamma$ o'rinli bo'ladi (bunda $\gamma = U_1 / U_{1N}$ – stator chulg'amiga berilayotgan kuchlanishning nisbiy qiymati). Shunda sta-



9.5- rasm. Kondensatorlarni ko'p burchakli sxemalar bo'yicha ulanish sxemalari keltirilgan.



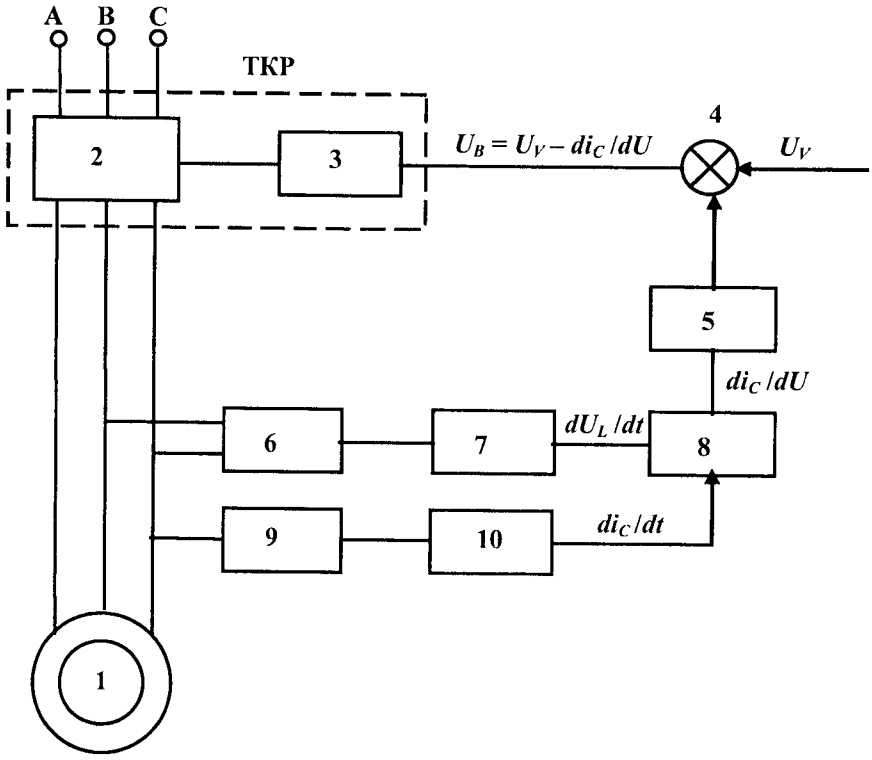
9.6- rasm. Kondensator batareyalarining «uchburchak» va «yulduzcha» ulanish sxemalari.

tor toki i_1 ning yuklanishga bog'liq eng kichik qiymatda bo'lishi sharti quyidagi tenglama orqali aniqlanadi:

$$\frac{d(i_1)}{d\gamma} = 0. \qquad (9.6)$$

Bu rejimni amalga oshirish 9.7- rasmda keltirilgan asinxron motorli ekstremal avtomatik boshqarish tizimida amalga oshiriladi.

Jamlovchi qurilma (4)ning birinchi kirishiga vazifalovchi signal U_V beriladi (ushbu holda o'zgarmas tokning rostlanadigan kuchlanishi) asinxron motor (1)ning ishga tushib ketishi vaqtida elektr yuritma tokining minimum qiymati bilan ishlash rejimi ko'zda tutilmaganligi uchun esda saqlash qurilmasi (5) berk holatda bo'ladi va tiristorli kuchlanish rostlagichi TRK ning kuch sxemasi (2) tiristorlarini boshqarish bloki bo'lgan impuls-faza boshqarish tizimi IFBT (3)ning kirishiga jamlovchi qurilma (4)ning chiqishidan $U_B = U_V$ signali beriladi. Bu TRKning kuch sxemasining chiqishida U_{max} ning shakllanishiga mos keladi va bu asinxron motorning nominal kuchla-



9.7- rasm. Minimum stator toki rejimida ishlaydigan asinxron motorli ekstremal avtomatik boshqarish tizimining funksional sxemasi.

nishi $U_N$ga tengdir. Asinxron motor ishga tushganidan so'ng TRKning kuch sxemasining chiqishida kuchlanish motorning yuklanish toki bo'yicha bevosita tok o'lchov o'zgartkichi (9) orqali rostlanadi. Signal tok o'lchov o'zgartkichidan vaqt bo'yicha differensiallovchi qurilma (10)ning kirishiga beriladi va u yerda differensiallanib di_C/dt bo'lish bloki (8)ning birinchi kirishiga uzatiladi. Bo'lish blokining ikkinchi kirishiga vaqt bo'yicha differensiallovchi qurilma (7)dan kuchlanish o'lchov o'zgartkichi (6)dan olingan liniya kuchlanishining vaqt bo'yicha differensiallangan dU_L/dt qiymati beriladi. Bo'lish blokida bu kattaliklarni bo'lish amali bajariladi va uning chiqishida di_C/dU hosil bo'ladi.

