

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

**BUXORO MUXANDISLIK-TEXNOLOGIYA INSTITUTI**

**Qo‘l yozma huquqida**

**UDK 621.303**

**MUZAFFAROV FIRDAVS FUZAYL o‘gli**

**“ROMSTAR” QQ DAGI PARDOZLASH SEXIDA QO‘LLANILAYOTGAN  
O‘ZGARUVCHAN TOK ELEKTR YURITMALARNING BOSHQARISH  
TIZIMINI TAHLIL QILISH VA TAKOMILLASHTIRISH ORQALI  
MAHSULOT SIFAT KO‘RSATGICHLARINI YAXSHILASH**

**5A 310704- Elektrotexnik majmualar va tizimlar (tarmoqlar bo‘yicha)**

**Magistr akademik darajasini olish uchun yozilgan dissertatsiya**

**Ilmiy rahbar:**

**f.-m.f.n. Xafizov I. I.**

**BUXORO-2018**

## **ANNOTATSIYA**

Ushbu magistrlik dissertatsiyasi ishi o`zgaruvchan tok elektr yuritma tezligini chastotaviy rostdash tizimidagi chastota o`zgartirgichlarning matematik ifodalash masalasiga qaratilgan. Magistrlik dissertatsiyasi ishi o`zgaruvchan va o`zgarmas tok elektr yuritmalarda eng ko`p qo`llaniladigan avtonom kuchlanish inverterli va boshqariluvchan to`g`rilagichli chastota o`zgartirgichlar, avtonom kuchlanish inverterli va boshqariluvchan to`g`rilagichli chastota o`zgartirgichlar, hamda tok bilan boshqariladigan avtonom inverterli chastota o`zgartirgichlarning ishlash jrayonining matematik ifodalashga va o`zgartirgichlarning kattalik va parametrlarini hisoblash va tadqiq etishning rasional model, algoritmi va usullarini yaratish masalalariga qaratilgan.

### **Annotatsiya**

В данной магистерской диссертационной работе рассматривается математическое описание преобразователей частоты в системе частотного регулирования скорости электропривода переменного тока.

Магистерская диссертационная работа, посвященная описанию преобразователей частоты с автономным инвертором наряду с управлением в выпрямителем, преобразователей частоты с автономным инвертором наряду с широтно-импульсным модуляцией а также преобразователи частоты с автономным инвертором управлением ток. Работа также направлена к вопросам исследования рационального модели, алгоритма и методов расчета преобразователей.

### **summary**

In given magistr to dissertational work the mathematical description of converters of frequency in system of frequency regulation of speed of the electric drive of an alternating current is considered.

Magistrsky dissertational work, is devoted the description the converter of frequency with the independent inverter pressure and the operated rectifier, the converter of frequency with the independent inverter of pressure and pulse-width modulation and also converters of frequency with the independent inverter an operated current. Work also is directed to questions research rational by model, to algorithm and methods of calculation of converters.

## Mundarija

KIRISH.....	4
1-BOB. “ROMSTAR” QQNING BOSH REJASI VA TEXNOLOGIK QURILMALARDAGI MAVJUD O`ZGARUVCHAN TOK ELEKTR YURITMALAR TAHLILI.....	10
1.1. Pardoqlash tsexining elektr ta`minoti .....	10
1.2. O`zgaruvchan tok elektr yuritma tezligini aniqlash .....	24
1.3. Asinxron motorli elektr yuritma tezligini U/f- rostlash .....	26
1.4. O`zgaruvchan tok elektr yuritma momentini to`g`ridan to`g`ri boshqarish.....	27
2-BOB. STATORDAGI KUCHLANISH CHASTOTASINI O`ZGARTIRISH ORQALI O`ZGARUVCHAN TOK ELEKTR YURITMA TEZLIGINI ROSTLASH TAMOYILLARI .....	<b>Ошибка! Закладка не определена.</b>
2.1. Asinxron motorli elektr yuritmaning tezlik bo`yicha yopiq rostlash tizimi.....	31
2.2. Rotordagi oqim ilashuvi domiy bo`lgan holdagi asinxron motorli elektr yuritmaning tezlik bo`yicha yopiq rostlash tizimi.....	37
2.3. Motorni vektorli boshqarishda va oqim modeli bo`yicha rotor oqim ilashuvini aniqlashda elektr yuritma tezligini rostlash tizimi.....	43
2.4. Ventil motorli elektr yuritmani boshqarish tizimi .....	48
3-BOB. O`ZGARUVCHAN TOK ELEKTR YURITMA TEZLIGINI CHASTOTAVIY ROSTLASH TIZIMIDAGI CHASTOTA O`ZGARTIRGICHLARNING TAHLILI .....	58
3.1. Boshqariluvchan to`g`rilagichli chastota o`zgartirgichlar.....	58
3.2. Keng impulsli modulyatsiyali chastota o`zgartirgichlar.....	63
3.3. Boshqariladigan tok avtonom inverterli chastota o`zgartirgichlar..	69
3.4. Chastota o`zgartirgichdan ta`minot olayotgan motorning tormoz rejimi .....	77
XULOSA.....	82
Foydalanilgan adabiyotlar.....	84

## KIRISH

Sanoat elektr yuritmalari rivojlanishining zamonaviy bosqichi o'zgaruvchan elektr yuritmalarni qo'llanish sohasining sezilarli darajada kengayganligi bilan xarakterlanadi. Ayniqsa bu jarayon, rostlash xususiyati bir muncha yaxshiroq bo'lgan mustaqil qo'zg'atishli o'zgarmas tok dvigatelli elektr yuritmalari qo'llanilgan sanoat korxonalarida (masalan, metallarga qayta ishlov beruvchi korxonalar, qog'oz sanoati va h.k.), shunidek texnologik parametrlar elektr yuritma vositalari bilan rostlanmaydigan sohalarda (masalan, nasos stantsiyalari va havo ventilyatorlarida) yaqqollar namoyon bo'la boshladi.

Asinxron dvigatel yaratilishining asosiy omili aylanuvchan magnit maydon hodisasining ochilishi hisoblanadi. Bu hodisa bir vaqtning o'zida va bir-biridan mustaqil ravishda ikki olim G. Ferraris (Italiya) va N. Tesla (AQSH) tomonidan kashf qilingan va 1888 yilda chop etilgan. SHu vaqtning o'zida rus elektrotexnigi M.O. Dolivo-Dolrovolskiy tomondan uch fazali asinxron dvigatel konstruktsiyasi ishlab chiqildi va 1889 yilda ushbu olim tomonidan rotor cho'lg'aminin shakli olmag'on g'ildiragini eslatuvchi qisqa tutashtirilgan rotorli asinxron motor ishlab chiqildi. Zamonaviy asinxron dvigatelning konstruktsiyasi o'sha paytdayoq ishlab chiqilgan bo'lib shu kungacha saqlanib qolgan va u hozirda eng arzon va uzoq muddat ishlash qobiliyatiga ega bo'lgan elektr motorlardan biri bo'lib hisoblanadi.

Qisqa tutashtirilgan rotorli asinxron dvigatel eng keng tarqalgan elektr motorlardan hisoblanadi. Bu undagi kontakt xalqalarning va cho'tkalarning mavjud bo'lmasligi bilan bog'liq ravishda konstruktsiyasining soddaligi va yuqori ishonchliligi bilan tushuntiriladi. Asinxron dvigatel tezligini rostlash usuli nazariy jihatdan ma'lum bo'lsada, u uzoq muddat asosan rostlanmaydigan elektr eritmalar uchun qo'llanilib kelindi. Bir vaqtning o'zida rostlanadigan o'zgaruvchan elektr yuritmalari yaratish borasida amaliy ishlar olib borildi. Asinxron dvigatelni rostlashning ma'lum bo'lgan barcha usullari ichida (stator cho'lg'amidagi kuchlanish o'zgarishini rostlash, juft qutblar sonini o'zgartirish, faza rotorli dvigatellar uchun rotor zanjiriga qo'shimcha qarshilik yoki qo'shimcha eYUK ulash) faqatgina statoridagi kuchlanish chastotasining o'zgartirish bilan bog'liq bo'lgan rostlanadigan elektr yuritmalari tezlikni keng diapazonda rostlash va uni yuqori aniqlikda ta'minlash talab qiladigan qurilmalarda qo'llanilib kelgan mustaqil qo'zg'atishni o'zgarmas tok dvigatelli elektr yuritmalari uchun raqobatbardosh bo'lib qoldi. Asinxron dvigatelning statorida elektrik fazoda bir-biridan  $120^{\circ}$  el.grad.ga siljigan uch fazali stator cho'lg'ami joylashgan bo'ladi. Agar dvigatel faza rotorli bo'lsa rotorda ham uch fazali cho'lg'am, agar dvigatel qisqa tutashtirilgan rotorli bo'lsa rotorda olmaxon g'ildiragini shaklini eslatuvchi cho'lg'am mavjud bo'ladi.

Stator cho'lg'ami uch fazali simmetrik sinusoidal kuchlanish bilan ta'minot oladi

$$u_{1A} = U_{1max} \sin \omega_{0el} t ;$$

$$u_{1B} = U_{1max} \sin(\omega_{0el}t - 2\pi/3);$$

$$u_{1C} = U_{1max} \sin(\omega_{0el}t - 4\pi/3,$$

bu era  $U_{1max}$ -stator ta`minot kuchlanishining amplituda qiymati;  $\omega_{0el}$ - stator ta`minot kuchlanishining burchak chastotasi;  $t$ - vaqt.

Ta`minot kuchlanishining burchak chastotasi

$$\omega_{0el} = 2\pi f$$

bu erda  $f$ - stator ta`minot kuchlanishining chastotasi, Gts.

$u_{1A}, u_{1B}, u_{1C}$  faza kuchlanishlar vaqt bo`yicha bir-biridan  $2\pi/3$  rad.ga, ya`ni  $120^\circ$  ga siljigan bo`ladi. Cho`lg`amlarning fazoviy joylashuvi va kuchlanishlarning vaqt bo`yicha siljishlarining mos tushishi motorning magnit tizimida aylanuvchan magnit maydonning shakllanishiga olib keladi.

Agar stator cho`lg`amidagi juft qutblar soni birga teng bo`lsa ( $p_n = 1$ ), unda fizik va elektrik fazo bir-biri bilan mos tushadi va cho`lg`amlar fizik fazoda ham, elektrik fazoda ham bir-biridan  $120^\circ$  ga siljigan bo`ladi. Bu holatda ta`minot kuchlanishining bir davriga teng vaqt mobaynida, magnit induksiyaning maksimumi motor o`qiga perpendukulyar bo`lgan tyokislik bo`yicha bir marta to`liq aylanib chiqadi,  $2\pi$  rad.ga buriladi. Bunda fizik fazoda aylanayotgan maydonning burchak tezligi ta`minot kuchlanishining aylanma chastotasi  $\omega_{0el}$  ga teng bo`ladi. Agar juft qutblar soni birdan katta bo`lsa, unda faza cho`lg`amlari elektrik fazoda bir-biriga nisbatan  $2\pi/3$  el.rad.ga, fizik fazoda esa  $2\pi/3 p_n$  rad.ga siljigan bo`ladi. Bu shuni anglatadiki, masalan,  $p_n = 2$  bo`lganda ta`minot kuchlanishining bir davri mobaynida elektrik fazoda  $2\pi$  el.rad.ga burilgan maydon fizik fazoda faqatgina  $\pi$  rad.ga buriladi, ya`ni yarim aylanaga. Maydon tezligi elektrik fazoda  $\omega_{0el} = 2\pi f$  ga teng bo`lgan holatda fizik fazoda ikki marta kam qiymatga ega bo`ladi. Umuman olganda bu tezliklar orasidagi munosabat quyidagi ifoda bilan aniqlanadi:

$$\omega_0 = \omega_{0el}/p_n = 2\pi f/p_n.$$

Stator magnit maydoning kuch chiziqlari rotor faza cho`lg`aming o`ramlari bilan yoki rotor olmog`on g`ildiragining o`zaklari bilan ta`sirlashib, una eYUKni hosil qiladi. Ushbu eYUK ta`siri natijasida rotor cho`lg`amida tok oqib o`tadi va bu tokning stator maydoni bilan o`zaro ta`sirlashish oqibatida (aylanuvchan) elektromagnit moment hosil bo`ladi. Ravshanki, rotor EYUKihamda rotor cho`lg`amidagi tok nolga teng emas, va mos ravishda elektromagnit moment ham noldan farq qiladi faqatgina qachonki statorning maydon tezligi bilan rotor maydonining tezligi teng bo`lmagan holda, ya`ni rotor va maydon asinxron ravishda aylanganda. Rotor EYUKi  $\omega_p$  chastotasi quyidagi formuladan topiladi:

$$\omega_p = \omega_{0el} - p_n \omega$$

bu erda  $\omega$ - dvigatelning fizik fazodagi burchak tezligi;  $p_n \omega$ - rotorning burchak tezligi, el.rad.

Odatda stator va rotor cho`lg`amlari o`ramlarining soni turlicha bo`ladi. Bu esa ularda kechayotgan jarayonlarni bir vaqtning o`zida qarab chiqish imkoniyani qiyinlashtiradi. SHuning uchun hisoblashlarni amalga oshirish chog`ida rotor cho`lg`ami stator cho`lg`amiga shunday “yaqinlashtiriladi”ki, ularning o`ramlari soni teng bo`lsin va bu stator cho`lg`aming ish rejimiga ta`sir ko`rsatmasin. Buning uchun amalga oshirilgan yaqinlashtirish oqibatida stator va rotor cho`lg`amlarini bog`lovchi magnitlovchi kuch va asosiy magnit oqimi o`zgarmas saqlanishi kerak, ya`ni quyidagi tenglik bajarilishi zarur

$$i_2' w_2' = i_2' w_1 = i_2 w_2,$$

bu erda  $i_2$ - rotorcho`lg`amida tok;  $w_1$  va  $w_2$ - mos ravishda stator va rotor faza cho`lg`am o`ramlarining soni (shtrix bilan  $k_T = w_1/w_2$  transformatsiya koeffitsienti orqali statorga yaqinlashtirilgan rotor kattaliklari).

Agar rotorning aktiv va induktiv qarshiliklarini qiymatlarini  $R_{2p}$  va  $L_{2p}$  deb belgilasak, unda ularning statorga yaqinlashtirilgan qiymatlari  $R_2 = k_T^2 R_{2p}$  va  $L_2 = k_T^2 L_{2p}$  kabi aniqlanadi. Rotor cho`lg`amidagi kuchlanish va tokning yaqinlashtirilgan absolyut qiymatlari quyidagi ifoda bilan aniqlanadi:

$$|U_2| = k_T |U_{2p}|; \quad |I_2| = k^{-1} |I_{2p}|.$$

Ma`lumotnomalarda asinxron dvigatelning rotori uchun keltirilgan parametrlar asosan statorga yaqinlashtirilganlari beriladi. Qisqa tutashtirilgan rotorli dvigatellar uchun statorga yaqinlashtirilgan faza rotorli dvigatelga ekvivalent bo`lgan kattaliklar keltirilgan bo`ladi. SHuning uchun bundan keyingi bayonlarimizda statorga yaqinlashtirilgan dvigatel parametrlarini varotorning statorga yaqinlashtirilgan kattaliklarini shtrix bilan belgilashni qabul qilmaymiz. Ma`lumotnomalarda kuchlanish va tokning effektiv (ta`sir etuvchi) qiymatlari keltiriladi. Lyokin hozirgi kunda o`zgaruvchan tok motorlarida kechadigan elektromagnit jarayonlarni matematik ifodalash uchun kuchlanish, tok va oqim ilashuvlarining fazoviy vektorlaridan keng foydalanilmoqda. Ushbu fazoviy vektorlarning modullari mos kattalalarning amplituda qiymatlariga teng bo`ladi. Ma`lumki, sinusoidal kattaliklarning amplituda va effektiv qiymatlari o`zaro  $\sqrt{2}$  koeffitsient orqali bog`langan bo`ladi. SHuning uchun fazoviy vektorlarni modullarini  $|\tilde{U}|, |\tilde{I}|, |\tilde{\Psi}|$  kabi belgilab  $|\tilde{U}| = \sqrt{2}U; |\tilde{I}| = \sqrt{2}I; |\tilde{\Psi}| = \sqrt{2}\Psi$ , kabi yozishimiz mumkin, bu erda  $U, I, \Psi$ - kattaliklarning ta`sir etuvchi qiymatlari.

Stator cho`lg`amlari yulduz (Y) yoki uchburchak ( $\Delta$ ) shaklida ulanishi mumkin. Asinxron dvigatelning pasport parametrlarida odatda stator kuchlanish va tokining nominal qiymatlari keltirilgan bo`ladi, masalan:  $U_{nY}/U_{n\Delta} = 380/220 B$ ;  $I_{nY}/I_{n\Delta} = 1,2/2,078 A$ .

Vektorli ifodalashda fazoviy vektor moduli stator cho'lg'amidagi kuchlanish va tokning amplituda qiymati kabi aniqlanadi, xususan, faza kuchlanishi va toki uchun:

$$|\tilde{U}_1| = \sqrt{2}U_1 = (\sqrt{2}/\sqrt{3})U_{1Y} = \sqrt{2}U_{1\Delta};$$
$$|\tilde{I}_1| = \sqrt{2}I_1 = \sqrt{2}I_{1Y} = (\sqrt{2}/\sqrt{3})I_{1\Delta},$$

bu erda  $U_1, I_1$ - mos ravishda faza kuchlanishi va tokining effektiv qiymatlari.

Sinxron dvigatelli elektr yuritmalarda esa qo'llaniladigan o'zgartirgichlarni ikki guruhga bo'lish mumkin [52]: tashqi boshqaruv tizimiga ega bo'lgan va o'z-o'zini boshqaruvchi sinxron dvigatelli elektr yuritmalar.

Birinchi guruhga 3-bobda ko'rib o'tildigan elektr yuritmalar ta'luqlidir. Agar bunday elektr yuritma rostlanadigan bo'lsa, unda chiqishidagi kuchlanish va chastota bir-biriga bog'liq bo'lmagan ravishda rostlanadigan elektr manbaidan ta'minlanadi. Lekin tashqi boshqaruv tizimiga ega bo'lgan sinxron dvigatelli elektr yuritmadan foydalanishning cheklovlari mavjud. Rostlanmaydigan elektr yuritmalarda sinxron dvigatel bevosita tarmoqdan ta'minot oladi. Bunday elektr yuritmalar asosan katta quvvatli qurilmalarda qo'llaniladiki, ularda dvigatelning qo'zg'atish tokiga ta'sir ko'rsatish orqali oshib boruvchi quvvat koeffitsientini ta'minlash imkoniyati mavjud bo'ladi. Bu esa sinxron dvigatelli elektr yuritmadan tashqari aktiv-induktiv yuklamaga ega bo'lgan juda ko'p sonli elektr energiya iste'molchilari (masalan, asinxron dvigatelli elektr yuritmalar) mavjud bo'lgan korxonaning umumiy quvvat koeffitsientini oshirish imkoniyatini beradi.

Ikkinchi guruh elektr yuritmalarda berilayotgan kuchlanish chastotasining qiymati dvigatel rotorida joylashgan rotor holatining datchigi orqali belgilanadi. Bunda rotor bilan bog'langan rotor oqimi vektoriga nisbatan stator toki fazoviy vektorining holatiga ta'sir etish imkoniyati mavjud bo'ladi. O'z-o'zini boshqaradigan sinxron dvigatelli elektr yuritmalarni turlicha nom berish qabul qilingan: "kontaktsiz o'zgarimas tok dvigateli", "ventil dvigatelli elektr yuritma", "servoelektr yuritma". Oxirgi ibora motorni u yoki bu sohada yordamchi zveno sifatida qo'llanilishini bildiradi. Masalan, tokarlik stanoklarda asosiy harakat yuritmasi – ishlov berilishi kerak bo'lgan detallni aylantiruvchi yuritmadan farqli ravishda uzatish yuritmalari yordamchi hisoblanadi. Bunday elektr yuritmalarga yuqori dinamika talablari qo'yiladi. Keyingi paytlarda chet el texnik adabiyotlarida servodvigatel deganda odatda o'z-o'zini rostlaydigan kichik inertsiyonli o'zgarimas magnitli sinxron dvigatellar tushuniladi.