Bu signal bo'lish blokining chiqishidan jamlovchi qurilmaning ikkinchi kirishiga esda saqlovchi qurilma orqali beriladi. Esda saqlovchi qurilma

hisob-kalit rejimida ishlaydi, ya'ni uning chiqishida signal bor bo'lsa, esda saqlovchi qurilmada hozirgi va oldingi signal di_C/dU larni taqqoslash amali bajariladi va minimum sharti bajarilgan vaqt momentida $di_C/dU = 0$ esda saqlovchi qurilmaning chiqishida di_C/dU ning oldingi qiymati mahkamlanib qoladi va bu esa motorning yuklanishi darajasiga qarab kuchlanishning optimal qiymatini beradi. Ma'lum vaqt o'tgandan so'ng motor valida yuklanishning o'zgarishi sodir bo'lsa $di_C/dU = 0$ shartning bajarilishi tekshiriladi va kuchlanishni rostlash sikli yana boshqatdan qaytariladi.

Davomiy ish rejimida ishlaydigan umumsanoat mexanizmlarining yuritmalarida, masalan, nasos, kompressor va ventilatorlarning asinxron elektr yuritmalari uchun 9.7- rasmda berilgan ekstremal avtomatik boshqarish tizimidan foydalanish katta iqtisodiy samara beradi.

9.4. TEZLIGI ROSTLANMAYDIGAN ASINXRON MOTORLARNING MINIMUM REAKTIV QUVVAT ISTE'MOLI ISH REJIMI

Asinxron motorlarning real yuklanish momenti nominal qiymatidan kam bo'lishi, motorning tarmoqdan iste'mol qilayotgan reaktiv quvvatining ortishiga olib keladi va natijada motorning quvvat koeffitsiyenti pasayadi. Asinxron motor reaktiv quvvati Q ni motor validagi yuklanish momenti bilan o'zaro bog'lab, minimal qiymatiga keltirib avtomatik boshqarish asinxron elektr yuritmalarda energiya tejamkorlikka erishishning asosiy yo'nalishlaridan biridir.

Motor iste'mol qilayotgan reaktiv quvvatni yuklanish qiymatiga mos ravishda boshqarish, magnit oqimini o'zgartirib amalga oshiriladi va umumiy holda uning qiymati quyidagi differensial tenglama orqali aniqlanadi:

$$\frac{d\left(\frac{Q}{Q_N}\right)}{d\left(\frac{\Phi}{\Phi_N}\right)} = \frac{d\left(\frac{Q}{Q_N}\right)}{d\phi} = 0, \qquad (9.7)$$

bunda: $Q = Q_0 + Q_R$ – motorning amaldagi tarmoqdan iste'mol qilayotgan reaktiv quvvati; Q_N, Q_0 va Q_R – asinxron motorning mos ravishda nominal, amaldagi magnitlanish va sochilma reaktiv quvvatlari; $\phi = \frac{\Phi}{\Phi_N}$ – magnit

oqimining nisbiy qiymati; Φ_N va Φ – magnit oqimining nominal va amaldagi qiymatlari.

(9.7) tenglama (9.6)ni hisobga olgan holda quyidagi ko'rinishda yoziladi:

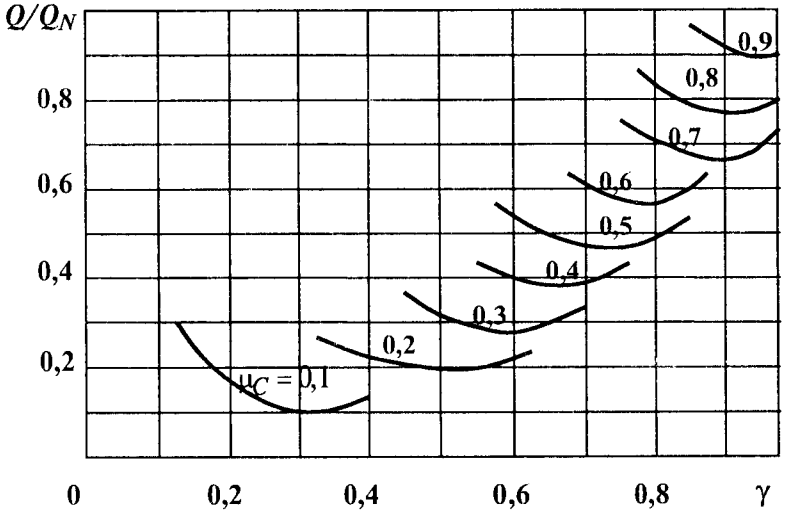
$$\frac{d\left(\frac{Q}{Q_N}\right)}{d\gamma} = 0. \tag{9.8}$$

Asinxron motor iste'mol qilayotgan reaktiv quvvatining matematik ifodasining uncha murakkab bo'lmagan ma'lum o'zgartirishlar asosida quyidagi μ_C ga bog'liq bo'lgan umumlashgan ifodasi hosil bo'ladi:

$$\frac{Q}{Q_N} = \frac{Q_{0N}}{Q_N}\frac{Q_0}{Q_{0N}} + \frac{Q_{RN}}{Q_N}\frac{Q_R}{Q_{RN}} = c\gamma^2 + (1-c)\frac{\mu_C^2}{\gamma^2}, \tag{9.9}$$

bunda: $c = 1 - \dfrac{1}{(b_N + \sqrt{b_N^2 - 1})\operatorname{tg}\varphi_N}$; $\operatorname{tg}\varphi_N = \dfrac{\sin\varphi_N}{\cos\varphi_N}$; $b_N = \dfrac{M_{\max}}{M_N}$.

9.8- rasmda (9.9) tenglama asosida 4A280M4U3 rusumli (R_N = 132 kW; $2R$ = 4; η = 93%; $\cos\varphi$ = 0,9; b_N = 2) asinxron motorning minimal



9.8- rasm. Asinxron motorning minimum reaktiv quvvat iste'moli ish rejimining yuklanishga bog'liqlik tavsiflari.