Ushbu magistrlik ishida, rotorida o'zgarimas magnit va shu bilaan birga rotor holatining datchigi hamda rotor holatining boshqarish funktsiyasining bajaruvchichi ta'minot manbasi bo'lgan sinxron elektr dvigatellar uchun "ventilli dvigatellar" iborasi qo'llanilgan. "Kontaktsiz o'zgarimas tok dvigatellari" [50] iborasi stator toki to'g'ri burchak shakliga ega bo'lgan va rotor holatining datchigi o'rnatilgan sinxron dvigatellar uchun saqlab qolingan.

Faza toklarining shakli sinusoidal bo'lgan tokda ishlovchi zamonaviy ventilli dvigatellar havo oralig'idagi magnit oqimning yuqori zichligi bilan, elektromagnit moment va inertsiya momenti orasidagi nisbatning kattaligi bilan, tezlikni rostdashning hamma diapazonida momentning kichik pulsatsiyasi bilan, shuningdek qo'zg'almas dvigatelda momentni boshqarish imkoniyati borligi bilan xarakterlanadi. Ular juda yaxshi quvvat koeffitsientiga ega. Ventilli dvigatellar nominal momenti bir necha o'n n'yuton metr qilib ishlab chiqariladi va yuroqi statik va dinamik xarakteristika talab qiladigani elektr yuritmalari mavjud turli mexanizmlarda qo'llaniladi.

**Mavzuning dolzarbligi.** Bugungi kunda o'zgaruvchan tok dvigatelli elektr yuritmalarning eng ko'p tarqalgan turlari o'z tarkibida o'zgarmas tok zvenoli chastota o'zgartirgich va keng impuls modullyatsiyali invertor asosidagi o'zgartirgichlarni oladi. O'zgartirgichda tashqi interfeysli va mikroprotsessor boshqaruvli elektr eritmani boshqarish tizimi o'rnatilgan bo'lib, u foydalanuvchiga elektr yuritmani sanoat korxonalarining turli xil sohalari ishlatishning maksimum imkoniyatini beradi.

O'zgarmas tok zvenoli o'zgartirgichlarda o'zgaruvchan chiqish kuchlanishi avtonom invertor yordamida o'zgarmas tokdan shakllanadi. Odatda ta'minot manbai sifatida o'zgaruvchan tok tarmog'i hisoblanganligi uchun chastota o'zgartirgich tarkibida boshqariluvchi yoki boshqarilmaydigan to'g'rilagichlar kiradi. Bunday o'zgartirgichlar chiqish chastotasining maksimal qiymatiga chelov qo'ymaydi. O'zgarmas zvenoli chastota o'zgartirgich ikkiga: avtonom tok invertori va avtonom kuchlanish invertoriga bo'linadi. Hozirgi kunda avtonom kuchlanish invertorli o'zgartirgichlar nisbatan eng miqyosda qo'llanilmoqda.

**Ishning maqsadi:** Ilmiy ishdan asosiy maqsad chastotaviy boshqariladigan elektr yuritma tizimidagi chastota o'zgartirgichlarni matematik ifodalanishini ishlab chiqish hamda avtomatlashtirilgan sxemalarini tahlil qilib, ularni optimallashtirishni asoslab tadbir etish bo'yicha tavsiyalar ishlab chiqish.

**Ishning amaliy ahamiyati:** Magistrlik ishida ochib berilgan chastota o'zgartirgichlarning ishlash printsiplari zamonaviy elektr yuritmalarda qo'llaniladigan elektr o'zgartirgichlarni qo'llash mezonlarini aniqlashda yordam beradi.

**Tadqiqot usullari.** Tadqiqotlar jarayonida analitik va tajriba usullari: kuchlanish avtonom invertori va tok avtonom invertori tadqiqoti, graf modellari, boshqarish nazariyasi, o'lchov o'zgartirgichlari nazariyasi, modellashtirish,



ehtimolliklar, xatoliklarni tadqiq etish va ishonchlilikni hisoblash usullari qoʻllanilgan.

**Dissertatsiya tadqiqotining ilmiy yangiligi** quyidagilardan iborat:

- avtonom kuchlanish invertorli va boshqariluvchan toʻgʻrilagichli chastota oʻzgartirgichlarning matematik ifodalanishi ishlab chiqildi;
- kuchlanish avtonom invertori va keng-impulsli modulyatsiyali chastota oʻzgartirgichning matematik ifodalanishi ishlab chiqildi;
- kuchlanish avtonom invertorli va keng-impulsli modulyatsiya vektorli chastota oʻzgartirgichlarning matematik ifodalanishi ishlab chiqildi;
- tok bilan boshqariladigan avtonom invertorli chastota oʻzgartirgichning matematik ifodalanishi ishlab chiqildi;
- oʻzgarmas tok zvenoli chastota oʻzgartirgichdan taʼminot olayotgan dvigatelning tormoz rejimining matematik ifodalanishi ishlab chiqildi;

**Dissertatsiya tarkibining qisqacha tavsifi.** Dissertatsiya ishi kirish, 3 bob, 12 band, xulosa, foydalanilgan adabiyotlar roʻyxati va ilovadan iborat boʻlib, 90 betni tashkil etdi. Unda 32 ta rasm va grafiklar, 7 ta jadvallar oʻz aksini topgan.

«XXI asrda fan va texnologiyalar » mavzusida respublika ilmiy-amaliy anjumani. Dekabr 2016 yilda Hafizov.I.I bilan hammualliflikda chop qilingan “Dempfer choʻlgʻamli sinxron dvigatelning matematik ifodalanilishi”, “Energiya sifat koʻrsatgichlarining mahsulot sifatiga taʼsiri” «Problems and prospects of development of innovate cooperation in scientific researches and system of training of personnel» mavzusida professor oʻqituvchilar, katta ilmiy – izlanuvchilar va magistrLAR xalqaro ilmiy-amaliy anjuman materiallarida chop qilingan “Rom star qk transformatorlarining ekspluatatsion tavsiflarini tadqiq qilish va energiya tejash tadbirlarini ishlab chiqish” (Buxoro, MTI ,24-25dekabr, 2017) maqolalarida aks etgan.

## 1 BOB

### 1-BOB. “ROMSTAR” QQNING BOSH REJASI VA TEXNOLOGIK QURILMALARDAGI MAVJUD O`ZGARUVCHAN TOK ELEKTR YURITMALAR TAHLILI.

“Elektr energiyasining asosiy qismini sanoat korxonalari iste`mol qiladi. Sanoat korxonalarining elektr ta`minoti bir necha bosqichdan iborat bo`lib, asosiy bosqichlari tashqi elektr ta`minoti, korxonada ichki elektr ta`minoti va sex ichki elektr ta`minoti hisoblanadi.

#### 1.1. Pardozlash sexining elektr ta`minoti

##### KORXONA ELEKTR YUKLAMALARINI HISOBLASH.

1.1-jadval

No	Sexning nomi	Ro`r, kVt	Kt, -	sosφ
1.	Yig`iruv fabrikasi	210	0.8	0.81
2.	Ma`muriyat binosi	60	0.72	0.83
3.	To`quv fabrikasi	170	0.81	0.82
4.	Kompressor stansiyasi	130	0.82	0.83
5.	Texnik ta`minot bo`limi	110	0.75	0.8
6.	Pardozlash fabrikasi	175	0.78	0.81
7.	Mexanika sexi	90	0.73	0.85

Iste`molchilarni yuklamasini talab koefitsienti usulida hisoblaymiz.

Hisobiy aktiv yuklama quyidagi ifodadan aniqlanadi:

$$R_{his} = R_{o'r} \cdot K_t;$$

bu erda  $R_{o'r}$  -sexning o`rnatilgan quvvati, kVt

Hisobiy reaktiv yuklama:

$$Q_{xuc} = P_{xuc} \cdot tg \varphi;$$

Quvvat koefitsienti kiymatidan  $\sin \varphi$  ni aniqlaymiz:

$$\sin \varphi = \sqrt{1 - \cos^2 \varphi};$$

Istemolchilarning tabiiy  $tg \varphi_m$  ni topamiz:

$$\operatorname{tg} \varphi = \frac{\sin \varphi}{\cos \varphi};$$

Istemolchilarni reaktiv quvvati:

Qolgan iste`molchilar uchun hisoblashlar shu tarzda bajariladi va olingan natijalarni quyidagi 3-jadvalga kiritamiz.

Eritishning hisobiy yuklamasi birlik yuzaga sarflanadigan eritish quvvati orqali hisoblanadi. YA`ni:

$$R_{yor} = R_0 \cdot F_{ts};$$

bu erda  $F = a \cdot b$  -sexning eritiladigan maydoni, m ;

$R_0$  -1 m<sup>2</sup> eritiladigan yuzaga tugri keladigan quvvat, Vt/m<sup>2</sup>

Sexning umumiy hisobiy yuklamasi texnologik uskunalarning va eritish uskunalarning hisobiy quvvatlarining yigindisi orqali hisoblanadi. YA`ni:

$$P_{\Sigma} = P_{his} + P_{yor};$$

Sexning umumiy reaktiv quvvati:

$$Q_{\Sigma} = Q_{his} + Q_{yor};$$

Sexning umumiy to`la quvvati:

$$S_{\Sigma} = \sqrt{P_{\Sigma}^2 + Q_{\Sigma}^2};$$

Hisoblashlarni Yigiruv fabrikasi misolida bajarib natijalarni

2-jadvalga kiritamiz.

Aktiv yuklamani hisoblaymiz

$$R_{his} = R_{o\`r} \cdot K_t = 210 \cdot 0.8 = 168 \text{ kBt}$$

Reaktiv yuklamani hisoblaymiz

$$Q_{xuc} = P_{xuc} \cdot \operatorname{tg} \varphi; = 168 \cdot 0.72 = 122 \text{ kBap}$$

Yoritishning hisobiy aktiv yuklamasi

$$R_{yor} = R_0 \cdot F_{ts} = 14 \cdot 525 = 7 \text{ kBt}$$

bu erda F - sexning maydoni, Po - nisbiy eritish quvvati

Yoritishning hisobiy reaktiv yuklamasi

$$Q_{yor} = R_{yor} \cdot \operatorname{tg} \varphi = 7 \cdot 0.95 = 7 \text{ kBap}$$

Yigindi hisobiy aktiv yuklama

$$P_{\Sigma} = P_{his} + P_{yor} = 168 + 7 = 175 \text{ kVt}$$

Yig`indi hisobiy peaktiv yuklama

$$Q_{\Sigma} = Q_{his} + Q_{yor} = 122 + 7 = 129 \text{ kVar}$$

$$\text{Yigindi hisobiy yuklama: } S_{\Sigma} = \sqrt{P_{\Sigma}^2 + Q_{\Sigma}^2} = \sqrt{175^2 + 129^2} = 217 \text{ kVA}$$

Qolgan iste`molchilar uchun xam hisoblashlar shu tarzda bajariladi va natijalar 2-jadvalga kiritiladi

## 1. 2-JADVAL

SEX NOMI	Po'r kBt	K c -	Cos φ	P <sub>x</sub> kVt	Q <sub>x</sub> kvar	P <sub>o</sub> Bt	F kv. m	P <sub>yo</sub> kVt	Q <sub>yo</sub> kvar	Phis KVt	Qhis Kvar	Shis kVA
Yigiruv fabrikasi	210	0.8	0.81	168	122	14	525	7	7	175	129	217
Ma'muriyat binosi	60	0.72	0.83	43	29	18	350	6	6	50	35	61
To'quv fabrikasi	170	0.81	0.82	138	96	14	375	5	5	143	101	175
Kompressor stantsiyasi	130	0.82	0.83	107	72	10	100	1	1	108	73	130
Texnik ta'minot bo'limi	110	0.75	0.8	83	62	12	600	7	7	90	69	113
Pardozlash fabrikasi	175	0.78	0.81	137	99	14	600	8	8	145	107	180
Mexanika sexi	90	0.73	0.85	66	41	12	300	4	3	69	44	82
<b>Jami</b>				740	520					779	557	958

Zavodning umumiy quvvati

$\Sigma P = 779$  kVt;  $\Sigma Q = 557$  kvar;  $\Sigma S = 958$  kVA Transformatoridagi  
aktiv quvvat isrofi

$$\Delta P_{mp} = S_{\Sigma kop} \cdot 0,02 = 958 \cdot 0,02 = 16 \text{ kBt}$$

Transformatoridagi reaktiv quvvat isrofi

$$\Delta Q_{mp} = S_{\Sigma kop} \cdot 0,1 = 958 \cdot 0,1 = 96 \text{ kBar}$$

Kompensatsiyalanadigan reaktiv quvvat

$$Q_{ky} = P_{\Sigma kop} (tg \varphi_m - tg \varphi_M) = 779 \cdot (0,84 - 0,33) = 396 \text{ kBap}$$

bu erda  $tg \varphi_t$  va  $tg \varphi_m$  - tabiiy va meyeriy quvvat koeffitsienti

Bu erda:

$$tg \varphi_T = \frac{\sum Q_{KOP} + \Delta Q_{TP}}{\sum P_{KOP}} = \frac{557 + 96}{779} = 0,84; \quad tg \varphi_M = 0,33$$

Korxonaning reaktiv quvvati qoplangandan keyingi reaktiv quvvati:

$$\sum Q_{KOP} = \sum Q + \Delta Q_{TP} - Q_{KKV} = 557 + 96 - 396 = 257 \text{ KBAP}$$

Korxonaning reaktiv quvvati qoplangandan keyingi To'la quvvati:

$$\sum S_{KOP} = \sqrt{\sum P_{KOP}^2 + \sum Q_{KOP}^2} = \sqrt{779^2 + 257^2} = 821 \text{ KBA}$$

### **Korxonaning elektr yuklamalar kartogramasini hisoblash.**

Elektr ta'minoti tizimini loyixalashda korxonaning elektr yuklamalar kartogrammasi hisoblanadi. Korxonaning yuklamalarini tasviriy ko'rinishda korxonaning bosh planida ifodalanishi elektr yuklamalar kartogrammasi deyiladi. Bunda xar bir sexning elektr yuklamalar doiralari ko'rinishida korxonaning bosh planida kursatiladi. Eritish yuklamasi esa doira ichidagi sektor ko'rinishida beriladi. Kartogramma orqali korxonaning xududida yuklamalar kandy tartibda taqsimlanganini aniqlash mumkin. Bu kartogrammadan asosan bosh pasaytiruvchi podstantsiya yoki bosh taqsimlash uskunasi urnini aniqlash maksadida foydalaniladi. Elektr yuklamalar kartogrammasida xar bir sexning aktiv iste'mol quvvati doira yuzasiga keltiriladi.

$$R_{\Sigma n} = \pi \cdot m \cdot r^2$$

bu erda m-quvvatni yuzaga o'tkazish koeffitsienti (modul) bulib, u quyidagicha

$$\text{aniqlanadi: } m = \sqrt{\frac{P_{\Sigma n}}{\pi \cdot r_0^2}};$$

bu erda  $r_0$  -modulni aniqlash uchun quvvati asos kilinib olinadigan sexga chizilgan doiraning radiusi. Bunda talaba doiralarning bir-biri bilan kesishmasligi va yakkol ko'rinishini hisobga olib quvvati asos kilinib olinadigan sexga aylana chizadi. Sungra uning radiusini hisoblab modulni hisoblanadi. SHu modul asosida quyidagi ifoda bilan xar bir sexning iste'mol quvvatini ifoda

$$\text{etuvchi doiralarning radiuslari aniqlanadi: } r_n = \sqrt{\frac{P_{\Sigma n}}{\pi \cdot m}};$$

Xar bir iste'molchi sexning eritish yuklamasi doirada sektor ko'rinishida ifodalanadi. Bu sektorning burchagi quyidagicha aniqlanadi:

$$\alpha = \frac{P_{\ddot{e}pn}}{P_{\Sigma n}} \cdot 360^\circ;$$

elektr yuklamalar markazi quyidagicha aniqlanadi. Korxonaning xududi chegarasi buylab tugri burchakli koordinatalar sistemasi o'tkaziladi. Xar bir sexning X va U uxlari buyicha koordinatalari aniqlanadi va 6-jadvalga kiritiladi. Xar bir sexning iste'mol quvvati X va U koordinatasi bilan ko'paytiriladi va bu ko'paytmaning X o'ki buyicha va U o'ki bo'yicha yigindilari hisoblanadi.

Korxonaning yuklamalarini korxonaning bosh planida grafik ko'rinishda ifodalash elektr yuklamalar kartogrammasi deyiladi. Bunda elektr yuklamalar markazi hisoblanib bosh taqsimlash uskunasi o'rni aniqlanadi. YUklamalar doiralari shaklida

eritish yuklamasi esa sektor ko'rinishida beriladi . Quvvat modul orqali grafik ko'rinishga utadi  $M=0,23$  deb olamiz.

Korxonada bosh planiga koordinatalar sistemasini kiritamiz va elektr yuklamalar markazini hisoblaymiz

**Yig'indi hisobiy quvvatni X koordinataga ko'paytiramiz**

$$P_x = P_{his} \cdot X = 175 \cdot 15 = 2630 \text{ kVt} \cdot \text{m}$$

Yigindi hisobiy quvvatni U koordinataga ko'paytiramiz

$$P_y = P_{his} \cdot Y = 175 \cdot 25 = 4384 \text{ kVt} \cdot \text{m}$$

Eritish sektori burchagi  $\alpha$  ni aniqlaymiz

$$\alpha = \frac{P_{\dot{e}pn}}{P_{\Sigma n}} \cdot 360^\circ = (7/175) \cdot 360^\circ = 15^\circ$$

Hisobiy yuklama doirasining radiusini hisoblaymiz

$$r_n = \sqrt{\frac{P_{\Sigma n}}{\pi \cdot m}} = \sqrt{\frac{175}{1 \cdot 3,14}} = 7,5 \text{ m} \quad (r=0,75 \text{ cm})$$

Qolgan sexlar uchun xam hisoblashlar shunday bajariladi va hisoblash natijalari quyidagi jadvalga kiritiladi.

1.3-jadval.

No	Sexning nomi	$R_x$ , KVt	$R_{yor}$ , kVt	X M	Y M	$R_x X$ KVt m	$R_x Y$ kVt m	$\alpha$ grad	r m
1.	Yigiruv fabrikasi	175	7	15	25	2630	4384	15	7
2.	Ma'muriyat binosi	50	6	35	25	1733	1238	46	4
3.	To'quv fabrikasi	143	5	55	30	7862	4289	13	7
4.	Kompressor stantsiyasi	108	1	145	35	15602	3766	3	6
5.	Texnik ta'minot bo'limi	90	7	100	15	8970	1346	29	5
6.	Pardozlash fabrikasi	145	8	100	35	14490	5072	21	7

7.	Mexanika sexi	69	4	135	15	9356	1040	19	5
	Jami	779				60643	21132		

### Elektr yuklamalar markazi koordinatalarini aniqlaymiz

$$X_0 = \frac{\Sigma(P_{\Sigma n} \cdot X_n)}{\Sigma P_{\Sigma n}} = \frac{60643}{779} = 78,4M;$$

$$Y_0 = \frac{\Sigma(P_{\Sigma n} \cdot Y_n)}{\Sigma P_{\Sigma n}} = \frac{21132}{779} = 27,1M;$$

Topilgan koordinatalar asosida elektr yuklamalar markazi nuqtasini korxonada bosh planida ko'rsatamiz. SHu nuqtaga iloji boricha yaqinroq masofada korxonaning bosh taqsimlovchi uskunasini o'rnatamiz.