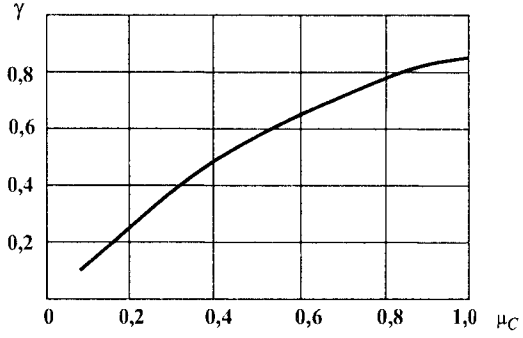
reaktiv quvvat iste'molining yuklanish momentining turli qiymatlari uchun kuchlanish o'zgarishiga bog'liqlik tavsiflari keltirilgan.

Tavsiflar tahlili shuni ko'rsatadiki, yuklanish momentining har bir qiymati uchun kuchlanishning ma'lum bir qiymatida Q/Q_N ning eng kichik qiymati to'g'ri keladi.

(9.8) tenglamani γ bo'yicha differensiallab, nolga tenglashtirib, motorning tarmoqdan minimal reaktiv quvvat iste'molining real μ_C qiymati uchun qanday kuchlanish to'g'ri kelishini aniqlash mumkin bo'ladigan yakuniy ifodasini keltirib chiqaramiz:

$$\gamma = \sqrt[4]{\mu_C^2 \frac{1}{(b_N + \sqrt{b_N^2 - 1})\operatorname{tg}\varphi_N} \mu_C^2}. \qquad (9.10)$$

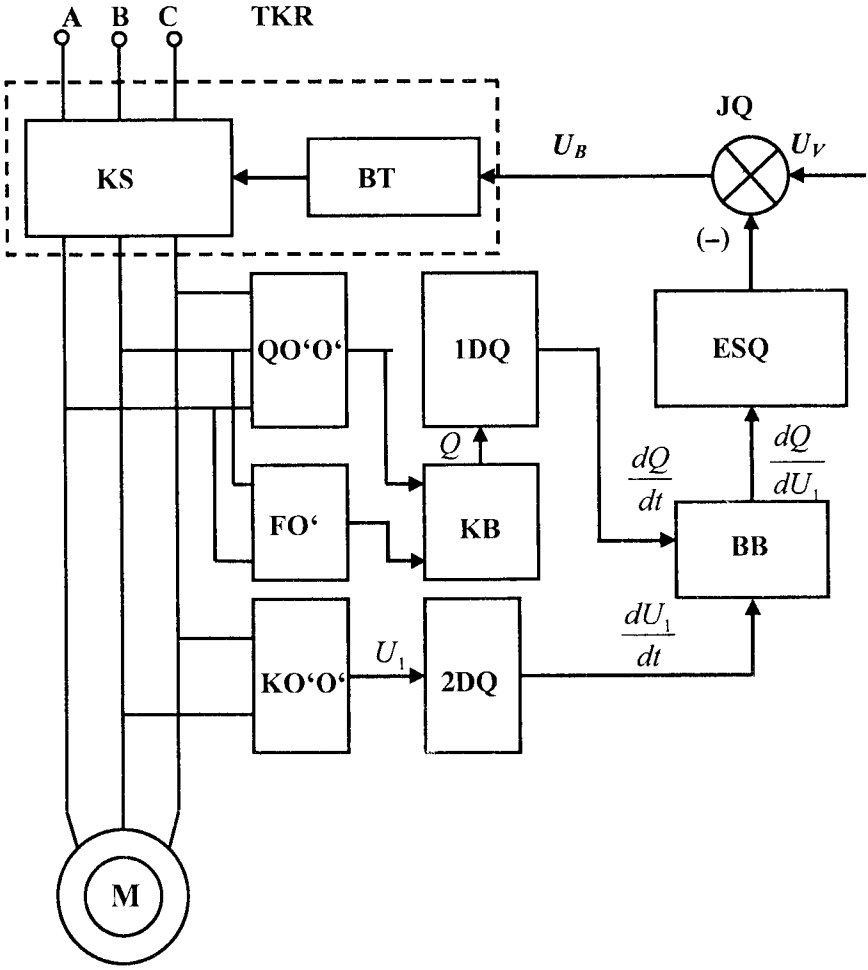
9.9- rasmda (9.10) ifoda bo'yicha hisoblangan, motorning tarmoqdan olayotgan reaktiv quvvatini minimal bo'lishini ta'minlovchi, stator kuchlanishi optimal qiymatlarining μ_C ga bog'liqlik tavsifi keltirilgan.



9.9- rasm. Asinxron motorning reaktiv quvvat iste'moli minimal bo'lishini ta'minlovchi kuchlanishning yuklanishga bog'liqlik tavsifi.

9.10- rasmda tasvirlangan asinxron motorli ekstremal avtomatik boshqarish tizimi yuklanishning barcha real qiymatlarida motor iste'mol qilayotgan reaktiv quvvat miqdorini minimal qiymatida bo'lishini va motorning energetik ko'rsatkichlarini nominal qiymatlariga yaqin qiymatlarda bo'lishini ta'minlaydi.