### TASHQI ELEKTR TA`MINOTINI HISOBLASH

Hududning tashqi elektr ta`minoti energosistema bog'lovchi elektr uzatish yo'li va bosh pasaytiruvchi podstantsiya yoki bosh taqsimlash uskunasini uz ichiga oladi. Tashqi elektr ta`minoti hisoblashlarni xavo EUY ni hisoblashdan boshlaymiz. Bunda dastlab 10 kV li xavo EUYni tanlaymiz

EUY ning hisobiy toki

$$I_{xuc} = \frac{S_{yok}}{n \cdot \sqrt{3} \cdot U_{nom}} = \frac{821}{2 \cdot \sqrt{3} \cdot 10} = 24,4A;$$

EUY ning shikastlanish toki

$$I_u = \frac{S_{yok}}{n \cdot \sqrt{3} \cdot U_{nom}} = \frac{821}{\sqrt{3} \cdot 10} = 48,8A;$$

Tanlangan EUY ning pasport parametrlari

AS- 70; Idd=265 A; Ro=0.42 om/km; Xo=0.4 om/km; Ko=11 m.s./km

EUY ning kuchlanish isrofi

$$\Delta U_{\%} = \sqrt{3} \cdot I_x \cdot (R_0 \cdot \cos \varphi + X_0 \cdot \sin \varphi) \cdot l_{\%} =$$

$$= 1,73 \cdot 24 \cdot (0,42 \cdot 0,95 + 0,4 \cdot 0,31) \cdot 3,1 = 67 B$$

$$\Delta U \% = \frac{\Delta U_{kl}}{U_{nom}} = \frac{67}{10000} \cdot 100\% = 0,67\%;$$



Kuchlanish isrofi me`yoriy qiymatidan oshmaganligi sabali hisoblashlarni davom ettiramiz va tashqi elektr ta`minot uchun BTU tanlaymiz:

EUY ning quvvat isrofi

$$\Delta P_{\kappa l} = 3 \cdot I_x^2 \cdot R_0 \cdot l_{\kappa l} = 2 \cdot 3 \cdot 24^2 \cdot 0.42 \cdot 3,1 = 4,38 \text{ kBt}$$

Kuchlanish isrofining kiymati meyeriy kursatkichdan kam bo`lgani uchun hisoblashlarni davom ettiramiz

EUY ning texnik-iktisodiy kursatkichlarini hisoblash

EUY dagi energiya isrofi

$$\Delta A_{EUY} = \Delta P_{EUY} \cdot t = 4,38 \cdot 4280 = 18764 \text{ kVt soat}$$

EUY ning amortizatsiya ajratmasi

$$U_a = K_{\text{ayit}} \cdot \varphi_a = 34,1 \cdot 0.023 = 0,78 \text{ mln so`m}$$

EUY uchun amortizatsiya koeffitsienti  $\varphi_a = 0,023$ ;

EUY ning joriy remont va xizmat kursatish ajratmasi

$$U_j = K_{EUY} \cdot \varphi_j = 34,1 \cdot 0.004 = 0.14 \text{ mln so`m}$$

EUY uchun joriy remont koeffitsienti  $\varphi_j = 0,004$ ;

EUY isroflari kiymati

$$\Delta U_{uc} = \Delta P \cdot \alpha + \Delta A \cdot \beta = 4,38 \cdot 250000 + 18764 \cdot 120 = 3,35 \text{ mln so`m}$$

bu erda  $\alpha$ -elektr energiya tulovining asosiy stavkasi joriy yil uchun

$\alpha = 250000$  so`m/kVt.  $\beta$ -kushimcha stavka joriy yil uchun  $\beta = 120$  so`m/kVt.soat

EUY ning ekspluatatsiya xarajatlari

$$U = U_a + U_j + \Delta U_p = 0,78 + 0,14 + 3,35 = 4 \text{ mln so`m}$$

EUY ning keltirilgan yillik xarajatlari

$$3_{EUY} = U + K_{EUY} \cdot 0,12 = 4,3 + 0,12 \cdot 34,1 = 8,4 \text{ mln so`m}$$

Mavjud elektr ta`minoti tizimiga ko`ra bosh taqsimlash uskunasi xam bosh pasaytiruvchi podstantsiya mavjud emas. Lyokin korxonasi ichki elektr ta`minotining ikkinchi variantida bir necha sex podstantsiyali sxema ko`rilishi mumkin. SHuning uchun bosh taqsimlash uskunasi xam hisoblaymiz. Ikkita kirish va beshta chikish liniyasi bo`lgan bosh taqsimlash uskunasi tanlaymiz. BTU narxi 8,366 mln. so`m. BTU dagi isroflarni hisobga olinmaydi.

BTU amortizatsiya ajratmalari:

$$U_a = K_{\text{btk}} \cdot \varphi_a = 50,2 \cdot 0,064 = 3,21 \text{ mln so'm}$$

Joriy remont va xizmat kursatish ajratmasi,  $\varphi_a = 0,064$

$$U_j = K_{\text{btk}} \cdot \varphi_j = 50,2 \cdot 0,04 = 2,01 \text{ mln so'm}$$

Bu erda, Joriy remont va xizmat kursatish ajratmasi,  $\varphi_a = 0,064$

BTU ning ekspluatatsiya xarajatlari

$$U = U_a + U_j + U_p = 3,21 + 2,01 + 0,00 = 5,22 \text{ mln so'm}$$

Keltirilgan yillik xarajatlar

$$3 = U + K_{\text{btk}} \cdot 0,12 = 5,22 + 0,12 \cdot 50,2 = 11,24 \text{ mln so'm}$$

Olingan natijalarni 4-jadvalga kiritib tashqi elektr ta`minotining texnik iktisodiy kursatkichlarini aniqlaymiz

#### 1.4-JADVAL

BTU hisobi					
K	U <sub>a</sub>	U <sub>jr</sub>	U <sub>is</sub>	I	Z
50.2	3.21	2.01	0.00	5.22	11.24

#### 1.5-JADVAL

#### TASHQI eLEKTR TA`MINOTINING TEXNIK-IKTISODIY KURSATKICHLARI

Tashqi elektr ta`minot texnik iktisodiy kursatkichi							
		K	U <sub>a</sub>	U <sub>jr</sub>	U <sub>is</sub>	I	Z
	EUU	34.1	0.78	0.14	3.35	4	8.4
	BTU	50.2	3.21	2.01	0.00	5.22	11.24
		84.3	4.00	2.14	3.35	9.49	19.60

## KORXONANING ICHKI ELEKTR TA`MINOTINI HISOBLASH

Korxonaning ichki elektr ta`minoti tizimi korxonada xududidagi yuqori va past kuchlanishli kabel yo'llarini, xamda sex transformator podstantsiyalari va taqsimlash punktlarini o'z ichiga oladi. Dastlab korxonaning elektr ta`minotidagi sex podstantsiyalarining yuklamalari va kabel yo'llari sxemalarini tanlanadi. Berilgan topshirikga asosan elektr ta`minotining ikkita variantini taklif etamiz. Bunda quyidagi talablarni hisobga olamiz:

1. elektr iste`molchilarni energiya ta`minotining uzluksizligi bo'yicha ishonchliligi kategoriyasi ta`minlanishi kerak.

2. elektr uzatish yo'llarida quvvat va kuchlanish isrofi meyeriy kursatkichlardan oshmasligi kerak.

3. Minimal texnik-iktisodiy kursatkichlar ta`minlanishi lozim.

Elektr ta`minotining ishonchliligi radial yoki magistral elektr tarmoqlardan foydalanib ta`minlanadi. Bundan tashkari ikki transformatorli podstantsiyalardan foydalaniladi. I va II kategoriya iste`molchilari ikki mustakil manbadan ta`minlanishi kerak.

Kuchlanish isrofi buyicha quyidagi talab kuyiladi: bosh pasaytiruvchi stantsiyadan to iste`molchigacha yigindi kuchlanish isrofi 5 % dan oshmasligi lozim. Agar bu talab bajarilmasa tarmoq kuchlanishi oshiriladi yoki kabel yo'lining kundalang kesim yuzasi kattarok kilib olinadi.

Taxminiy texnik-iktisodiy kursatkichlar variant tanlash paytida quyidagicha topiladi: kabel yo'llarining umumiy uzunliklari aniqlanib, ma`lumotnomadan narxlari aniqlanadi va shu narxlar asosida keltirilgan yillik xarajatlar va boshka texnik iktisodiy kursatkichlar aniqlanadi. Elektr ta`minoti sxemasining birinchi variantida odatda korxonaning mavjud elektr ta`minoti sxemasi ko`rib chikiladi. Bunda barcha iste`molchilar bevosta bosh pasaytiruvchi podstantsiyaga yoki bosh taqsimlovchi kurilmaga ulanadi. Ikkinchi variantda esa taklif etiladigan variant sxemasi ko`rib chikiladi.

Korxonaning ichki elektr ta`minotini hisoblash bosh taqsimlash uskunasiidan to sex taqsimlash uskunalariigacha bo'lgan tarmoqlarni va sex podstantsiyalarini hisoblashni uz ichiga oladi. Korxonaning ichki elektr ta`minoti ikki variantda ko`rib chikamiz.

### **Sex podstantsiyalarini hisoblash.**

Korxonaning ichki elektr ta`minoti tizimi sex podstantsiyalariga transformatorlari yuklamalarini hisoblashdan boshlanadi. Bunda zaxirada bo'lgan transformatorlar soni ikkitadan ortik bulmasligi lozim. YA`ni Sex podstantsiyalaridagi transformatorlarning quvvati fakat ikki xil bulishi mumkin. SHu me`zonga asoslanib

sex yuklamalari guruxlanadi va odatda quvvati katta bo'lgan sexlarga sex podstantsiyalari o'rnatiladi.

Korxonada ichki elektr ta'minotining birinchi variantida quyidagi elektr ta'minoti sxemasini ko'rib chikamiz.

Sex podstantsiyalarining transformatorlari quvvati yuklanish koeffitsienti orqali hisoblanadi: Unga kura 1-kategoriya iste'molchilari uchun  $\beta=0,65-0,75$ , 2-kategoriya uchun  $\beta=0,75-0,85$ , va 3-kategoriya uchun esa  $\beta=0,85-0,95$  oralikda bulishi kerak. Podstantsiyalardagi transformatorlarni yuklanish koeffitsientini quyidagi ifodadan aniqlanadi:

$$\beta = \frac{S_{IOK}}{n \cdot S_{HT}}$$

Yuklanish koeffitsienti me'riy kiymatiga tugri kelgan transformator nominal quvvati aniqlanadi. Sex podstantsiyalarini istemolchilarini quyidagicha guruxlaymiz:

**TP-1 3,1,2– sex; TP-2 6,5,4,7– sex;**

TP-1 3,1,2– sex;

$$R_{tp1} = P_1 + P_2 + P_3 = 368 \text{ kVt};$$

$$Q_{tp1} = Q_1 + Q_2 + Q_3 = 265 \text{ kVar};$$

Transformatorni tipini reaktiv quvvatni qoplangandan keyin yakuniy tanlaymiz. Koplovchi uskunalarni hisobiy quvvati quyidagi ifodadan aniqlanadi:

$$Q_{ky} = P_{\Sigma kop} (tg \varphi_m - tg \varphi_M) = 368 \cdot (0,72 - 0,328) = 143 \text{ kVar};$$

bu erda  $tg \varphi_m$  -sex podstantsiyasining tabiiy quvvat koeffitsientiga mos keluvchi  $tg \varphi$  bulib, uning kiymati quyidagi ifodadan topiladi:

$$tg \varphi_m = \frac{Q_{mn}}{P_{mn}} = \frac{265}{368} = 0,72;$$

Korxonaning meyeriy quvvat koeffitsienti  $\cos \varphi_m = 0,95$  bulib u  $tg \varphi_m = 0,328$  kiymatiga tugri keladi.

Qoplanadigan quvvatning hisobiy kiymatiga karab quvvati 80 kvar bo'lgan KKU-0,38-1 kondensatorli koplovchi uskunadan 2 ta tanlaymiz. Sex podstantsiyasining reaktiv quvvatni qoplaganda keyingi umumiy to'la quvvati:

$$S'_{mn} = \sqrt{P_{mn}^2 + (Q_{mn} - Q_{ky})^2} = \sqrt{368^2 + (265 - 143)^2} = 387 \text{ kVA};$$

bu erda  $Q_{ku}$  -koplovchi kurilmalar yigindi quvvati, kVar.

$$\beta = \frac{S_{\text{ЮК}}}{n \cdot S_{\text{HT}}} = \frac{387}{2 \cdot 250} = 0,8$$

Transformatoridagi isroflar quyidagicha hisoblanadi: aktiv quvvat isrofi:

$$\Delta P_{TP} = n \cdot (\Delta P_{\kappa} \cdot \beta^2 + \Delta P_0) = 2 \cdot (3,7 \cdot 0,8^2 + 0,8) = 6 \kappa Bm;$$

Transformatorlardagi energiya isrofi quyidagi ifodadan hisoblanadi:

$$\begin{aligned} \Delta A_{TP} &= n \cdot (\Delta P_{\kappa} \cdot \beta^2 \cdot \tau + \Delta P_0 \cdot T_{\text{вкл}}) = \\ &= 2 \cdot (3,7 \cdot 0,8^2 \cdot 4280 + 0,8 \cdot 8760) = 33 MBm \cdot \text{coam}; \end{aligned}$$

Sex podstantsiyalarini tanlash hisoblari natijalarini 6-jadvalga yozamiz.

1.6-jadval

TP Nomer	Transformator soni, tipi	Ppac kVt	Qpa <sup>c</sup> kVap	Spac kBA	B -	Pk kVt	Po kVt	Uk %	Io %	K Mln.c
TP-1	2XTM-250/10	368	265	387	0.8	3.7	0.8	4.5	2.3	38,5
TP-2	2XTM-250/10	412	292	433	0.9	3.7	0.8	4.5	2.3	38,5
Jami										77

Reaktiv quvvatni qoplashga oid natijalar quyidagi 7-jadvalga kiritiladi.  
1.7 jadvalga

TP Nomer	Transformator soni, tipi	Qky kBap	Koplovchi us kuna tipi	$\Delta P_{is}$ kVt	Atr MVt s
TP-1	2XTM-250/10	143	KKU-0.38-1 2x 80 kBap	6	33
TP-2	2XTM-250/10	156	KKU-0.38-1 2x 80 kBap	7.2	38
JAMI:				13.2	71

#### Kabel yo'llarini hisoblash.

Korxonaning ichki elektr ta'minotini loyixalashda kabel yo'llari ruxsat etilgan kizish me'zoni asosida tanlanadi. Bunda kabel yo'li istemolchilarini yigindi yuklamasi asosida hisobiy va shikastlanish toki aniqlanadi. Kabelning ruxsat etilgan davomli toki shikastlanish tokidan katta bulishi kerak. Masalan KL-1 kabel yo'li uchun istemolchi sifatida TP-1 yoki 1- sex bo'lgani uchun kabel yo'lining umumiy quvvati shu sexning quvvatidan iborat bo'ladi. Sex podstantsiyalargacha bo'lgan yuqori kuchlanishli kabel yo'llarda reaktiv quvvati qoplangan quvvat oqani uchun kabel yo'lidagi quvvat TP-1 ning to'la quvvatiga teng bo'ladi. YA`ni

$$S_{kl1} = S_{tp1}$$

Kabel yo'lining hisobiy toki:

Radial liniyalar uchun hisobiy va shikastlanish toklari quyidagiga hisoblanadi:

$$I_{xuc} = \frac{S_{yok}}{n \cdot \sqrt{3} \cdot U_{HO.M}} = \frac{387}{2 \cdot \sqrt{3} \cdot 10} = 11A;$$

SHikastlanish toki parallel liniyalardan biri uzilgan xol uchun hisoblanadi:

$$I_{xuc.ab} = \frac{S_{yok}}{\sqrt{3} \cdot U_{HO.M}} = \frac{387}{\sqrt{3} \cdot 10} = 22A;$$

bu erda  $S_{yuk-1}$ -sexning to'la yuklamasi, n-parallel liniyalar soni.

Tanlangan EUY simining ruxsat etilgan davomli toki shikastlanish tokidan katta bulishi kerak. Ma'lumotnomadan shu kiymatga yaqin va katta kesim yuzasini tanlaymiz. Simning tipi, kesim yuzasi, aktiv va reaktiv solishtirma karshiligi ezib olamiz.

Kabel yo'li tipi: ASB-3X50

Solishtirma karshiligi:  $R_0=0,62$  om/km;

Ruxsat etilgan davomiy toki:  $I_{dd}=165$  A;

Solishtirma narxi:  $K_0=20,58$  mln.so'm/km.

Hisoblanaetgan kabel yo'li uchun shikastlanish toki hisoblanadi va simning ruxsat etilgan davomli toki bilan takkoslanadi. SHikastlanish toki shu liniyadan okib utishi mumkin bo'lgan eng katta quvvat okimi bilan hisoblanadi.

1.8-jadval.

N	KY Nomeri	Istemolchi sexlar	Unon KB	Pkl kVt	Qkl kVar	Sk1 kVA	Iras A	Iav A
1	KY- 1	BTU-TP1	1000 0	368	265	387	11	22
2	KY- 2	BTU-TP2	1000 0	412	292	433	13	25
3	KY- 3	TP1 -RP1	400	175	129	217	157	314
4	KY- 4	TP1 -RP2	400	50	35	61	44	88
5	KY- 5	TP2 -RP3	400	108	73	130	94	187
6	KY- 6	TP2-RP4	400	90	69	113	82	163
7	KY- 7	TP2-RP5	400	69	44	82	59	119

	Jami							
--	------	--	--	--	--	--	--	--

Liniyaning aktiv va reaktiv qarshiliklari quyidagicha hisoblanadi:

$$R_1 = R_0 \cdot L_1 = 0,62 \cdot 0,03 = 0,019 \text{ om};$$

Olingan natijalar asosida eUI dagi quvvat va kuchlanish isroflari hisoblanadi.

Aktiv quvvat isrofi:

$$\Delta P_n = 3 \cdot I_x^2 \cdot R_0 \cdot l_n = 3 \cdot 11^2 \cdot 0,62 \cdot 0,03 = 0,007 \text{ kVt}$$

Kuchlanish isrofi:

Kuchlanish isrofining foiz miqdori:

$$\Delta U_n = n \cdot \sqrt{3} \cdot I_x \cdot (R_0 \cdot \cos \varphi + X_0 \cdot \sin \varphi) \cdot l_n;$$

$$= 2 \cdot 1,73 \cdot 11 \cdot (0,62 \cdot 0,95 + 0,09 \cdot 0,313) \cdot 0,03 = 0,85 \text{ V.}$$

Kuchlanish isrofining nisbiy qiymati:

$$\Delta U \% = \frac{\Delta U_{kl}}{U_{nom}} \cdot 100\% = \frac{0,83}{10000} \cdot 100\% = 0,01\%;$$

Kabel yo'llarini texnik iqtisodiy ko'rsatkichlarini barcha kabellar uchun bir marta hisoblaymiz. Kabel yo'llarini isroflarini 9-jadvaldan olib hisoblaymiz.

Kabel yo'llarida energiya isrofi:

$$\Delta A_{kl} = \Delta R_{kl} \cdot t = 1,8 \cdot 4280 = 7891 \text{ kVt} \cdot \text{soat.}$$

Kabel yo'llaridagi energiya isrofining qiymati:

$$\Delta U_{uc} = \Delta P \cdot \alpha + \Delta A \cdot \beta = 1,8 \cdot 250000 + 7891 \cdot 120 = 1,41 \text{ mln. so}^m.$$

Kabel yo'llarining amortizatsiya ajratmasi

$$U_a = K_{ki} \cdot \varphi_a = 4,43 \cdot 0,023 = 0,1 \text{ mln. so}^m.$$

bu erda  $\varphi_a$  -amortizatsiya ajratmasi koeffitsienti bulib, kuchlanishi 10 kV kabel yo'llari uchun  $m = 0,023$ ;  $K$  -kabel yo'li narxi.

Joriy remont ajratmasi:

$$U_{jcp} = K_{jyü} \cdot \varphi_{jcp} = 4,43 \cdot 0,02 = 0,1 \text{ mln so}^m.$$

bu erda  $\varphi_a$  -joriy remont ajratmasi bulib kuchlanishi 10 kV KL uchun  $\varphi_a = 0,02$ ;

Iillik ajratmalar:

$$U = \Delta U_{is} + U_a + U_{jr} = 0,1 + 0,1 + 1,41 = 1,6 \text{ mln. so}^m.$$

Kabel yo'llarining keltirilgan yillik xarajatlari:

$$Z_{kl} = U + E_n \cdot \Sigma K_{kl} = 1,6 + 0,12 \cdot 4,43 = 2,13 \text{ mln. so}^m.$$

KABEL YO'LLARINI HISOBLASH

1.9-JADVAL



Istemolchi Sexlar	Iav A	Idd A	Kabel kesim yuzasi va tipi	Ro om	Lkl Km	Rkl Om	$\Delta$ PI kVt	$\Delta$ U% %	Ko Mln	Kl mln
BTU-TP1	22	165	2xASB- 3x50	0.62	0.03	0.01 9	0.007	0.01	20.58	0.62
BTU-TP2	25	165	2xASB- 3x50	0.62	0.06	0.03 7	0.017	0.02	20.58	1.23
TP1 -RP1	314	450	2xAASHV- 3x185+1x50	0.12	0.03	0.00 4	0.266	1.38	21.372	0.64
TP1 -RP2	88	200	2xASB- 3x70+1x35	0.44	0.05	0.02 2	0.126	1.13	8.814	0.44
TP2 -RP3	187	200	2xASB- 3x70+1x35	0.44	0.08	0.03 5	0.927	3.85	8.814	0.71
TP2-RP4	163	200	2xASB- 3x70+1x35	0.44	0.02	0.00 9	0.176	0.84	8.814	0.18
TP2-RP5	119	200	2xASB- 3x70+1x35	0.44	0.07	0.03 1	0.325	2.12	8.814	0.62
JAMI					0.34		1.8		97.788	4.43

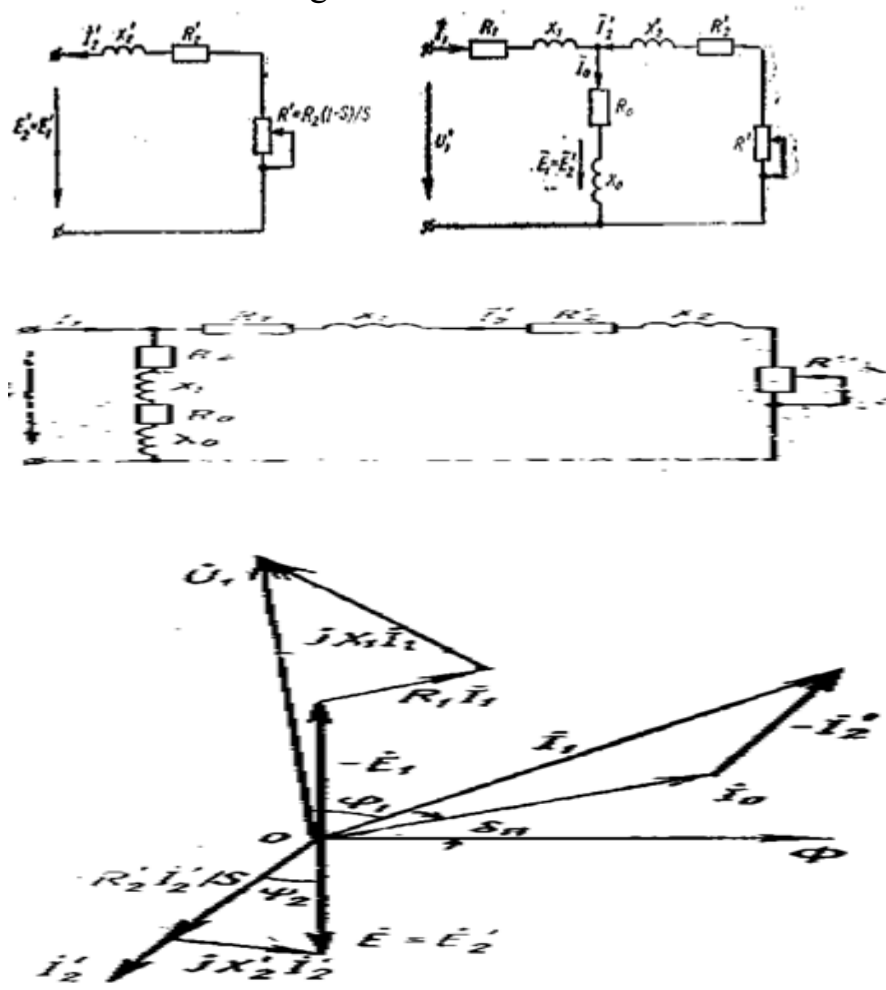
## 1.2. O`zgaruvchan tok elektr yuritma tezligini aniqlash

Asinxron motorning ham ish rejimini tahlil qilishda uning almashtirish sxemasidan foydalanish kulaydir. Umuman, asinxron motorning ham transformatoridagi kabi stator va rotor chulgamlarini tegishli birlamchi va ikkilamchi chulgam deb karash mumkin. Bu chulg`amlar orasidagi bog`lanish transformatoridagidek magnit hodisasiga asoslangandir. YUklangan asinxron motorning almashirish sxemasini ko`rish uchun aylanayotgan rotor elektr zanjirini unga ekvivalent bo`lgan o`zgalmas rotor zanjiri bilan almashtirish kerak.

Ekvivalent rotor zanjirining parametrlari shunday tanlanishi kerakki, motorning manbadan olayopan kuvvati, rotorga uzatilayotgan elektromagtsit kuvvat o`zgarmas bo`lishi kerak. Buning uchun rotorning ekvivalent va haqiqiy zanjiri ridagi tok  $I_2$  va EYUK  $E_2$  orasidagi faza siljish burchagi bir xil bo`lishi kerak, Shunday sharoitdagina ekvivalent va haqiqiy mashina rotor va stator chulg`amlarining umumiy magnitlovchi kuchi bir xil bo`ladi.

Rasmda ekvivalent ko`zgalmas rotorning almashtirish sxemasi ko`rsatilgan. Bu yerda rotorning aktiv qarshiligi ikkita tashkil etuvchi sifatida berilgan Bular

asinxron motorning to'la almashtirish sxemasini tuzishga imkon beradi



1.2-rasm. Asinxron motorni almashtirish sxemasi va vektor diagrammasi.

Almashtirish sxemasidan qarshiliklardagi quvvat isrofi stator va rotor chulg'amlaridagi elektrik kuvvat isrofiga teng ekanligi kelib chiqadi:

Qarshilikdagi quvvat isrofi statorning po'lat o'zagidagi magnit kuvvat isrofiga teng, ya'ni asinxron motorning shaklidagi almashtirish sxemasi ko'rsatilgan.

Asinxron motorning vektor diagrammasi magnit oqim  $F$  vektorini ko'rishdan boshlanadi chunki magnit oqimi stator va rotor uchun umumiydir.

Stator va rotor chulg'amlarida induktsiyalangan  $E$  va  $E_2'$  EYUK lar magnit okimidan  $90^\circ$  burchakka orkada koladi. Umumiy vektor diagrammasini qurishda ko'zgalmas ekvivalent rotorning EYUK asos kilib olinadi, chunki uning chastotasi manba chastotasiga tengdir. Ma'lumki, asinxron motorlarda salt ishlashdagi tok stator chulg'amidagi nominal tokning 40—60% ini tashkil etadi. Salt ishlash tokining vektori magnit okimi vektoridan  $30^\circ$  burchakka, po'lat o'zakdagi isroflar tufayli, siljigan bo'ladi. Odatda,  $\xi_{\text{,,}} = 3^\circ \text{ t } 5^\circ$  bo'ladi.

Asinxron motorni tormozlovchi momentning rotordagi tok kiymatiga va fazasiga ta'siri, rotor chulgami aktiv qarshiligining o'zgarishi bilan aniklanadi. SHuning uchun ko'zgalmas rotorning chulgamidagi tok EYUK  $E_2'$  dan

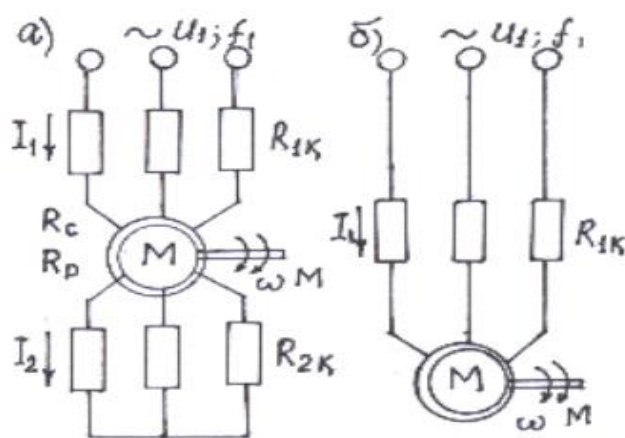
burchakka kechikadi. Bu burchak asinxron motorning yuklanganligini ko'rsatadi va sirpanishning kamayishi bilan kamayib boradi.

Asinxron motorlarda salt ishlash tokining qiymati nisbatan katta bo'lgani uchun faza siljish burchagining qiymati ham katta bo'ladi. Bunda motorning nominal kuv-vat koeffitsienti 0,7 - 0,8 ga teng bo'ladi.

### 1.3. Asinxron motorli elektr yuritma tezligini U/f- rostdlash

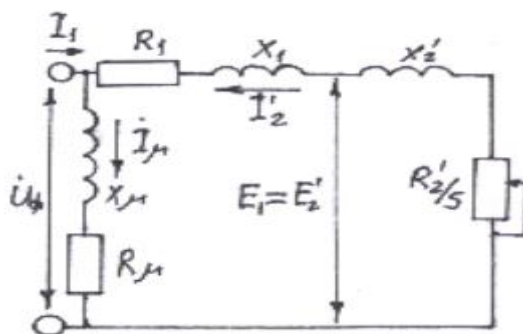
Asinxron motorning EYUK bo'yicha transformatsiyalash koeffitsienti yordamida rotor zanjiri ko'rsatkichlari stator ko'rsatkichlariga keltiriladi

$$k = E_1 / E_2 \approx 0,95 U_{\phi, N} / E_{2K},$$



1.3 – rasm. Faza rotorli (a) va rotori qisqa tutashtirilgan (b) asinxron motorlarning ulanish sxemalari

bu erda,  $E_1$  va  $E_{2K}$  – rotorning qo'zg'almas holati uchun stator va rotorlarning fazaviy EYUK,  $U_{FN}$  – kuchlanish tarmog'ining nominal faza kuchlanishi.



1.4 – rasm. Asinxron motorning almashtirish sxemasi

Rotor zanjirining keltirilgan ko'rsatkichlari

$$E_2' = \kappa E_2 = E_1; I_2' = I_2 / \kappa; R_2' = R_2 \kappa^2;$$

$$X_2' = X_2 \kappa^2.$$

Almashtirish sxemasida quyidagi belgilashlar qabul qilingan:  $U_1, U_\phi$  - tarmoq kuchlanishining liniya va faza kuchlanishlarining haqiqiy qiymatlari;  $I_1, I_\mu, I_2$  - stator va magnitlanish toklari va rotorning keltirilgan toki;  $X_1, X_2$  - stator cho'lg'ami induktiv qarshiligi va rotor cho'lg'ami fazasining keltirilgan induktiv qarshiligi  $X_\mu$  - magnitlanish konturining induktiv qarshiligi;  $R_1=R_S+R_{Q1}$  - stator cho'lg'ami fazasining umumiy aktiv qarshiligi;  $R_S$  - stator cho'lg'ami fazasining aktiv qarshiligi;  $R_{Q1}$  - stator cho'lg'ami fazasiga ulangan qo'shimcha qarshilik;  $R_2=R_p+R_{k2}$  - stator cho'lg'amiga keltirilgan rotor cho'lg'ami fazasining umumiy aktiv qarshiligi;  $R_p$  - rotor cho'lg'ami fazasining stator fazasi cho'lg'amiga keltirilgan aktiv qarshi-ligi;  $R_{k2}$  - rotor cho'lg'ami fazasiga ulangan stator cho'lg'amiga keltirilgan qo'shimcha qarshilik;  $S=(\omega_0 - \omega)/\omega_0$  - asinxron motor sirpanishi;  $\omega_0 = 2\pi f_s/r$  - asinxron motor magnit maydonining burchak tezligi,  $\omega_0$  – ideal salt yurish tezligi;  $f_s$  - tarmoq kuchlanishining chastotasi;  $r$  - asinxron motorning qutblari soni.

1.4 – rasmdan ko‘rinib turibdiki,  $E_1=E_2', I_\mu=I_1+I_2'$  dir.

#### 1.4. O‘zgaruvchan tok elektr yuritma momentini to‘g‘ridan to‘g‘ri boshqarish

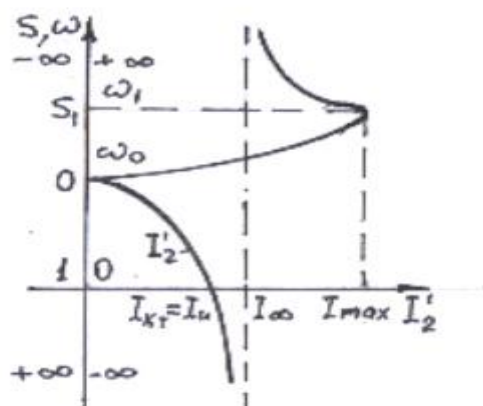
**Asinxron motorning elektrmexanik tavsifi.** Bu tavsif  $I_2'(s)$  funksiya bo‘lib, uning ifodasi 1.4 – rasmdagi asinxron motorning almashtirish sxemasidan kelib chiqqan holda quyidagi k‘urinishda yoziladi,

$$I_2' = U\phi / \sqrt{(R_1 + R_2' / S)^2 + X_K^2},$$

bu erda,  $X_K=X_1+X_2'$  - qisqa tutashuvning faza induktiv qarshiligi.

Asinxron motorning elektromexanik tavsifi rotor tokining tezlikka emas, sirpanishga bog‘liq o‘zgarishi sifatida qaralishi bilan o‘zgarimas tok motorlarining elektromexanik tavsiflaridan farq qiladi. Sirpanishning tezlik bilan almashtirish quyidagi ifoda bilan amalga oshiriladi

$$\omega = \omega_0(1 - s).$$



1.5 – rasm. Asinxron motorning elektromexanik tavsifi

Asinxron motorning elektr mexanik tavsifi sirpanish, tezlik va rotor toklarini xarakterli nuqtalari bo'yicha quriladi.

$s=0, \omega=\omega_0, I_2=0$  – ideal salt yurish nuqtasi;

$s=1, \omega=0, I_2+I_{KT}=U\phi/\sqrt{(R_1+R_2)^2+X_K^2}$  - qisqa tutashuv nuqtasi;

$s_1=-R_2/R_1, \omega_1=\omega_0(1+s_1), I_2=I_{max}=U\phi/X_K$  - sirpanishning manfiy zonasida joylashgan rotor toki maksimal qiymatga ega bo'lgan nuqta;

$s\rightarrow\pm\infty, \omega\rightarrow\mp\infty, I_2\rightarrow I_\infty=U\phi/\sqrt{R_1^2+X_K^2}$  - sirpanish va tezlikning cheksiz katta oshishini ifodalovchi rotor tokining asimptotik qiymati.

**Asinxron motorning mexanik tavsifi.** Asinxron motorning rotor zanjiridagi quvvat isrofi  $\Delta R_2$  elektromagnit quvvat  $R_{EM}=M\omega_0$  bilan foydali mexanik quvvat  $R_2=M\omega$  ayirmasidan iborat.

$$\Delta R_2=R_{EM}-R_2=M\omega_0-M\omega=M\omega_0s.$$

$\Delta R_2$  ni ko'pincha sirpanish isrofi deb ham ataladi. Elektrik kattaliklar orqali  $\Delta R_2$  ning ifodasini quyidagicha yozish mumkin,

$$\Delta R_2=3I_2^2R_2.$$

moment uchun ifodani topamiz

$$M=3I_2^2R_2/(\omega_0s).$$

Yuqoridagi ifodalarga tok  $I_2$  ning ifodasini qo'ysak moment  $M$  ning to'liq ifodasini hosil qilamiz

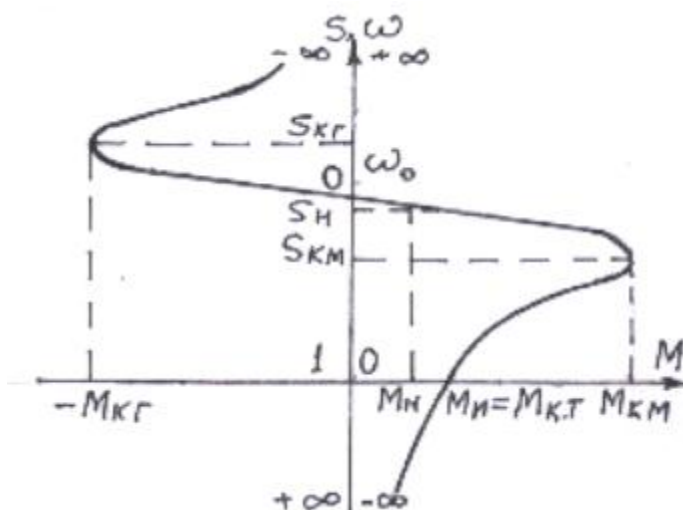
$$M=3U_\phi^2R_2/[\omega_0s(R_1+R_2/s)^2+X_K^2].$$

Yuqoridagi ifodani  $s$  bo'yicha differensiallab, so'ngra nolga tenglashtirib moment va sirpanishning ekstremal qiymatlarini aniqlaymiz,

$$M_K=3U_\phi^2/[2\omega_0(R_1\pm\sqrt{R_1^2+X_K^2})];$$

$$S_K=\pm R_2/\sqrt{R_1^2+X_K^2},$$

bu erda, ishoraning «+» bo'lishi sirpanish  $S>0$  ga, «-» bo'lishi esa  $S<0$  ga to'g'ri keladi.  $M_K$  va  $S_K$  lar asinxron motorning **kritik qiymatlari** deb ataladi.



1.5– rasm. Asinxron motorning mexanik tavsifi

asinxron motorini mexanik tavsifi ifodasini yozamiz,

$$M=2M_K(1+aS_K) / (S/S_K+S_K/S+2aS_K), (4.11)$$

bu erda,  $a=R_1/R_2^1$ .

Asixron motor mexanik tavsifining xarakterli nuqtalari:

$S=0, \omega=\omega_0, M=0$  – ideal salt yurish nuqtasi;

$S=1, \omega=0, M=M_{KT}= M_{IT}$  – qisqa tutashuv nuqtasi;

$S=S_{KM}, M=M_{KM}, s = -s_{KG}, M = -M_{KG}$  – ekstri-mum nuqtalar;

$S \rightarrow \pm \infty, \omega \rightarrow \mp \infty, M \rightarrow 0$  - mexanik tavsifning asimptotasi – koordinatalar tizimining tezlik o‘qi.

1.5– rasmda asinxron motorning mexanik tavsifi keltirilgan.

Ba’zi hollarda stator cho‘lg‘aming aktiv qarshiligini hisobga olmasdan ( $R_1=0$ ) asinxron motorning mexanik tavsifini qurishda soddalash-tirilgan formuladan foydalaniladi:

$$M=2M_K/(S/S_K + S_K/S);$$

$$M_K=3U_\phi^2/(2\omega_0 X_K);$$

$$S_K=R_2^1/X_K.$$

Agar yuqoridagi ifodaga moment va sirpanish-larning nominal qiymatlarini qo‘ysak va  $M_K / M_N = \lambda_{M-}$  ekanligini hisobga olgan holda sirpa-nishning kritik qiymatini hisoblash uchun quyidagi formulani keltirib chiqaramiz

$$S_K=S_H(\lambda_{M\pm} \sqrt{\lambda_{M\pm}^2 - 1}).$$

Bu formula asinxron motorning ma’lumotno-malarda beriladigan nominal ko‘rsatkichlari orqali  $S_K$  ni hisoblash imkonini ham beradi.