Asinxron motorli ekstremal avtomatik boshqarish tizimi quyidagi asosiy tarkibiy qismlardan iborat: asinxron motor (M), tiristorli o'zgaruvchan tok kuchlanishi rostlagichi (TKR) kuch sxemasi (KS) orqali uch fazali elektr tarmog'iga ulangan, TKRning boshqaruv tizimi (BT) jamlovchi qurilma (JQ) chiqish qismiga ulangan, JQning birinchi kirish qismiga esa vazifalovchi signal U_V beriladi, JQning ikkinchi kirish qismiga esa esda saqlovchi qurilma (ESQ)ning chiqish qismi ulangan, quvvat o'lchov



9.10- rasm. Reaktiv quvvat iste'moli minimum bo'lgan rejimda ishlaydigan asinxron motorli ekstremal avtomatik boshqarish tizimining blok sxemasi.

o'zgartkichi (QO'O')ning kirish qismi asinxron motorning stator chulg'amiga ulangan va shu kirish qismga funksional o'zgartkich (FO')ning kirish qismi ulangan, FO'ning chiqish qismi esa ko'paytirish bloki (KB)ning ikkinchi kirish qismiga ulangan, QO'O'ning chiqish qismi ko'paytirish blokining ikkinchi kirish qismiga ulangan, KBning chiqish qismi esa birinchi differensiallovchi qurilma 1DQning kirish qismiga ulangan bo'lsa, chiqish qismi

esa bo'luvchi blok (BB)ning birinchi kirish qismiga ulangan, BBning ikkinchi kirish qismiga esa ikkinchi differensiallovchi qurilma 1DQning chiqish qismi ulangan, 2DQning kirish qismiga kuchlanish o'lchov o'zgartkichining chiqish qismi ulangan va KO'O'ning kirish qismi esa asinxron motorning liniya kuchlanishiga ulangan.

Asinxron motor energetik ko'rsatkichlarining optimal qiymatlarida bo'lishi, motor validagi yuklanishning qiymatiga mos ravishda stator chulg'amidagi kuchlanishni rostlash natijasida, motorning reaktiv quvvat iste'molini minimal qiymatga keltirish asosida amalga oshiriladi. Bu avtomatik boshqarish tizimida motor validagi yuklanishning qiymati bilvosita aktiv quvvat bo'yicha hisoblanadi.

Oxirgi qayd qilingan yuklanish uchun stator chulg'ami kuchlanishi hali o'zgartirilmagan holda $\frac{dQ}{dU_1} \neq 0$ bo'ladi va bu signal ESQda saqlanadi, xuddi shu signal JQga yuboriladi va $U_B = U_V - \frac{dQ}{dU_1}$ boshqaruv signalini tashkil etuvchisi bo'ladi. Yangi boshqaruv signali ta'sirida TKO'ning KSining chiqish qismida kuchlanishning qiymati o'zgaradi. Stator chulg'amiga berilayotgan kuchlanishning optimal qiymati asinxron motorni berilgan yuklanishda minimal reaktiv quvvat iste'moli rejimida ishlashini ta'minlaydi.

Yuklanish qiymatining to yangi qiymatiga o'zgargunga qadar $\frac{dQ}{dU_1}$ signal ESQda saqlanib turadi va yuklanish qiymati o'zgarganida hosil bo'ladigan keyingi tengsizlik $\frac{dQ}{dU_1} \neq 0$ qiymati ESQga saqlash uchun yuboriladi. Asinxron motorning yangi yuklanish qiymati uchun minimal reaktiv quvvat iste'moli rejimi joriy qilinadi.

Yuklanish momentining o'zgarishiga bog'liq ravishda stator chulg'ami kuchlanishini optimal boshqarish funksiyasi $\gamma(\mu_C)$ asosida (9.8- rasmdagi tavsif asosida) dasturiy boshqariladigan, tarmoqdan minimal reaktiv quvvat iste'mol qiluvchi, asinxron elektr yuritmali energiya tejamkor avtomatik boshqarish tizimlarini mikroprotsessorli tizimlarda yaratish imkonini beradi va bu esa bunday avtomatik tizimlarning tezkor rejimda ishlashini ta'minlaydi.

9.5. CHASTOTANI O'ZGARTIRIB TEZLIGI ROSTLANADIGAN ASINXRON MOTORLARNING MINIMUM REAKTIV QUVVAT ISTE'MOLI ISH REJIMI

Chastotani o'zgartirib tezligi rostlanadigan asinxron motorlarning yuklanish momentining nisbiy qiymati $\mu_C \leq 1$ oraliqda o'zgaradi deb qaralganida, stator chulg'ami kuchlanishini quyidagi proporsional qonuniyat bo'yicha boshqarish mumkin:

$$\gamma = \alpha, \tag{9.11}$$

bunda: $\gamma = \frac{U_{1f}}{U_{1Y}}$ – berilgan chastota qiymatiga mos keluvchi stator chulg'ami kuchlanishning nominal qiymatiga nisbatan nisbiy qiymati; $\alpha = \frac{f_1}{f_{1N}}$ – berilgan chastotaning nominal qiymatiga nisbatan nisbiy qiymati.

Keltirilgan (9.11) ifoda asinxron motor yuklanish momentining o'zgarishini hisobga olmaydi, yuklanish momentining nominal qiymatdan kichik qiymatlarida tarmoqdan iste'mol qilayotgan reaktiv quvvatining ortishiga olib keladi va natijada asinxron motorning quvvat koeffitsiyenti pasayadi.