Sirpanishning kichik qiymatlarida  $S/S_K \approx 0$  deb qarash mumkin, u holda quyidagicha yozamiz

$$M=2M_K S/S_K.$$

mexanik tavsifning ishchi qismini, ya'ni chiziqli qismi deyish mumkin bo'lgan qismini ifodalaydi Asinxron motor energetik rejimlarning barchasida ishlashi mumkin

$S=0, \omega=\omega_0$  – ideal salt yurish rejimi;

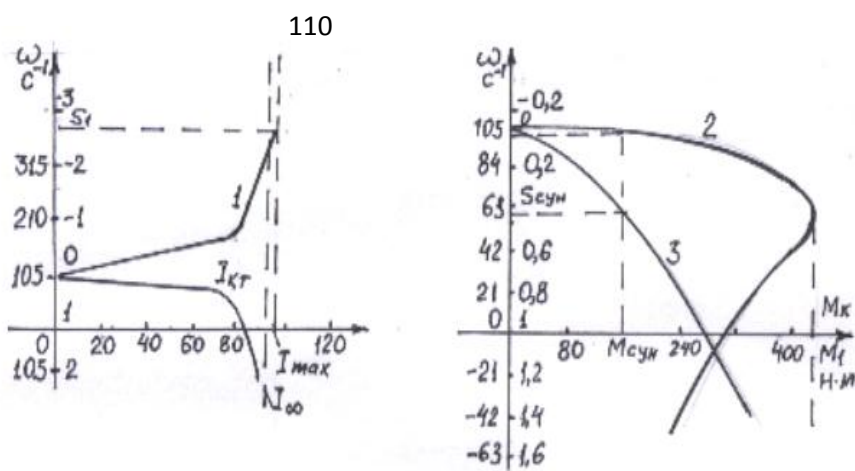
$S=1, \omega=0$  – qisqa tutashuv rejimi;

$0<S<1, 0<\omega<\omega_0$  – motor rejimi;

$S<0, \omega>\omega_0$  – tarmoq bilan parallel ishlaydigan generator rejimi (rekuperativ tormozlash);

$S>1, \omega<0$  – tarmoq bilan ketma – ket ishlaydigan generator rejim (teskari ulanib tormozlash).

Bundan tashqari, asinxron motor dinamik tormoz rejimida ham ishlay oladi.



1.6 – rasm. asinxron motorning elektromexanik (a) va mexanik tavsiflari (b)

## 2-BOB

### STATORDAGI KUHLANISH CHASTOTASINI O`ZGARTIRISH ORQALI O`ZGARUVCHAN TOK ELEKTR YURITMA TEZLIGINI ROSTLASH TAMOYILLARI

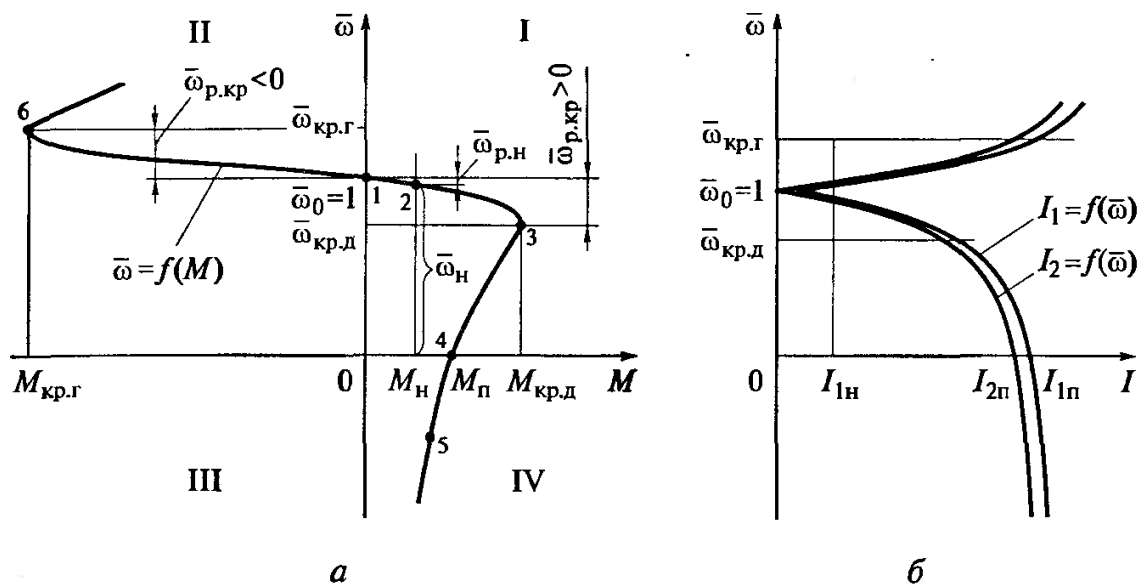
#### 2.1. Asinxron motorli elektr yuritmaning tezlik bo`yicha yopiq rostlash tizimi

Elektr yuritmaning  $\bar{\omega} = f(M)$  yoki  $\omega = f(M)$  mexanik xarakteristikasi dvigatel tezligining nisbiy yoki absolyut birliklarda barqarorlashgan rejimda momentga bog`lanishini ifodalaydi. Barqarorlashgan rejimda dvigatelning  $M_D$  elektromagnit momenti yuklama momenti  $M_s$  ga teng bo`ladi. YUklama momentining o`zi  $M_s = M_{yuk} + \Delta M_{ayl}$  valdagi yuklama momenti va dvigatel aylanish isrof momentining yig`indisidan iborat bo`ladi.  $n = f(M)$  xarakteristikani qurishda  $ayl/min$  da o`lchanadigan aylanish chastotasi  $rad/s$  da o`lchanadigan burchak tezlik bilan  $n = 30\omega/\pi$  tenglama orqali bog`langan.

Mexanik xarakteristikani hisoblash uchun elektromagnit momentni ifodalovchi ifodadan foydalanish kerak. Ta`minot manbasi kuchlanishi  $U_1$  va nisbiy chastotasi  $\bar{\omega}_0$  ning, shuningdek dvigatel kuchlanishi nominal chastotasining berilgan ma`lum qiymatlarida, rotor eYUK nisbiy chastotasiga bir qator qiymatlar berib, ularning har biriga mos keluvchi momentni n`yuton metrlarda hisoblash kerak.  $\bar{\omega}_r$  ning har bir qiymatiga mos keluvchi nisbiy birliklardagi tezlikning qiymati, ta`minot kuchlanishining nisbiy chastotasi va rotor eYUK chastotasining farqi sifatida aniqlanadi:  $\bar{\omega} = \bar{\omega}_0 - \bar{\omega}_r$ . Tezlik absolyut birliklarda o`lchanadigan xarakteristikalarni qurish uchun  $\omega = \bar{\omega}\omega_{0el.n}/r_p$  ifodadan foydalanish kerak. Ta`kidlash kerakki, dvigatelning nisbiy tezligi  $\bar{\omega}$  nisbiy chastotasidan katta ham, kichik ham bo`lishi mumkin. SHuning uchun  $\bar{\omega}_r$  musbat ham, manfiy ham qiymat qabul qilishi mumkin. Nominal kuchlanish  $U_1 = U_{1n}$  va nominal chastotada  $\bar{\omega} = 1$  xarakteristika tabiiy mexanik xarakteristika deb nomlanadi. Uning ko`rinishi 2.1a, rasmda qo`rsatilgan. Xarakteristika dvigatel rejimidagi I chorakdan va tormoz rejimidagi II va IV chorakdan o`tadi. (1.9) ifodaning birinchi ikki formulasidan foydalangan holda  $\bar{\omega}_0$  va  $\bar{\omega}_r$  larning berilgan qiymatlari uchun stator va rotor toklarining modulini hisoblash mumkin:

$$I_1 = \bar{\omega}_0 U_1 \sqrt{\frac{(R_2/\bar{\omega}_p)^2 + x_2^2}{A(\bar{\omega}_0, \bar{\omega}_p)^2 + B(\bar{\omega}_0, \bar{\omega}_p)^2}};$$
$$I_2 = \frac{\bar{\omega}_0 x_m U_1}{\sqrt{A(\bar{\omega}_0, \bar{\omega}_p)^2 + B(\bar{\omega}_0, \bar{\omega}_p)^2}}$$





2.1-rasm. Asinxron dvigatelning tabiiy mexanik xarakteristikasi (a) va stator va rotor toklarining tezlikka bog'liqligi (b)

Stator va rotor toklarning dvigatelning tezligi va momenti bilan bog'liqligini ko'rsatuvchi xarakteristika [19] 2.1,b rasmda ko'rsatilgan. Uni mexanik xarakteristika bilan birgalikda tahlil qilish qulayroq bo'lishi uchun toklar abstsissa o'qi bo'yicha, tezlik esa ordinata o'qi bo'yicha qo'yilgan.

Mexanik xarakteristikada bir qator nuqtalar belgilangan.

**1-nuqta.** Ideal salt ishlash rejimi. Dvigatelning tezligi sinxron tezlikka, ya'ni fizik fazoda magnet maydonning aylanish tezligiga teng. Bunda  $\bar{\omega} = \bar{\omega}_0 = 1$  (absolyut birliklarda bu  $\omega = \omega_{0el}/r_p$  ko'rinishda bo'ladi). Rotor eYUK nisbiy chastotasi nolga teng. Rotor zanjirida tok mavjud bo'lmaydi  $I_2 = 0$ , statoridagi tok magnetlanish tokiga teng bo'ladi:

$$I_1 = I_{m0} = U_1 / \sqrt{(R_1^2 + (x_{1\sigma} + x_m)^2)} = U_1 / \sqrt{(R_1^2 + x_1^2)}$$

va u ideal salt ishlash rejimida asosiy oqim ilashuvi qiymatini aniqlaydi  $\Psi_{m0} = L_m L_{m0}$ . Almashtirish sxemasida (1.2-rasmga q.) qo'llanilgan ushbu rejim  $R_2 = \infty$  bo'lganda rotorning ochiq zanjiriga mos keladi. Real sharoitda uni, valdagi aylanishga mos aktiv momenti dvigatel aylanishining isrof momentiga teng bo'lganda olish mumkin.

**2-nuqta.** Nominal rejim. elektromagnet moment dvigatelning nominal momentiga teng. Nominal moment dvigatelning pasport kattaliklari bo'yicha hisoblanadigan momenti va nominal rejimdagi aylanish isrofi momentining yig'indisidan iborat.

Xarakteristikada quyidagilar belgilangan: nominal moment  $M_n$ , nominal nisbiy tezlik  $\bar{\omega}_n$ , rotor eYUK nominal nisbiy chastotasi  $\bar{\omega}_{r,n}$  va statorning nominal

toki  $I_{1n}$ . 2-nuqta mexanik xarakteristikaning ishchi qismida chiziqli bog'lanish yaqinida joylashadi.

**Xarakteristikaning 1-3 qismi.** O'zining katta qismi bilan dvigatel rejimidagi asinxron dvigatelning barqaror ish rejimiga mos keladi. Dvigatel yuklamasining oshib borishi bilan stator zanjiridan rotor zanjiriga uzatilayotgan quvvat ortib boradi va mos ravishda rotor toki ham ortadi. Bu mulohaza  $\bar{\omega}_0$  ning berilgan qiymatida faqatgina  $R_2\bar{\omega}_0/\bar{\omega}_p$  kamayishida o'rinli bo'ladi (1.2-rasmga q.), ya'ni rotor eYUK nisbiy chastotasini oshishida va tezlikning kamayishida. (2.3) formuladan ko'rinib turganidek  $\bar{\omega}_p$  ning oshishida  $\cos \varphi_2$  kamayadi, ya'ni  $\dot{E}_2$  eYUK vektori va rotor toki  $\dot{I}_2$  orasidagi  $\varphi_2$  burchak siljishi oshadi (1.3-rasmga q.). Mos ravishda rotor tokining oshishi uning nafaqat aktiv tashqil etuvchisi hisobidan, balki reaktiv tashqil etuvchisi hisobidan ham amalga oshadi.  $I_2$  tok bilan bir qatorda  $I_1$  ham oshadi va magnitlovchi tok kamayadi. SHuningdek,  $R_1 + j\bar{\omega}_0 x_{1\sigma}$  qarshilikda kuchlanish tushuvining oshishi natijasida havo oralig'idagi magnit oqim ham kamayadi.

**3-nuqta.** Kritik moment nuqtasi. Bu nuqtada dvigatel rejimda ishlayotgan asinxron motorning momenti mumkin bo'lgan maksimal (kritik)  $M_{kr.d}$  qiymatga erishadi, bunda rotor nisbiy chastotasi  $\bar{\omega}_{p.kr}$  (yoki sirpanishi  $s_{kr}$ ) kiritik qiymatda bo'ladi. Agar dvigatel yuklamasining oshishi natijasida elektromagnit moment kritik moment qiymatidan ohsa, dvigatel, stator qisqa tutashuvi toki (uning o'zi ishga tushirish toki)  $I_1 = I_{1ish.t}$  (2.1,b rasm) va unga mos keluvchi qisqa tutashuv momenti (ishga tushirish momenti)  $M_{ish.t}$  ta'sirida to'xtaydi. Takroriy ishga tushirish faqatgina yuklama momentining qiymatini ishga tushirish momentining qiymatidan kichik bo'lgan qiymatgacha tushirgandan so'ng mumkin bo'ladi.

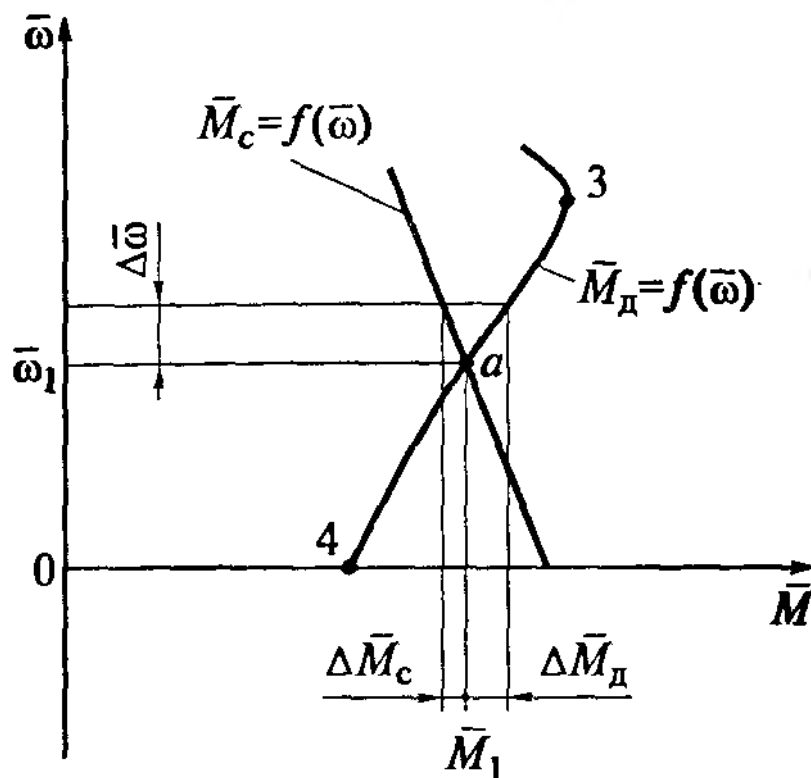
**Xarakteristikaning 3-4 qismi.** Rotor eYUK nisbiy chastotasini  $\bar{\omega}_{p.kr}$  qiymatdan katta qiymatgacha oshirilganda,  $I_2$  tokning (va u bilan birga  $I_1$  tokning) oshishi davom etadi, lyokin bu tokning aktiv tashqil etuvchisi kamayganda, ya'ni  $\cos \varphi_2$  kamaydagan, reaktiv tashqil etuvchisining oshishi hisobidan ruy beradi. Natijada  $\bar{\omega}_p$  ning oshishi mobaynida dvigatel momenti pasayib boradi. Odatda xarakteristikaning qaralayotgan qismida elektr yuritma barqaror ishlamaydi. Bunga  $\bar{M}_d = f(\bar{\omega})$  va  $\bar{M}_s = f(\bar{\omega})$  (momentlar nisbiy birliklarda yozilgan) bog'lanishlarning kesishgan nuqtasini tahlil qilib ishonch hosil qilish mumkin (2.2-rasm). Faraz qilaylik tezlikning kichik ortirmasi  $\Delta\bar{\omega}$  mavjud bo'lsin, bunda momentlar ham  $\Delta\bar{M}_d$  va  $\Delta\bar{M}_s$  ortirmaga ega bo'ladi va ular  $a$  nuqtadagi xususiy hosilalari orqali quyidagi tarzda yoziladi:

$$\Delta\bar{M}_d = \frac{\partial\bar{M}_d}{\partial\bar{\omega}} \Delta\bar{\omega}; \quad \Delta\bar{M}_c = \frac{\partial\bar{M}_c}{\partial\bar{\omega}} \Delta\bar{\omega}.$$

Mexanikaning asosiy tenglamasini qo'llab ifodani quyidagicha yozish mumkin:

$$\Delta\bar{M}_d - \Delta\bar{M}_c = T_M \frac{d\Delta\bar{\omega}}{dt},$$

bu  $T_M$  –elektr yuritmaning mexanik doimiysi,  $T_M = J\omega_b/M_b$  ( $J$  – inertiya momenti).



2.2-rasm. Mexanik xarakteristikaning 3-4 qismida barqaror ishlash sharti (6.1-rasmga q)

Bu tenglamaga quyidagi xarakteristik tenglama mos keladi:

$$T_M \frac{d\Delta\bar{\omega}}{dt} - \left( \frac{\partial \bar{M}_d}{\partial \bar{\omega}} - \frac{\partial \bar{M}_c}{\partial \bar{\omega}} \right) \Delta\bar{\omega} = 0.$$

Ushbu ifodadagi ikkinchi qo`shiluvchi musbat bo`ladi, ya`ni  $(\partial \bar{M}_d / \partial \bar{\omega}) - (\partial \bar{M}_c / \partial \bar{\omega}) < 0$  shart bajarilganda  $a$  nuqta barqaror ishlash nuqtasi bo`ladi. 2.2-rasmda ko`rsatilgan xususiy holda bu shart bajarilmaydi.

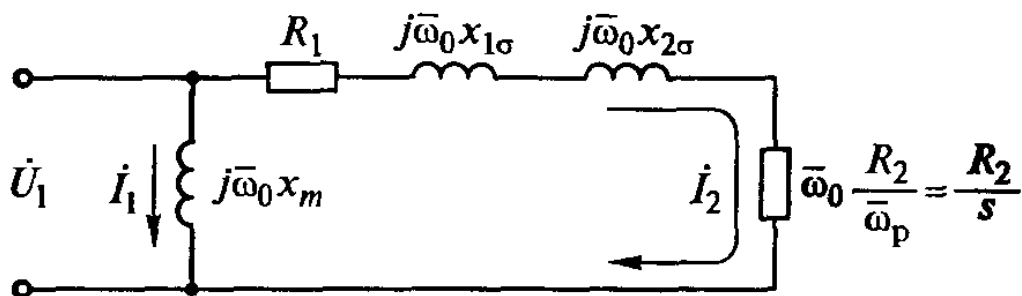
**4-nuqta.** Ishga tushirish rejimining boshlanishi. Dvigatel momentining qiymati  $\bar{M}_{ish.t}$  ga teng, tezlik nolga teng, qo`zg`almas rotorning eYUK nisbiy chastotasi ta`minot manbasi kuchlanishi nisbiy chastotasiga teng. Stator va rotorning ishga tushirish toki  $I_{1ish.t}$  va  $I_{2ish.t}$  kabi belgilangan.

**Xarakteristikaning 4-5 qismi.** Qarshi ulanishli (qarshi tokli) tormoz rejimi. Bu rejimda ishchi organ hosil qiladigan aktiv tashqi moment ta`siri ostida dvigatel rotori statorning aylanuvchan maydoni yo`nalishiga qarama-qarshi yo`nalishda aylanadi. Dvigatel hosil qiladigan moment tormozli moment hisoblanadi, stator va rotor toklarining qiymati ishga tushirish toki qiymatidan ortiq bo`ladi.