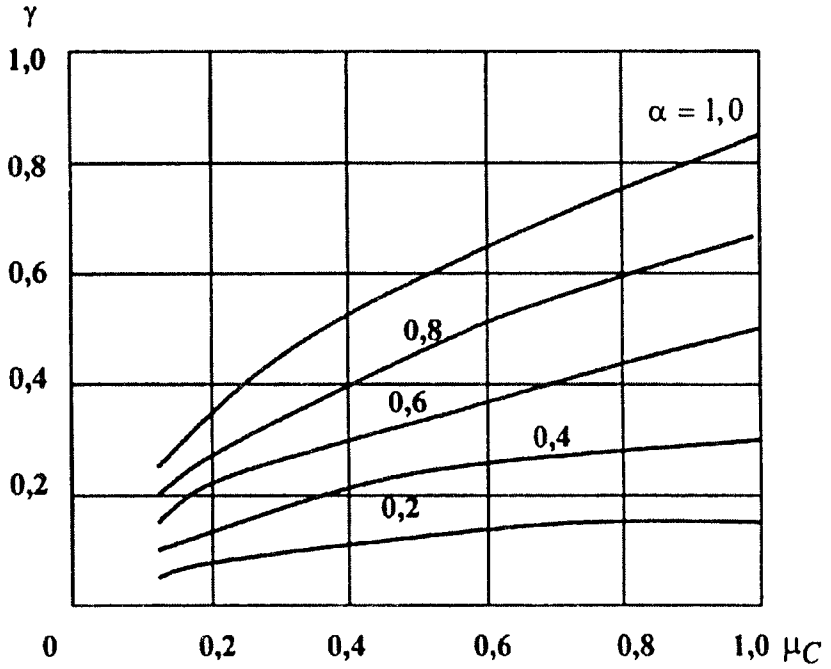
Akademik M.P.Kostenko taklif qilgan kuchlanishni rostlashning ikkinchi iqtisodiy qonuniyati

$$\gamma = \alpha\sqrt{\mu_C}, \tag{9.12}$$

yuklanish momentining o'zgarishini hisobga olgan holda, kuchlanishni rostlash davomida motorning moment bo'yicha yuklanganlik darajasini zarur va nozarur hollarda ham nominal qiymatda qolishini ta'minlaydi. Har ikkala qonuniyat bo'yicha stator chulg'ami kuchlanishini chastota va yuklanish momentiga mos ravishda rostlanganida motorning reaktiv quvvatini iste'moli minimal bo'lmaydi.

Asinxron motor iste'mol qilayotgan reaktiv quvvatning minimal bo'lishi uchun stator chulg'ami kuchlanishini yuklanish momenti qiymatiga mos bo'lgan (9.12) qonuniyatdagidan ham chuqurroq rostlash kerak bo'ladi. Kuchlanishni rostlash jarayonida chegaraviy qiymat deb keltirilgan rotor toki qiymatining nominaldan ortmasligi mezon qilib olinadi va natijada chastotani o'zgartirib, tezligi rostlanadigan asinxron motor yuklanish momentining turli qiymatlarida ham minimal qiymatdagi reaktiv quvvat iste'mol qiladi. 9.11- rasmda chastotani o'zgartirib tezligi rostlanadigan

4A100L4U3 rusumli asinxron motor stator chulg'ami kuchlanishini yuklanish momenti qiymatlariga bog'liq ravishda optimal rostlash tavsiflari keltirilgan.

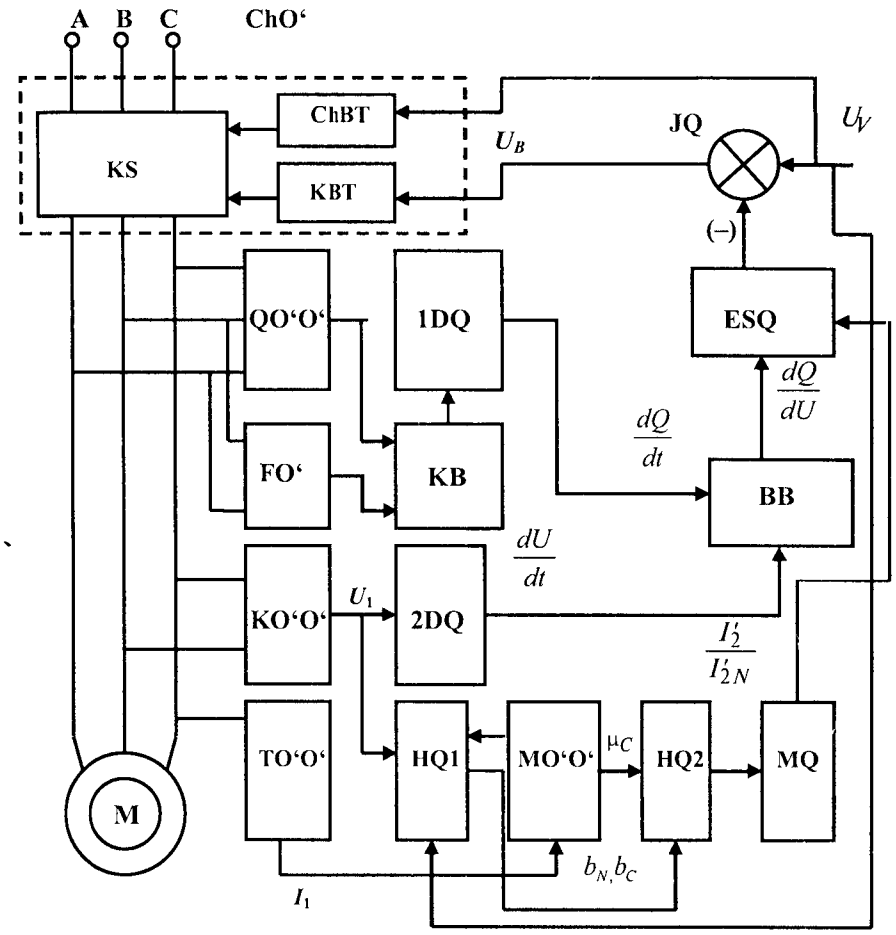


9.11- rasm. Chastotani o'zgartirib tezligi rostlanadigan asinxron motor kuchlanishining yuklanishga bog'liq optimal boshqarish tavsifi.