**Xarakteristikaning 1-6 qismi.** Rekumerativ tormoz rejimi (generatorli rejim). Bu rejimda ishchi organ rotorni statorning aylanuvchan maydoni yo`nalishi bo`yicha va stator maydonining aylanish tezligidan katta tezlik bilan aylantiradi.  $\bar{\omega}_p$  ning qiymati manfiy. Dvigatel rejimidagi kabi bunda ham motor reaktiv quvvat

oqimini hosil qilish uchun manbadan ta`minot oladi, valdan olinadigan isroflari chegirib tashlangan aktiv quvvatni esa manbaga beradi. Generator rejimidagi kritik moment  $\bar{M}_{kr.g}$  absolyut qiymati bo`yicha dvigatel rejimidagi kritik moment  $\bar{M}_{kr.g}$  dan oshadi.

Dvigatel momentini hisoblash va undan keyin uning mexanik xarakteristikasini qurish uchun (2.2) formulaga qaraganda soddaroq bo`lgan formuladan foydalanish mumkin. Buning uchun T-simon almashtirish sxemasidan G-simon almashtirish sxemasiga o`tish kerak (2.3-rasm). Magnitlovchi konturi sxemaning kirishiga chiqarilgan G-simon almashtirish sxemasiga o`tishda ma`lum bir cheklanishlarga ruxsat etiladi. Bu cheklanishlar asosan magnitlovchi tok  $I_m$  ning va oqim ilashuvi  $\Psi_m$  ning dvigatel yuklamasiga bog`lanishlarini hisobga olmaslik natijasida yuzaga keladi, chunki magnitlovchi kontur befosita ta`minot manbasiga kuchlanishi  $U_1$  ga ulangan bo`ladi. Buning natijasida magnitlovchi tokning  $R_1 + j\bar{\omega}_0 x_{1\sigma}$  qarshilikdagi kuchlanish tushuvi hisobga olinmaydi. Biroq sxemani bunday tasvirlash mexanik xarakteristikaning xarakterli nuqtalaridan moment va tezlikni aniqlash uchun ancha sodda ko`rinishga ega bo`lgan ifodani olish imkoniyatini beradi.



2.3-rasm. Asinxron dvigatelning G-simon almashtirish sxemasi

2.3-rasmdan ko`rinib turibdiki, rotor toki quyidagi ifoda bilan aniqlanadi:

$$I_2 = \frac{U_1}{\sqrt{(R_1 + R_2 \bar{\omega}_0 / \bar{\omega}_p)^2 + \bar{\omega}_0^2 x_k^2}}; \quad (2.1)$$

bu erda  $x_k$  – dvigatel qisqa tutashuv qarshiligining induktivligi,  $x_k = x_{1\sigma} + x_{2\sigma}$ .

Uch fazali dvigatelning elektromagnit quvvati,  $R_2 \bar{\omega}_0 / \bar{\omega}_p$  qarshilikda sochiluvchi uchlangan quvvat sifatida  $R_{em} = 3I_2^2 R_2 \bar{\omega}_0 / \bar{\omega}_p$  ifoda bilan aniqlanadi. Unga (2.1) formuladan rotor tokining qiymatini qo`yib, hamda elektromagnit quvvat va elektromagnit moment orasidasi bog`lanish  $M_d = R_{em} r_p / (\bar{\omega}_0 \omega_{el.n})$  ni hisobga olib, elektromagnit moment uchun ifodani quyidagi ko`rinishda olish mumkin:

$$M_d = 3 \frac{r_p U_1^2}{\omega_{0el.n} \bar{\omega}_r} \frac{R_2}{\left[ (R_1 + R_2 \bar{\omega}_0 / \bar{\omega}_p)^2 + \bar{\omega}_0^2 x_k^2 \right]}. \quad (2.2)$$

Ishga tushirish momentining qiymati, qo'zg'almas rotorda rotor eYUK chastotasi  $\bar{\omega}_p$  statordagi kuchlanish chastotasi  $\bar{\omega}_0$  ga teng ekanligini hisobga olgan holda quyidagicha aniqlanadi:

$$M_{ish.t} = 3 \frac{r_p U_1^2}{\omega_{0el.n} \bar{\omega}_0} \frac{R_2}{[(R_1 + R_2)^2 + \bar{\omega}_0^2 x_k^2]}. \quad (2.3)$$

Rotor eYUK nisbiy chastotasining kritik qiymati (6.2) ifodaning ekstremumlari izlash natijasida topiladi:

$$\bar{\omega}_{r.kr} = \pm \frac{R_2 \bar{\omega}_0}{\sqrt{R_1^2 + \bar{\omega}_0^2 x_k^2}}. \quad (2.4)$$

Ushbu qiymatni moment uchun yozilgan ifodagi quyib, kritik moment qiymatini aniqlash mumkin:

$$M_{kr} = \frac{3}{2} \frac{r_p U_1^2}{\bar{\omega}_0 \omega_{0el.n}} \frac{1}{R_1 \pm \sqrt{R_1^2 + \bar{\omega}_0^2 x_k^2}}, \quad (2.5)$$

bu erda “plyus” dvigatel rejimiga mos kelsa, “munus” esa tormoz rejimiga mos keladi.

Almashtirish sxemasini soddalashtirishda cheklovlarning mavjudligiga qaramay, (2.2)...(2.5) formulalar qulayligi bois amaliy hisoblashlarda keng qo'llaniladi.

Moment uchun yozilgn ifodani boshqacha shaklda yozishimiz mumkinki, unda rotor eYUK chastotasi o`rniga sirpanish qo'llaniladi. Ushbu kattaliklar bir-biri bilan quyidagi ifoda orqali bog'langan:

$$s = (\omega_{0el} - r_p \omega) / \omega_{0el} = \omega_p / \omega_{0el} = \bar{\omega}_p / \bar{\omega}_0.$$

SHuning uchun (2.2) formuladagi  $r_p / (\omega_{0el.n} \bar{\omega}_r)$  ko'paytuvchi o`rniga quyidagini yozish kerak:

$$r_p / (\omega_{0el.n} \bar{\omega}_r s) = 1(s\omega_0),$$

bu erda  $\omega_0$  – ta`minot kuchlanishining berilgan  $\omega_{0el}$ ,  $\omega_0 = \omega_{0el} / r_p$  chastotasida dvigatelning sinxron tezligi.

$\bar{\omega}_0^2 x_k^2$  qo`shiluvchini quyidagi shaklda ifodalash mumkin:

$$\bar{\omega}_0^2 x_k^2 = \left( \frac{\omega_{0el}}{\omega_{0el.n}} \right)^2 \omega_{0el.n}^2 (L_{1\sigma} + L_{2\sigma})^2 = \omega_{0el}^2 (L_{1\sigma} + L_{2\sigma})^2.$$

Odatda  $\omega_{0el} (L_{1\sigma} + L_{2\sigma})$  qiymatni  $x_k$  orqali belgilanadi va u nominal chastotada emas, balki dvigatel ishlayotgan rejimdagi chastota bo`yicha hisoblanadigan qisqa tutashuv induktiv qarshiligini anglatadi. Unda elektromagnit moment uchun ifodani quyidagicha yozish mumkin:

$$M_d = \frac{3U_1^2 R_2}{s\omega_0 [(R_1 + R_2/s)^2 + x_k^2]}. \quad (2.6)$$

Bunda ham (2.2) formulani tahlil qilinganidek, ishga tushirish momenti, kritik sirpanish  $s_{kr}$  va kritik moment aniqlanishi mumkin. Bu formulalar 2.1-tablitsada keltirilgan.

CHastotaviy rostlanadigan elektr yuritmani hisoblashda (2.6) formulani qo'llab dvigatel ishlayotgan rejimidagi chastotani hisobga olgan holda kataloglarga keltirilgan induktiv qarshilikning qiymatini qayta hisoblash kerak.

Ba`zida elektromagnit moment uchun yozilgan ifodaga kritik moment va kritik sirpanishni kiritib boshqacha shaklda tasvirlash mumkin:

$$M_d = 2M_k \frac{1 + s_k R_1/R_2}{\frac{s}{s_k} + \frac{s_k}{s} + 2s_k \frac{R_1}{R_2}}$$

Bu formula Kloss formulasi deb ataladi.

## 2.2. Rotordagi oqim ilashuvi domiy bo`lgan holdagi asinxron motorli elektr yuritmaning tezlik bo`yicha yopiq roslash tizimi

Hozirgi paytda, chastotaviy usul eng istiqbolli usullaridan biri bo`lib, u AD tezligini roslashda keng qo'llaniladi. Usulning mohiyati shundaki, AD oloyotgan kuchlanishning chastotasi  $f_1$  ni o`zgartirib,  $\omega_0=2\pi f_1/r$  ifodaga muvofiq uning tezligini  $\omega_0$  o`zgartirish va turli sun`iy xarakteristikalarni olish mumkin. Ushbu usul tezlikni juda keng diapazonda ravon roslashni taaminlaydi, olingan xarakteristikalar katta bikrlilik bilan xarakterlanadi. CHastotaviy usul yana bir muxim xossasi bilan farqlanadi: AD tezligini roslash uning sirpanishini ortishi bilan olib borilmaydi, shuning uchun tezlikni roslashdagi quvvat isroflari uncha katta bo`lmaydi.

AD dan samarali foydalanish va uning ishlashidagi yuqori energetik ko`rsatkichlarga - quvvat va foydali ish koefitsientlari, yuklamaga chidamlilik qobiliyatiga ega bo`lish uchun chastota bilan bir vaqtning o`zida AD ga keltirilgan kuchlanish qiymatini ham o`zgartirishi kerak bo`ladi. Kuchlanishni o`zgartirish qonuniyati bunda yuklama momentining  $M_s$  harakteriga bog`liq bo`ladi [1].

O`zgarmas yuklama momentida  $M_s=const$ , statordagi kuchlanish uning chastotasiga proporsional holda rostlanishi kerak bo`ladi

$$U_1/f_1 = const . \quad (2.7)$$

Ventilyatorli xarakterdagi yuklama uchun bu bog`lanish quyidagi ko`rinishga ega

$$U_1/f_1^2 = \text{const} . \quad (2.8)$$

Tezlikka teskari proportsional yuklama momentida esa, u quyidagi ko`rinishda yoziladi.

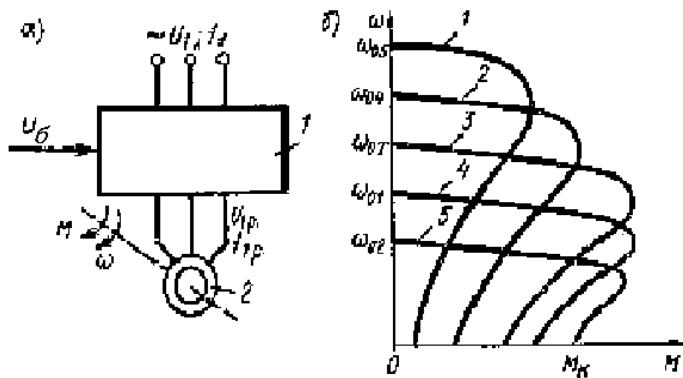
$$U_1/\sqrt{f_1} = \text{const} . \quad (2.9)$$

SHunday qilib, AD tezligini chastotaviy roslash usulini amalga oshirishda, AD statoridagi kuchlanishni ham roslash imkoni beradigan chastota o`zgartkichni qo`llanishni zarur bo`ladi.

*a) AD ning ulanish sxemasi va xarakteristikalar*

Elektr yuritmaning zaruriy elementi chastota va kuchlanish o`zgartkich 1 bo`ladi (chastota o`zgartkich - CHO`), uning kirishiga tarmoqning sanoat chastotali ( $f_1=10$ ) Gts standart kuchlanishi  $U_1$  (220, 380 V va boshqalar) beriladi, chiqishidan esa rostlanadigan chastotali  $f_{1r}$  o`zgaruvchan kuchlanish  $U_{1r}$  olinadi.(2.4,a-rasm ). CHastota va kuchlanish qiymatlari o`zaro formulalar orqali aniqlanadigan ma`lum bir bog`lanishda bo`ladi. CHiqishdagi chastota va kuchlanishni roslash boshqaruvchi signal  $U_b$  yordamida amalga oshiriladi,  $U_b$  ning o`zgarishi oqibatda, dvigatel 2 tezligini o`zgarishiga olib keladi. AD ning mexanik xarakteristikalarini eng sodda qonuniyat  $U_1/f_1 = \text{const}$  bilan boshqarilgandagi tahlili ko`rsatadiki, AD ning ideal salt yurish tezligi  $\omega_0$  – chastota  $f_1$  rostlanganda o`zgaradi, kritik moment  $M_k$  esa o`zgarmasdan qoladi. 2.4, b-rasmdagi mexanik xarakteristikalarini o`zining xususiyatlariga ko`ra ikki guruhga ajratish mumkin: nominal (tarmoq) chastotasidan quyiga mos keladigan va undan yuqori bo`ladigan xarakteristikalar.

$f_1 < f_{1n}$  chastotalar sohasi. Bu sohada  $f_{1.3} = f_{1n}$ ,  $f_{1.4} < f_{1.3}$ ,  $f_{1.5} < f_{1.4}$  (3 - 5 xarakteristikalar) chastotalar uchun  $U_1/f_1 = \text{const}$  bog`lanish bajarilishi mumkin, chunki AD ga berilayotgan kuchlanish, nominal (tarmoq) dagiga nisbatan kamayish tomoniga rostlanadi.



**2.4-rasm. CHastotaviy rostlanadigan asinxron elektr yuritmaning sxemasi**

**a) va mexanik xarakteristikalari (b)**

AD ni normal ishlash shartlari bo'yicha kuchlanishni nominal (pasport) qiymatidan yuqori ko'tarish mumkin emas. SHuning uchun tezlikni ushbu sohada rostlash o'zgarmas kuchlanishda  $U_1=U_{1n}=\text{sonst}$  olib boriladi ( $f_{1.1}$  va  $f_{1.2}$  chastotalardagi 1 va 2 xarakteristikalar), bunda ifodaga muvofiq kritik momenti  $M_k$  chastotani  $f_1(f_{1.1}>f_{1.2}>f_{1n})$  ortishi bilan kamayib boradi.

*b) CHastota o'zgartkichlarni texnikaviy amalga oshirish*

CHastotaviy rostlanadigan elektr yuritmalarning asosiy kamchiligi nisbatan murakkab sxemalarga ega bo'lgan chastota o'zgartkichlarni qo'llash zarurligidir. elektr yuritmalarda turli ko'rinishdagi o'zgartkichlar ishlatiladi, ularni ikki guruhga bo'lish mumkin: elektr mashinali va ventilli.

*Elektr mashinali CHO*, odatda u ikki mashinali agregatlardan iborat bo'ladi. Rostlanadigan AD, sinxron generatorli o'zgartkichdan quvvat oladigan sxemada, CHO ikki qismdan iborat bo'ladi: o'zgarmas tezlik agregati. (AD va dvigatel harakatga keltiradigan o'zgarmas tok generatori) hamda o'zgaruvchan tezlik agregatidan (o'zgaruvchan chastotali sinxron generatorini aylantiradigan rostlanadigan o'zgarmas tok dvigateli) iborat bo'ladi. Bu o'zgartkichlar bir qator kamchiliklarga ega, ulardan asosiylari - f.i.k. ning kamligi (energiyani to'rt karra o'zgartirish oqibatida), sershovqinligi va inertsialiligidir.

Hozirgi vaqtda *ventilli chastota o'zgartkichlar* keng tarqalgan. SHunday o'zgartiruvchi qurilmasi rostlanadigan chastota o'zgartkich bo'lgan ventilli o'zgaruvchan tok elektr yuritmasi "chastota o'zgartkich - asinxron dvigatel" (CHO-AD) tizimi deb ataladi.

SHuning uchun,  $M_k = \text{sonst}$  va AD o'zgarmas yuklamaga chidamlilik qobiliyatiga ega bo'ladi. SHuni taokidlash kerakki, statorning aktiv qarshiligini  $R_1$  ta'siri ostida,  $M_k$  moment AD ning kichik tezliklarida bir muncha kamayadi, shuning uchun  $M_k = \text{sonst}$  ni o'zgarmasdan ushlab turish uchun kuchlanish kichik chastotalarida unga proporsional holda o'zgarmaydi.

*$f_1 > f_{1n}$  chastotalar sohasi.*



Ventilli CHO` lardan foydalanish rostlanadigan chastotaviy elektr yuritmaning texnikaviy-iqtisodiy ko`rsatkichlarini oshirish (uning f.i.k. va tezkorligini orttirish, shovqinni yo`qotish va xizmat ko`rsatishni soddalashtirish hisobiga) imkoniyatini yaratadi.

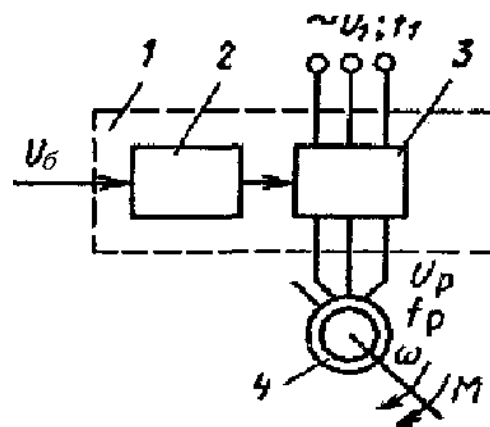
Ventilli CHO`lar ikki guruhga bo`linadi:

1) bevosita bog`lanishli o`zgartkich (tsiklokonvertor) unda to`g`rilagich va inverter funksiyalari birlashtirilgan bo`ladi. Bundan o`zgartkichning chiqish chastotasi olti fazali sxema qo`llanganda ham tarmoq chastotasi 50 gertsda 15 - 16 gertsdan ortmaydi. CHiqishdagi kuchlanish bunda boshqariladigan to`g`rilagichlarga o`xshash holda rostlanadi. Boshqarishning bunday usuli fazaviy boshqarish deb nomlangan.

2) o`zgarmas tok bo`g`inli o`zgartkich (ikki bo`g`inli CHO`) CHiqishdagi chastota tarmoq chastotasi bilan bog`lanmagan va u bir necha gertsdan bir necha ming gertsgacha o`zgarishi mumkin

Bevosita bog`lanishni CHO` ning soddalashtirilgan sxemasi 2.5- rasmda ko`rsatilgan. O`zgartkich 1 kuchli tokli qism 3 dan va u bilan bog`langan asinxron dvigatel 4 va boshqarish bloki 2 dan tashqil topgan. Ko`rsatilgan bloklar yordamida, standart kuchlanish  $U_1$  va chastota  $f_1$  li o`zgaruvchan tok elektr energiyasini rostlanadigan kuchlanish  $U_r$  va chastota  $f_r$  li o`zgaruvchan tok energiyasiga o`zgartirish amalga oshiriladi. Kuchli tokli qism 3 yarim o`tkazgichli asboblari (tiristor yoki tranzistorlar) asosida, va baosi bir hollarda muvofiqlashtiruvchi transformatorlardan ham iborat bo`ladi.

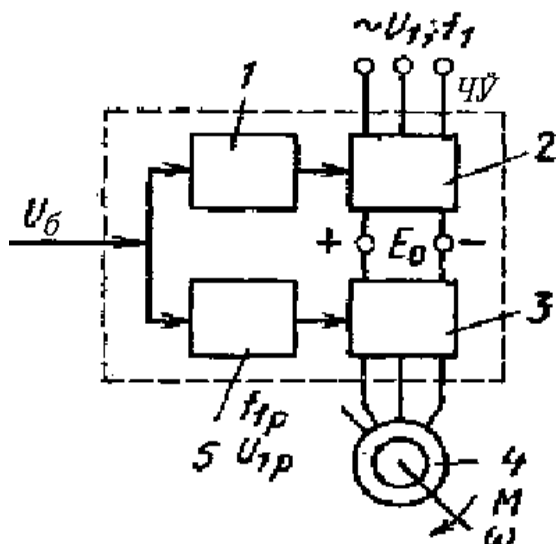
O`zgarmas tok bo`g`inli CHO` ning sxemasi ikki asosiy blokdan iborat bo`ladi: boshqariluvchi to`g`rilagich 2 (2.6 - rasm) va boshqariluvchi inverter 3 dan hamda boshqarish bloklari 1 va 5 dan tuzilgan bo`ladi. Standart chastota  $f_1$  li tarmoq kuchlanishi  $U_1$  boshqariluvchi to`g`rilagich 2 kirishiga berildi, to`g`rilagich o`zgaruvchan  $U_1$  ni o`zgarmas kuchlanish  $E_0$  ga o`zgartiradi. Bu kuchlanishni, boshqarish bloki 1 yordamida keng ko`lamda rostlash mumkin. To`g`rilangan va rostlanadigan  $E_0$  kuchlanish, inverter 3 ning kirishiga beriladi, u esa o`zgarmas tok kuchlanishi  $E_0$  ni rostlanadigan chastota  $f_r$  li uch fazali kuchlanish  $U_r$  ga o`zgartiradi. Inverter 3 chiqishidagi kuchlanish  $U_r$  dvigatel 4 ga beriladi. Invertorning chiqishidagi kuchlanish chastotasi  $f_r$  boshqarish bloki 5 orqali boshqaruv signali  $U_b$  funksiyasida rostlanadi.



2.5- rasm. Bevosita bog`la-nishli chastota o`zgartkichning blok-sxemasi

O'zgaras tok bo'g'inli CHO` ning muxim xususiyati, AD statoridagi kuchlanish chastotasini tarmoqdagiga nisbatan ham quyiga, ham yuqoriga ravon rostlashni taominlash imkoniyatidir.

Boshqariluvchi inverterlarning ko`rinishlari. Hozirda chastotaviy asinxron elektr yuritmalarda tiristorli va kuchli tokli tranzistorli inverterlar ishlatiladi. Tiristorli inverterlar, tiristorlarni kommutatsiya qilish ko`rinishlari, ularni ulanish sxemalari, AD dagi kuchlanishning rostlash usullari bilan farqlanadi.



2.6– rasm. O'zgaras tok bo'g'inli chastota o'zgartkichning sxemasi

Tiristorlardagi tokning kom-mutatsiya qilish usuliga ko`ra, inverterlar tarmoqdan boshqariluvchi va avtonom (mustaqil, AI) inverterlarga bo`linadi.

Tarmoqdan boshqariluvchi inverterlarda tokning tiristordan tiristorga kommutatsiyasi, taominlovchi manbaning o'zgaruvchan tok kuchlanishi bilan amalga oshiriladi. Avtonom inverterlarda tokning kommutatsiyasi uchun maxsus kommutatsiya tuguniga (uzeliga) birlashtirilgan elementlar – tiristor, diod, kondensator va induktivlik g'altaklar qo`llaniladi.

Avtonom inverterlar kuchlanish va tok inverterlariga bo`linadi.

Avtonom kuchlanish inverterlari (AKI – AIN) kuchlanish manbasiga, masalan chiqishiga katta sig'imli kondensator qo`yilgan boshqariluvchi to`g`rilagichga ulanadi. AKI biki tashqi xarakteristikaga ega bo`ladi, yaoni yuklama tokini o'zgarishi bilan, uning chiqishidagi kuchlanishi amaliy jihatdan o'zgarmaydi. Ushbu xossalari sababli, AKIdan foydalanilganda, dvigatelga boshqaruvchi ta`sirlar sifatida chastota va kuchlanish bo`ladi. Avtonom tok inverterlarini (ATI – AIT) taominlash tok manbasidan, masalan katta induktivlikka ega bo`lgan reaktor qo`yilgan boshqariluvchi to`g`rilagichdan amalga oshiriladi. ATIdan foydalanilganda, ADga boshqaruvchi ta`sirlar chastota va stator toki bo`ladi.

Hozirgi vaqtda, avtonom inverterli asinxron elektr yuritmalar kichik (10 kVtgacha) va o`rta (500 kVtgacha) quvvatli sistemalarning asosiy ko`rinishi bo`lib qoldi. Bunda 50 kVtgacha quvvatlar diapazonida, avtonom kuchlanish inverteri sxemasida kuchli tokli tranzistorlar qo`llaniladi. Avtonom tok inverterlari asosan

bundan yuqori quvvatlar diapazoni va faol to'xtatish talab qilinadigan yuklamalar (tsentrifuga, sinov qurilmasi, kran va boshqalar) uchun ishlatiladi.

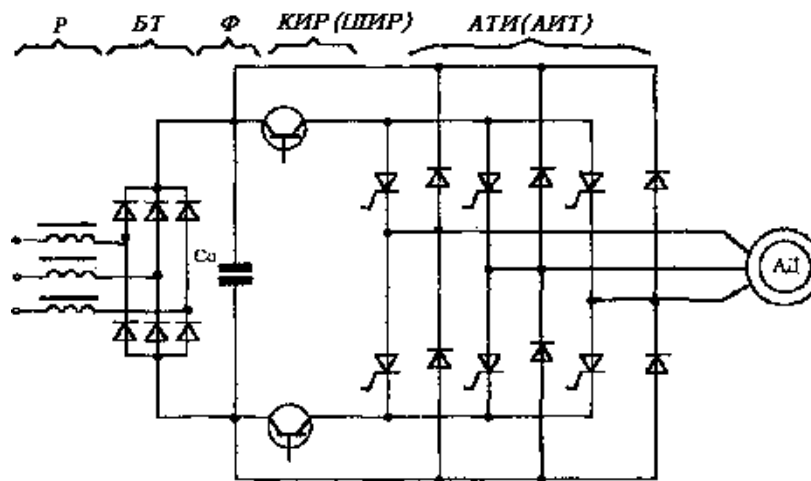
CHO`larda tiristorlar o`rniga kuchli tokli tranzistorlardan foydalanish, elektr energiyasining rostdash va o`zgartirish sxemasini sezilarli soddalashtiradi, chunki ularni tokdan uzish faqat boshqaruv signalini olib tashlash orqali hosil qilinadi. SHu sababli, o`zgartirishning o`lchamlari (gabariti) va massasi kamayadi, u yuqori f.i.k. ga va ishonchlikka, taominlovchi tarmoqqa kam ta`siri hamda birga yaqin bo`lgan quvvat koeffitsientiga ega bo`ladi. Ushbu qurilmalar raqamli boshqaruv texnikasi, xizmat ko`rsatish va taxshis (diagnostika) sistemalari bilan qulay birikadi.

O`zgarmas tok bo`g`inli CHO`da yuklamadagi (AD statoridagi) kuchlanishni rostdash yoki maxsus kuchlanish rostdagichi (regulyatori) yoki invertorning o`zida amalga oshiriladi.

Birinchi usul, o`z navbatida ikki yo`l orqali amalga oshiriladi - boshqariladigan to`g`rilagichdan foydalanish (fazaviy boshqarish) yoki boshqarilmaydigan to`g`rilagich va u bilan inverter o`rtasiga joylashtiriladigan kuchlanishni impuls kengligi orqali o`zgartiradigan rostdagich (kuchlanishni impulsli rostdagichi, KIR – SHIR) hisobiga. Oxirgi usulning afzalliklariga kuchlanishning rostdash diapazonini kengligi va har qanday ko`rinishdagi inverterlarni qo`llash imkoniyatini borligidir.

Ikkinchi usul, inverterning o`zida chastota va kuchlanishni rostdash funksiyasini birlashtirish bilan bog`liqdir. U kuchlanish impulsi kengligini modulyatsiya (kuchlanishni impulsli modulyatsiyasi, KIM - SHIM) qilishga asoslangan bo`lib, inverter ventillarini (tiristor yoki kuchli tokli tranzistorlarni) murakkab boshqarish yordamida amalga oshiriladi.

Misol tariqasida, FarPIning «Elektr yuritma» kafedrasida ishlab chiqilgan chastota o`zgartirishning kombinatsiyalashgan sxemasini [7] keltiramiz (27 – rasm).



**2.7 – rasm. CHastota o`zgartkichning kombinatsiyalashgan sxemasi: R – induktivli reaktor; BT- boshqariluvchi to`g`rilagich; F–sig`imli filptr; KIR – kuchlanishning impuls rostlagichi; ATI–avtonom tok invertori**

Sxemada avtonom kuchlanish invertorning uch fazali ko`prik sxemasi tiristorlarda, tranzistorlarda esa kuchlanish rostlagichlari bajarilgan. Tranzistorli rostlagichlar (bir vaqtning o`zida) kuchlanishni impuls kengligi orqali rostlashni hamda inverter tiristorlarini toksiz kommutatsiya qilishni taominlaydi.

AD ni boshqarishning chastota usulidagi asosiy ko`rsatkichlarini keltiramiz. CHastotaviy boshqarish tejamlidir, chunki u AD tezligini rostlashni, elektr yuritma f.i.k. ni kamayishiga va ADning quvvatini ortirish zarurligiga olib keluvchi rotor zanjiridagi energiya isroflarini ortirmasdan turib taominlaydi.

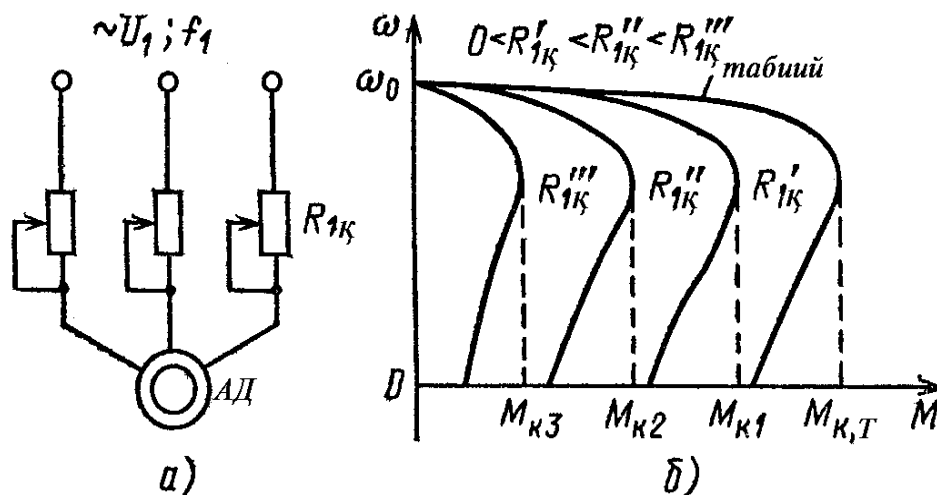
Rostlash bunday tizimda ravon va tabiiy xarakteristikaning ikkala tomoniga ham keng diapazonda amalga oshirilishi mumkin, yaoni AD nominaldan katta yoki kichik bo`lgan tezliklarga ega bo`lish mumkin. Bunda rostlanadigan xarakteristikalar yuqori bikrlikka ega, AD esa katta bo`lgan yuklamaga chidamlilik qobiliyatini saqlab qoladi. Tezlikni rostlashning amalga oshiriladigan diapazoni ochiq tizimlarda 1 - 10 ni tashqil etadi, yopiq tizimlarda uning qiymati 1000 va undan ortiq bo`lishi mumkin.

### **2.3. Motorni vektorli boshqarishda va oqim modeli bo`yicha rotor oqim ilashuvini aniqlashda elektr yuritma tezligini rostlash tizimi**

Koordinatalarni rostlashning ushbu usuli, ko`pincha reostat usuli deb ataladi va u AD ning stator yoki rotor zanjiriga qo`shimcha aktiv rezistorlarni kiritish orqali amalga oshiriladi. U, eng avvalo, o`zining ro`yobga chiqarish soddaligi bilan ajralib tursada, shu bilan birga rostlash sifati va tejamligi uncha yuqori bo`lmagan ko`rsatkichlari bilan xarakterlanadi.

a) Stator zanjiridagi rezistorlar yordamida koordintalarni rostdlash.

2.8,a-rasmda, AD koordinatalarini stator zanjiridagi qo`shimcha rezistorlar hisobiga rostdlash imkoniyatini beradigan sxema keltirilgan. Bu usul, asosan, qisqa tutashuv rotorli AD ning tok va momentini o`tish jarayonlarida rostdlash



2.8-rasm. AD koordinatalarini stator zanjirlaridagi rezis-torlar yordamida rostdlash: a-sxema; b-mexanik xarakteristikalar

(chegaralash) uchun qo`llaniladi.

Bu usulda olinadigan sun`iy xarakteristikalar 2.8,b-rasmda kel-tirilgan. Ular mexanik xarakteristikalarining quyidagi xarakterli nuqtalarini ta`lil qilish asosida qurilgan:

- 1) Ideal salt yurish tezligi  $\omega_0$  stator fazasining qarshiligi  $R_1$  ga bog`liq emas, shuning uchun barcha sun`iy xarakteristikalar tezlik o`qidagi ushbu nuqtadan o`tadi.
- 2) AD ning kritik momenti va sirpanishi  $R_{1q}$  ning ortishi bilan kamayib boradi.
- 3) AD ni ishga tushirish momenti  $M_{i,t}$  ham  $R_{1q}$  ning ortishi bilan kamayadi.

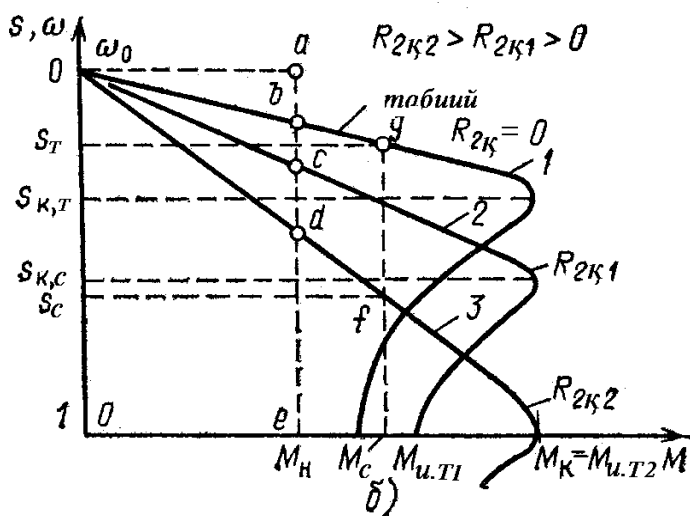
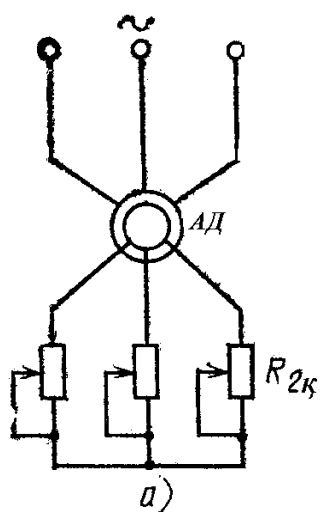
2.8,b-rasmdagi sun`iy xarakteristikalar AD tezligini rostdlash uchun kam to`g`ri keladi: Ular tezlik o`zgarishining uncha katta bo`lmagan diapazonini taominlaydi;  $R_{1q}$  ning ortishi bilan AD xarakteristikasining bikrligi va uning kritik moment bilan xarakterlanadigan yuklamaga chidamlilik qobiliyati kamayadi; usul tejamliligini pastligi bilan `am farqlanadi.

Ushbu kamchiliklar hisobiga, AD tezligini uning stator zanjiridagi aktiv rezistorlar yordamida rostdlash usuli kam qo`llaniladi. YUqorida aytilganidek, bu usul, qisqa tutashuv rotorli AD ning tok va momentini, turli o`tish jarayonlarida - ishga tushirish, revers va to`xtatishda cheklash uchun foydalaniladi.

Berilgan tok va momentlar uchun stator zanjiridagi qo`shimcha rezistorlarni hisoblash [1,2] da keltirilgan.

b) Rotor zanjiridagi rezistorlar yordamida koordinatalarni rostlash

Faza rotorli AD tezligi, toki va momentini rostlashning eng keng tarqalgan usullaridan biri, uni rotoriga qo`shimcha rezistorlarni kiritish va o`zgartirish bilan bog`liqdir. Rostlashning ushbu usulini amalga oshiruvchi sxema 2.9,a-rasmda keltirilgan. Bu usulning asosiy afzalligi uni ro`yobga chiqarish soddaligi bo`lib, bu uning bir qator elektr yuritmalarda keng qo`llanilishiga olib keladi.



**2.9-rasm. AD koordinatalarini rotor zanjirlaridagi rezistorlar yordamida rostlash: a-sxema; b-mexanik xarakteristikalar**

Ushbu usulda olinadigan sun`iy mexanik xarakteristikalarni qurish uchun, uning xarakterli nuqtalarining ta`lilini o`tkazamiz. Ideal salt yurish tezligi ( $\omega_0 = 2\pi f_1 / r$ ) uchun yozilgan ifodadan foydalanib quyidagilarni aniqlaymiz:

- 1) AD ning ideal salt yurish tezligi  $\omega_0 - R_{2q}$  rostlanganda o`zgarmasdan qoladi;
- 2) bunda dvigatelning maksimal (kritik) momenti  $M_k$  `am o`zgarmasdan qoladi;
- 3) kritik sirpanish  $s_k - R_{2q}$  ning ortishi bilan orta boradi.

Bajarilgan ta`lil tabiiy 1 ( $R_{2q} = 0$ ) va sun`iy 2-3 ( $R_{2q2} > R_{2q3}$ ) xarakteristikalarni qurish imkonini beradi.

Bu xarakteristikalardan AD tezligini rostlashda foydalanish, mustaqil qo`zg`atishli o`zgarmas tok dvigatelning (O`TD) ko`rsatkichlariga mos bo`lgan ko`rsatkichlar bilan xarakterlanadi. Tezlikni rostlash diapazonini uncha katta emas:

$D=2\div 3:1$  atrofida, bu tezlikni rostlash diapazonini ortishi bilan xarakteristika bikrligini kamayishi va isroflarni ko`payishi orqali belgilanadi.

Reostatli rostlashda rostlash ravonligi `am uncha katta emas va u qo`shimcha rezistorni o`zgartirish ravonligi bilan aniqlanadi. AD ning tezligi faqat, tabiiydan quyiga o`zgaradi.

Elektr yuritmaning ushbu tizimini yaratishi bilan bog`liq sarflar katta emas, chunki rostlash uchun, odatda, sodda va arzon bo`lgan metall rezistorlarning qutilari qo`llaniladi. SHu bilan birga ishlatishdagi sarflar sezilarlidir, chunki bunda AD dagi energiya isroflari ancha ko`p bo`ladi.

Sirpanish  $s$  ning ortishi bilan rotor zanjiridagi isroflar  $\Delta R_2$  ko`payadi, shuning uchun tezlikni katta diapazonini amalga oshirish, elektr yuritmada ancha ko`p bo`lgan energiya isroflariga va uning f.i.k. ni pasayishiga olib keladi.

Bu usul bilan tezlikni rostlash, uncha katta bo`lmagan tezlikni rostlash diapazoni talab qilinadigan va kichik tezliklardagi ishlash vaqti uzoq bo`lmagan yuritmalarda ishlatiladi. Misol uchun, ushbu usul bir qator ko`tarish – uzatish mashina va mexanizmlarining elektr yuritmalarida keng qo`llanishiga egadir. Ko`rib chiqilayotgan usuldan, AD toki va momentini ishga tushirish paytida rostlash (chegaralash) uchun `am foydalaniladi.

2.9, b-rasmdagi xarakteristikalaridan,  $R_{2q}$  ni o`zgartirish hisobiga, dvigatelning yuklamaga chidamlilik qobiliyatini kamaytirmay turib, AD ni ishga tushirish momentini kritik momentgacha oshirish imkoniyati borligini ko`rish mumkin. AD ning bunday xossasi, uni tabiiy xarakteristikadagi ishga tushirish momenti  $M_{it}$  dan ko`p bo`lgan yuklama momenti bilan ishga tushirishda `am foydalaniladi.

AD ning ishga tushirish toki,  $R_{2q}$  ortishi bilan kamayadi, bu uni qo`shimcha rezistorlar kiritish yordamida chegaralash imkonini yaratadi.

v) Rotor zanjiridagi rezistorlarni hisobi

Rotor zanjiridagi rezistorlarni hisoblash bo`yicha vazifa odatda quyidagicha shakllantiriladi: dvigatelni pasport ma'lumotlari ma'lum; rotor zanjiridagi qo`shimcha rezistorlarning qarshilik qiymatlarini hisoblash talab qilinadi, bunda ularni ulash orqali olingan sun`iy elektromexanik va mexanik xarakteristikalari mos ravishda koordinatalari  $(\omega_s, I_s)$  yoki  $(\omega_s, M_s)$  bo`lgan nuqtalardan o`tadi.