Chastotani o'zgartirb tezligi rostlanadigan asinxron motorli elektr yuritmaning ekstremal avtomatik boshqarish tizimi (9.12- rasm) ishga tushirish va nominal ish rejimida funksional o'zgartkich jamlovchi qurilma (JQ)dan tashqari barcha boshqaruv elementlar ishlamaydi.

Kuchlanishni rostlash tizimi (KBT)ga berilayotgan boshqaruv signali U_B chastota uchun boshqaruv signali bo'lgan vazifalovchi signal U_V ga teng bo'ladi va kuchlanish proporsional qonuniyat bilan boshqariladi, ya'ni (9.11) ifoda bo'yicha rostlanadi.

Asinxron motor ishlab turgan paytda quvvat va kuchlanish o'lchov o'zgartkichlari (QO'O') va KO'O' chiqish qismlarida doimiy signal mavjud bo'ladi. KO'O'dan chiqayotgan liniya kuchlanishi signali ikkinchi diffe-



9.12- rasm. Chastotani o‘zgartirib tezligi rostlanadigan asinxron motorni minimal reaktiv quvvat iste'moli ish rejimini ta'minlovchi avtomatik boshqarish tizimi.

rensiallovchi qurilma (2DQ)da vaqt bo‘yicha differensiallanib bo‘lish bloki (BB)ning ikkinchi kirish qismiga yuboriladi. Funksional o‘zgartkich (FO‘)da faza kuchlanishi bilan toki orasidagi burchak φ ning $\sin\varphi$ qiymatiga mos signal olinadi va ko‘paytirish bloki (KB)ning ikkinchi kirish qismiga uzatiladi va u yerda QO‘O‘ning chiqish qismidan KBning birin-

chi`kirish qismiga yuborilgan umumiy quvvat Sga prporsional signal bilan ko'paytmasi $Q(t) = S(t)\sin\varphi$ – motorning ishlayotgan vaqtidagi reaktiv quvvat iste'moli qiymatini beradi. $Q(t)$ signal 1DQda vaqt bo'yicha differensiallanib, BBning kirish qismiga yuboriladi.

Oxirgi qayd qilingan yuklanish uchun stator chulg'ami kuchlanishi hali o'zgartirilmagan holda $\frac{dQ}{dU_1} \neq 0$ bo'ladi va bu signal ESQda saqlanadi, xuddi shu signal jamlovchi qurilma (JQ)ga yuboriladi va u yerda berilayotgan vazifalovchi chastota signaliga mos $U_b = U_B - \frac{dQ}{dU_1}$ boshqaruv signalini tashkil etuvchisi bo'ladi.

Yangi boshqaruv signali ta'sirida chastota o'zgartkich (ChO')ning kuch sxemasi (KS)ning chiqish qismida kuchlanishning qiymati o'zgaradi. Stator chulg'amiga berilayotgan kuchlanishning optimal qiymati asinxron motorning yuklanishi va chastota qiymatlari uchun minimal reaktiv quvvat iste'moli rejimida ishlashini ta'minlaydi. Yuklanish qiymatining to yangi qiymatiga o'tgunga qadar $\frac{dQ}{dU_1}$ signal ESQda saqlanib turadi va yuklanish qiymati o'zgarganida hosil bo'ladigan keyingi tengsizlik $\frac{dQ}{dU_1} \neq 0$ qiymati ESQga saqlash uchun yuboriladi. Asinxron motorning yangi yuklanish va chastota qiymatlari uchun minimal reaktiv quvvat iste'moli rejimi joriy qilinadi.

Shuningdek, reaktiv quvvat iste'moli minimum bo'lgan rejimda ishlaydigan chastotani o'zgartirib, tezligi rostlanadigan asinxron elektr yuritmaning blok sxemasidagi tok o'lchov o'zgartkichi (TO'O'), moment o'lchov o'zgartkichi (MO'O'), hisoblash qurilmalari (HQ1) va (HQ2) va mantiqiy qurilmalar (MQ) vositasida bu elektr yuritmaning ishlashi rotor tokini nominal qiymatidan orttirmasdan boshqarish imkonini beradi.

TO'O'ning chiqish qismidan I_1 ga proporsional signal MO'O'ning kirish qismiga uzatiladi, KO'O' chiqish qismidan olingan U_1 ga proporsional signal HQ1 ning birinchi kirish qismiga uzatiladi, HQ1 ning ikkinchi kirish qismiga MO'O'ning chiqish qismidan μ_C ga proporsional signal uzatiladi, uchinchi kirish qismiga esa chastota qiymatiga proporsional vazifalovchi

signal U_V yuboriladi. HQ1 da asinxron motor nominal ko'rsatkichi b_N va (1.6) formula asosida hisoblangan b_C ko'rsatkich HQ2 ning kirish qismiga yuboriladi va bu hisoblash qurilmasida rotor tokining nisbiy qiymati $\frac{I_2'}{I_{2N}'}$ hisoblanadi va signal mantiqiy qurilma MQning kirish qismiga uzatiladi, agar uning qiymati birdan katta bo'lsa ESQning ikkinchi kirish qismiga yuboriladi va bu qurilmaning chiqish qismini yopib tiristorli kuchlanish rostlagichning boshqaruv tizimiga berilayotgan boshqaruv kuchlanishi $U_b$ni uzishga signal beradi va natijada asinxron elektr yurtma tarmoqdan uziladi. Agar MQning chiqish qismidagi signal birdan kichik bo'lsa, u holda ESQga boshqaruv kuchlanishini uzish to'g'risida signal berilmaydi va asinxron elektr yuritma normal ish rejimida ishlashini davom ettiradi.

NAZORAT UCHUN SAVOLLAR

1. *Tarmoqdagi kuchlanishlarning nosimmetrikligi asinxron motorlarning energetik ko'rsatkichlariga qanday ta'sir qiladi?*
2. *Nima uchun asinxron motorlarning iste'mol qilayotgan reaktiv quvvatini yuklanishiga mos ravishda rostlash zarur?*
3. *Tarmoqdagi kuchlanishlarning nosimmetrikligini yo'qotishning qanday usullari bor?*
4. *Tarmoqdagi reaktiv quvvat qiymatini qanday sxemalar vositasida rostlash mumkin?*
5. *Asinxron motorlarning minimum stator toki ish rejimida ishlashi uchun qanday shart bajarilishi kerak va uning matematik ifodasi qanday ko'rinishda bo'lishi kerak?*
6. *Tezligi rostlanmaydigan asinxron motor iste'mol qilayotgan reaktiv quvvatni yuklanishiga mos ravishda rostlashning optimal qonuniyati ifodasi qanday?*
7. *Tezligi rostlanmaydigan asinxron motor reaktiv quvvatini yuklanishga mos ravishda rostlovchi avtomatik boshqarish tizimidagi tiristorli kuchlanish rostlagich kuchlanishi qanday boshqariladi?*
8. *Asinxron motor tezligini chastotani o'zgartirib rostlashda kuchlanish qanday qonuniyatlar bilan boshqarilishi mumkin?*
9. *Chastotani o'zgartirib tezligi rostlanadigan asinxron motor iste'mol qilayotgan reaktiv quvvatni yuklanishiga mos ravishda rostlashning optimal qonuniyati ifodasi qanday?*

10. *Nima uchun chastotani o'zgartirib tezligi rostlanadigan asinxron motorli avtomatik boshqarish tizimlarda asosan bilvosita chastota o'zgartkichlar qo'llaniladi?*
11. *Tezligi rostlanmaydigan va chastotani o'zgartirib tezligi rostlanadigan asinxron motorli avtomatik boshqarish tizimlaridagi differensiallovchi qurilmalar va bo'luvchi bloklar qanday asosiy vazifani bajaradi?*
12. *Tezligi rostlanmaydigan va chastotani o'zgartirib tezligi rostlanadigan asinxron motorli avtomatik boshqarish tizimlaridagi elektr o'lchov o'zgartkichlari sifatida qanday o'lchov o'zgartkichlari qo'llaniladi?*

FOYDALANILGAN ADABIYOTLAR

1. Е.В.Арменсий, Г.Б.Фалк. Электрические микромашины. –М., «Высшая школа», 1975.
2. Т.В.Анчарова и др. Экономия электроэнергии на промышленных предприятиях. – М., «Высшая школа», 1990.
3. И.В.Волков, Е.Н.Исаков. Электроприводы со стабилизированным током в силовых цепях. – М., «Радио и связь», 1991.
4. Ю.С.Забродин. Автономные тиристорные инверторы с широтно-импульсным регулированием. – М., «Энергия», 1977.
5. A.T.Imomnazarov. Sanoat korxonalari va fuqarolik binolarining elektr jihozlari. – T., «ILM ZIYO», 2006.
6. A.T.Imomnazarov. Neft va gaz konlarining elektr jihozlari. – T., «Cho'lpon», 2006.
7. A.T.Imomnazarov. Asinxron motorlarning minimum quvvat isrofi rejimida ishlashi asoslari // ToshDTU xabarlari. – T., 2005, № 2, 33–38- b.
8. A.T.Imomnazarov. Asinxron motorlarning minimal reaktiv quvvati iste'moli rejimida ishlash asoslari. // ToshDTU xabarlari. – Toshkent, 2006, №1, 48–51- b.
9. A.T.Imomnazarov. Elektr yuritma asoslari (savollar va javoblarda). – T., TDTU, 2006.
10. Патент Российской Федерации №2069032. Асинхронный электропривод с экстремальным управлением. Хашимов А.А., Имамназаров А.Т., Сабиров Ш.М. Опубл. 1996г.
11. Справочник по автоматизированному электроприводу. Под ред. В.А. Елисеева, А.В. Шинянского. – М.: «Энергоатомиздат», 1983.
12. В.М.Терехов. Элементы автоматизированного электропривода. – М.: «Энергоатомиздат», 1987.
13. O.O.Hoshimov, A.T.Imomnazarov. Elektromexanik qurilma va majmualarning elementlari. – T.: «O'AJBNT» Markazi, 2003.
14. O.O.Hoshimov, A.T.Imomnazarov. Elektr yuritma asoslari. 1- qism. – T.: TDTU, 2004.
15. O.O.Hoshimov, S.S.Saidahmedov. Elektr yuritma asoslari. – T., «Talqin», 2004.

MUNDARIJA

Kirish 3
Tayanch so'zlar va so'z birikmalari 4

1-bob. Elektromexanik tizim elementlarining asosiy ko'rsatkichlari va tavsiflari

1.1. Elektromexanik tizim elementlari to'g'risida tushuncha 7
1.2. Elektromexanik tizim elementlarining ko'rsatkichlari va tavsiflari 10

2-bob. Boshqariluvchi o'zgarmas tok o'zgartkichlari

2.1. Yarim o'tkazgichli o'zgarmas tok o'zgartkichlarining asosiy kuch sxemalari va ko'rsatkichlari 15
2.2. Tiristorli o'zgarmas tok o'zgartkichining asosiy tavsiflari 18
2.3. Tiristorli o'zgarmas tok o'zgartkichlarining dinamik xususiyatlari 21
2.4. Tiristorli o'zgarmas tok o'zgartkichining kuch tiristorlarini boshqarish 23
2.5. Reversiv tiristorli o'zgarmas tok o'zgartkichlarini boshqarish 28
2.6. Impuls kengligi boshqariladigan o'zgarmas tok o'zgartkichlari 35

3-bob. Boshqariluvchi o'zgaruvchan tok o'zgartkichlari

3.1. Tiristorli kuchlanish rostlagich 41
3.2. Yarimo'tkazgichli bilvosita chastota o'zgartkichlar 45
3.3. Avtonom invertorlar 49
3.4. Bevosita chastota o'zgartkichlar 59
3.5. Induktiv-sig'imli parametrik o'zgartkichlar 62

4- bob. Elektromashina kuchaytirgichlar

4.1. Umumiy ma'lumotlar 73
4.2. Ko'ndalang maydonli elektromashina kuchaytirgichining ishlash asosi 75
4.3. Ko'ndalang maydonli elektromashina kuchaytirgichning asosiy tavsiflari 77

5-bob. Taxogeneratorlar

5.1. Umumiy ma'lumotlar 82
5.2. O'zgarmas tok taxogeneratorlari 83
5.3. Asinxron taxogeneratorlar 84

6-bob. Selsinlar

6.1. Selsinlar haqida umumiy ma'lumotlar 88
6.2. Bir fazali selsinlar 89
6.3. Selsinlarning indikator ish rejimi 91
6.4. Selsinlarning transformator ish rejimlari 95

7-bob. Buriluvchi transformatorlar

7.1. Buriluvchi transformatorlar haqida umumiy ma'lumotlar 98
7.2. Sinus-kosinusli buriluvchi transformatorlar 100
7.3. Chiziqli, masshtabli va grafik chizgich buriluvchi transformatorlar .. 102

8-bob. Elektromexanik tizimlarning boshqarish tizimlari elementlari

8.1. Elektromexanik tizimlarning analog elementlari va qurilmalari 107
8.2. Elektromexanik tizimlarning diskret elementlari va qurilmalari 115
8.3. Elektromexanik tizimlarni boshqarishning mikroprotsessorli vositalari 125
8.4. Elektromexanik tizimlarni mikroprotsessorli boshqarish tizimlari ... 131

9-bob. Asinxron motorlarni ekspluatatsiya qilishda energiyadan foydalanish samaradorligini oshirish

9.1. Tarmoq fazalaridagi kuchlanishlarning nosimmetrikligi va ularni yo'qotish 135
9.2. Kuchlanishni $[U_F]-[U_L]$ ulanish asosida boshqarish 137
9.3. Tezligi rostlanmaydigan asinxron motorlarning minimum stator toki ish rejimi 140
9.4. Tezligi rostlanmaydigan asinxron motorlarning minimum reaktiv quvvat iste'moli ish rejimi 144
9.5. Chastotani o'zgartirib tezligi rostlanadigan asinxron motorlarning minimum reaktiv quvvat iste'moli ish rejimi 149

Foydalanilgan adabiyotlar 155

Abduqahhor Turapovich IMOMNAZAROV

ELEKTROMEXANIK TIZIMLARNING ELEMENTLARI

Oliy o'quv yurtlari uchun darslik

Muharrir ***X.Po'latxo'jayev***
Badiiy muharrir ***Sh.Xo'jayev***
Sahifalovchi ***A.Tillaxo'jaev***
Musahhih ***B.Tuyoqov***

Bosishga 09.09.2009- yilda ruxsat etildi. Times ET garniturasi. Ofset bosma usulida bosildi. Ofset qog'ozi. Bichimi $60\times84^{1}/_{16}$. Shartli b. t. 9,30. Nashr b. t. 9,10. Adadi 500 nusxa. Shartnoma № 7–2009. Buyurtma № 110.

«Ta'lim» nashriyoti. Toshkent sh., Ya. G'ulomov ko'chasi, 74- uy.

O'zbekiston Matbuot va axborot agentligining «O'qituvchi» nashriyot-matbaa ijodiy uyi bosmaxonasida chop etildi. 100206, Toshkent sh., Yunusobod dahasi, Murodov ko'chasi, 1- uy.

10348 =

31.2
I-45

Imomnazarov, A. T.

Elektromexanik tizimlarning elementlari: Oliy ta'limning 5521300 – «Elektrotexnika, eleltromexanika va elektrotexnologiyalar» bakalavriatura yo'nalishi talabalari uchun darslik / A.T. Imomnazarov; Mas'ul muharrir O.O. Hoshimov; O'zR Oliy va o'rta maxsus ta'lim vazirligi. – Toshkent: «Ta'lim», 2009. –160 b.

BBK 31.2я73