Qo`shimcha rezistor  $R_{2q}$  ning qarshiligini hisoblash, talab qilinayotgan sun`iy mexanik xarakteristikaning berilish shakliga ko`ra, bir qator usullar bilan bajarilishi mumkin.

1. Sun`iy xarakteristika to`la berilgan va kritik moment so`asi ma'lum, misol uchun 2.9, b-rasmdagi 2-xarakteristika. Bu holatda, hisoblashni formula bo`yicha olib borish maqsadga muvofiqdir. Formula orqali AD ni tabiiy va sun`iy xarakteristikalaridagi kritik sirpanishlarning nisbati topiladi

$$s_{k,t}/s_{k,s} = R'_P / (R'_P + R'_{2\kappa 1}) = R_P / (R_P + R_{2\kappa 1}),$$

bunda  $R_r$  - AD rotor fazasining qarshiligi.

Qidirilayotgan  $R_{2q1}$  qiymatini aniqlaymiz

$$R_{2q1} = R_r (s_{q,s}/s_{q,t} - 1).$$

Bu formula na faqat kritik moment  $M_k$  uchun balki barcha  $M_s$  momentning qayd qilingan qiymatlari uchun `am to`g`ridir. SHunday qilib, sun`iy xarakteristikada koordinatalari  $M_s, s_c$  qandaydir  $f$  nuqta berilgan bo`lsa, unda  $R_{2q2}$  rezistorning qidirilayotgan qarshiligi quyidagicha topiladi

$$R_{2q2} = R_r (s_c/s_t - 1)$$

bunda  $s_t$  - AD ning 1- tabiiy xarakteristikasida  $M_c$  momentga mos keladigan sirpanish.

Rezistor  $R_r$  qiymati to`g`risida maolomot yo`q bo`lsa, unda u quyidagi yaqinlashtirilgan formula orqali topiladi:

$$R_r = E_{2n} s_{2n} / (\sqrt{3} I_{2n})$$

bunda  $s_n$  - nominal sirpanish;  $I_{2n}$  - rotorning nominal toki.

2.9,b-rasmda, ushbu usulni qo`llagan holda AD uchun qurilish bajarilgan, buning uchun  $M_n$  nominal momentga mos keladigan vertikal chiziq o`tkazilgan va  $a, b, s, d, e$  -xarakterli nuqtalar belgilangan;  $R_{2q1}$  rezistorni qidirilayotgan qarshiligi quyidagicha aniqlanadi

$$R_{2q1} = R_{2n} bc/ae$$

bunda  $R_{2n} = E_{2n} / (\sqrt{3} I_{2n})$  - AD ni nominal qarshiligi;  $E_{2n} - s = 1$  bo`lgandagi rotor e.yu.k.

Faza rotorli AD li elektr yuritma uchun namunaviy tipik masala bo`lib, berilgan ishga tushirish diagrammasini taominlovchi rotor zanjiridagi rezistorlarni hisoblash xizmat qiladi. AD ning ishga tushirish diagrammasi MQ O`TD ga o`xshash quriladi, faqat bunda AD ni mexanik xarakteristikasining ishchi so`asi chiziqlikka yaqin deb taxmin qilinadi. AD ning ishga tushirish diagrammasini qurishda (2.9, b-rasmga qarang)  $M_1$  moment, odatda, (0,8..0,9)  $M_k$  dan katta olinmaydi,  $M_2$  moment esa (1,1÷1,2)  $M_s$  ga teng deb olinadi. Ishga tushirish diagrammasidagi xarakteristikalarda bosqichlar soni  $m$  va  $M_1, M_2$  momentlarning qiymatlari o`zaro quyidagicha bog`langan

$$m = \lg(1/s_n M_1) / \lg(M_1/M_2).$$



## **2.4. Ventil motorli elektr yuritmani boshqarish tizimi**

Elektr yuritmani yopiq tizimini qurish uchun motor tezligining haqiqiy qiymatini o`lchash kerak bo`ladi. Rostlash tizimining kirishida bu qiymat berilayotgan qiymat bilan solishtiriladi. Ko`p hollarda tezlikni o`lchash aylanuvchi tezlik datchiklari yordamida amalga oshiriladi. Bunday datchiklar elektron o`zgartirish blogi bilan bog`langan hamda motor valiga o`rnatilgan qurilma bo`lib, ular tezlikning mexanik qiymatlarni analogli yoki diskret elektr silnallarga aylantiradi.

Oxirgi o`n yil mobaynida kuzatilayotgan o`zgaruvchan elektr yuritmadagi aylanuvchi o`zgartirgichlardan xoli bo`lishga intilish tezlik datchiklariga ham etib keldi. Bu esa tezlikni datchiksiz o`lchash usullarini ishlab chiqish va takomillashtirishga olib keldi. Bu usullarda tezlikni o`lchashboshqa maqsadlar uchun oson o`lchanadigan elektr kattaliklardan foydalaniladi. Bunday kattaliklarga birinchi navbatda motor ta`minot olayotgan invertor chiqishidagi kuchlanish va stator toki hisoblanadi. Sxemotexnika nuqtai nazaridan bunday yondashish tizimning elektron qismini funktsiya ko`rinishda uzatishni bildiradi. SHu paytgacha bu vazifani aylanuvchi datchiklar bajargan. Bu esa tizimning murakkablashishiga olib keladi, lyokin agar boshqarish tizimini mikroprotsessor asosida yaratish bunday murakkablashgan tizimli elektr yuritmani sezilarli qimmatlashishiga olib kelmaydi, buning ustiga yana bir foydali momentni hosil qilishimiz mumkin, ya`ni tezlik datchikini boshqarish tizimi bilan ulovchi simlarga hojat qolmaydi. Boshqarish tizimi motor va datchikdan ancha uzoq masofada turgan bo`lishi mumkin.

Tezlikni datchiksiz aniqlash uchun turli xil usullarni amalga oshirish mumkin. Bu usullarning murakkablik darajasi elektr yuritmani rostlash diapozoni talablari bilan va tezlikni o`lchashning aniqliligiga qo`yilgan talablar bilan aniqlanadi. [60] ishda asinxron motorning tezligini aniqlash usullari besh guruhga bo`lingan.

Birinchi guruhga tegishli bo`lgan usul noadaptiv usullar bo`lib, bu usullarda motor tezligi befosita o`lchanayotgan kuchlanish va stator toki orqali aniqlanadi. Birinchi usulga tegishli yana bir usul sxemadagi manba kuchlanishi chastotasi va rotordagi eYUK ni hisoblash orqali tezlikni aniqlashga asoslangan. Ikkinchi guruhga tegishli usullar bu adaptiv usullardir. Ular elektr yuritma tezligini rostlashning yopiq tizimiga tegishli bo`lib, ularda adaptatsiya o`lchanayotgan tizimning aniqlilik darajasini oshirish uchun qo`llanilgan. Uchinchi guruhga motor konstruksiyasining xususiyatlariga asoslangan usullar kiradi. Masalan motorning magnitlanish egri chiziqdan olinadigan ma`lumotlardan foydalanib tezlikni aniqlash. To`rtinchi guruh – bu neytron zanjirlar nazaryasiga asoslangan nochiziqli usullar, va oxirgi beshinchi guruh – qo`shimcha yuqori chastotali signallarni yoki

boshqa qo`shimcha ma`lumotlarni aniqlilik darajasini oshirish uchun qo`llaniladigan guruhlar usulidir.

Ushbu magistrlik ishida biz faqatgina bir muncha soddaroq bo`lgan asinxron motorni matematik ifodalanishi shakllari asoslangan noadaptiv usullarni qarab chiqamiz.

Tezlikni datchiksiz aniqlash sxemasini qurish printsipli qo`zg`almas koordinata tizimida asinxron motorning vektorli matematik ifodalashga asoslangan. Agar (1.14) formulaga  $\tilde{I}_{2d-q} = \tilde{I}_{2x-y}e^{-j\theta_2}$ ,  $\tilde{\Psi}_{2d-q} = \tilde{\Psi}_{2x-y}e^{-j\theta_2}$  o`zgartirishlar kiritib va dvigatelning burchak tezligi  $d\theta_2/dt = p_n\omega \text{ rad/s}$  ekanligini hisobga olsak, bunday ifodani (1.21) formuladan topib olishimiz mumkin. U holda  $x$ -y qo`zg`almas koordinata tizimida qisqa tutashtirilagn asinxron dvigatelning tenglamasi quyidagi ko`rinishga ega bo`ladi:

$$\tilde{U}_{1x-y} = R_1\tilde{I}_{1x-y} + \frac{d\tilde{\Psi}_{1x-y}}{dt}; \quad (2.10)$$

$$0 = R_2\tilde{I}_{2x-y} + \frac{d\tilde{\Psi}_{2x-y}}{dt} - jp_n\omega\tilde{\Psi}_{2x-y}; \quad (2.11)$$

$$\tilde{\Psi}_{1x-y} = L_1\tilde{I}_{1x-y} + L_m\tilde{I}_{2x-y}; \quad (2.12)$$

$$\tilde{\Psi}_{2x-y} = L_m\tilde{I}_{1x-y} + L_2\tilde{I}_{2x-y}; \quad (2.13)$$

(2.11) tenglamada  $\omega$  tezlikning mavjudligi uning qiymatini ikkita o`zgaruvchan kattaliklar qiymatlari orqali topish imkonini beradi. [61] da bundan tashqari tezlikning datchiksiz aniqlash yana uchta sxema varianti ko`rib o`tilgan: aylanuvchan koordinata tizimida; qo`zg`almas koordinata tizimida; qo`zg`almas va aylanuvchan koordinata tizimida.

2.10-rasmga tasvirlangan birinchi variant sxemasini tahlil qilayotgan vaqtda birinchi navbatda (2.10), (2.12) va (2.13) ifodalarga bir qator o`zgartirishlar kiritish kerak bo`ladi, chunki (2.11) tenglamadan o`lchash mumkin bo`lmagan rotorning toki va oqim ilashuvlari vektorlarini chiqarib tashlab mumkin bo`lsin. SHu maqsadda (2.12) va (2.13) formuladan rotor tokining chiqarib tashlab,  $\tilde{\Psi}_{2x-y}$  ning qiymatini topish kerak:

$$\tilde{\Psi}_{2x-y} = \frac{L_2}{L_m} (\tilde{\Psi}_{1x-y} - \sigma L_1 \tilde{I}_{1x-y}), \quad (2.14)$$

bu erda  $\sigma$ - dvigatelning sochilish koeffitsienti.

Bu tenglamani differentsiallab quyidagiga ega bo`lamiz:

$$\frac{d\tilde{\Psi}_{2x-y}}{dt} = \frac{L_2}{L_m} \left( \frac{d\tilde{\Psi}_{1x-y}}{dt} - \sigma L_1 \frac{d\tilde{I}_{1x-y}}{dt} \right).$$

Bu ifodaga (2.10) ifodadan stator oqim ilashuvini uchun topilgan ifodani qo`yib

$$\frac{d\tilde{\Psi}_{1x-y}}{dt} = \tilde{U}_{1x-y} - R_1\tilde{I}_{1x-y},$$

(2.11) formulaning o`ng qismidagi ikkinchi qo`shiluvchi uchun ifodani aniqlaymiz:

$$\frac{d\tilde{\Psi}_{2x-y}}{dt} = \frac{L_2}{L_m} \left( \tilde{U}_{1x-y} - R_1 \tilde{I}_{1x-y} - \sigma L_1 \frac{d\tilde{I}_{1x-y}}{dt} \right). \quad (2.15)$$

(2.11) tenglamaga kiruvchi rotor tokining vektorini (2.12) formulaga asosan stator toki va oqim ilashuvi orqali ifodalash mumkin:

$$\tilde{I}_{2x-y} = \frac{\tilde{\Psi}_{1x-y}}{L_m} - \frac{L_1}{L_m} \tilde{I}_{1x-y}. \quad (2.16)$$

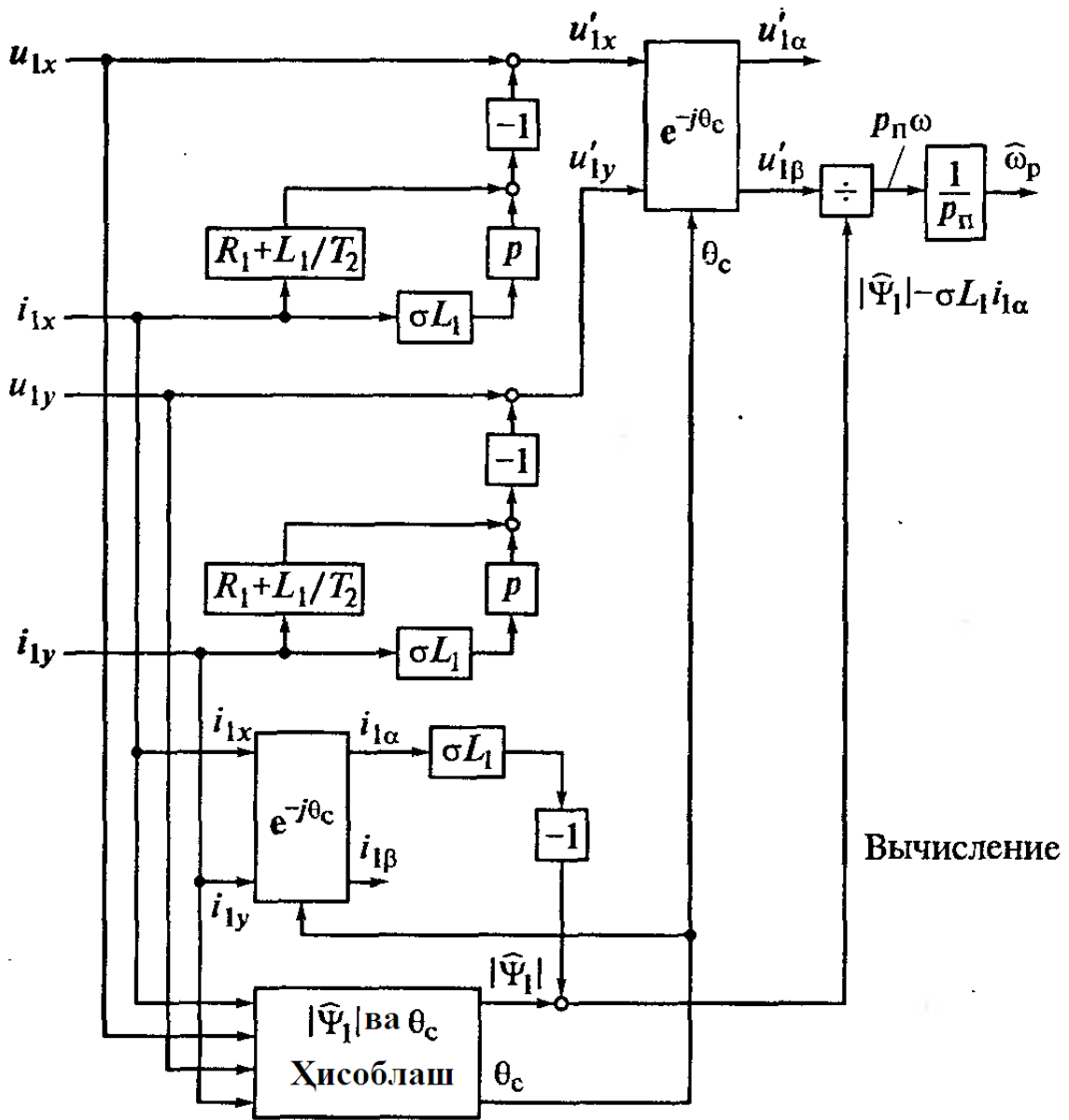
(2.14), (2.15) va (2.16) ifodalarning (2.11) formulaga qo'yib, tenglamaning hamma qismini  $L_m$  ga ko'paytirib,  $L_2$  ga bo'lib va qo'shiluvchi hadlarni guruhlab yangi ifodaga ega bo'lamizki, qaysikim bu ifodada faqatgina o'lchash mumkin bo'lgan kattaliklarning fazoviy vektorlari va magistrlik ishining 6.4 qismida bayon qilingandek oqim modelida aniqlanadigan stator oqim ilashuvi vektori kiradi.

$$\begin{aligned} \tilde{U}_{1x-y} - \left( \frac{L_1}{T_2} + R_1 \tilde{I}_{1x-y} \right) - \sigma L_1 \frac{d\tilde{I}_{1x-y}}{dt} = \\ - \frac{1}{T_2} \tilde{\Psi}_{1x-y} + j\omega p_n (\tilde{\Psi}_{1x-y} - \sigma L_1 \tilde{I}_{1x-y}). \end{aligned} \quad (2.17)$$

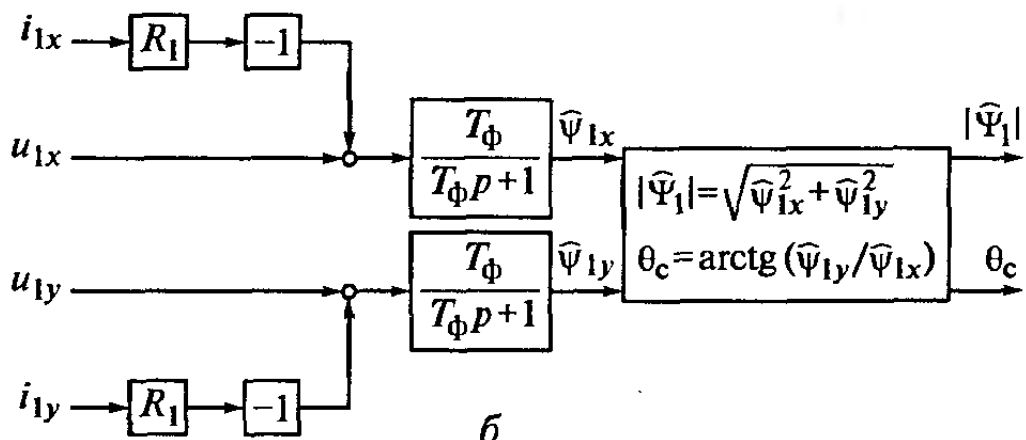
Tenglamaning chap qismini qo'zg'almas koordinata tizimi o'qidagi stator kuchlanishi va toki vektorlarining proektsiyasi ko'rinishda ko'rinishda yozish mumkin:

$$\begin{aligned} u_{1x} - (L_1/T_2 + R_1)i_{1x} - \sigma L_1 p i_{1x} &= u'_{1x}; \\ u_{1y} - (L_1/T_2 + R_1)i_{1y} - \sigma L_1 p i_{1y} &= u'_{1y}, \end{aligned}$$

bu erda  $u_{1x}$ ,  $u_{1y}$ - 2.10,a rasmda tasvirlangan sxema uchun hisoblanadigan o'zgaruvchilar.



a



b

2.10-rasm. Aylanuvchi koordinata tizimida asinxron dvigatelli elektr yuritmaning tezligini datchiksiz aniqlash:  
a-strukturasi; b-oqim modeli sxemasi

Keyingi qadam sinxron tezlik bilan aylanadigan  $\alpha$ - $\beta$  koorinata tizimiga o'tish hisoblanadi. Buning uchun  $u'_{1x}$  va  $u'_{1y}$  kattaliklarga  $e^{-j\theta_c}$  o'zgaruvchan funktsiya kiritilishi kerak. Hisoblangan  $\hat{\psi}_{1x}$  va  $\hat{\psi}_{1y}$  stator oqim ilashuvi vektorining proektsiyasi orqali joriy  $\theta_s$  burchak qiymatini hisoblash 2.10, b rasmda ko'rsatilgan oqim modeli orqali amalga oshiriladi. (2.18) tenglamaning o'ng qismini  $\alpha$ - $\beta$  koorinata tizimiga o'tkazishda va  $\alpha$  o'qni stator oqim ilashuvi vektori yo'nalishi bo'yicha yo'naltirib, ya'ni faraz qilaylikki  $\tilde{\Psi}_1 = |\tilde{\Psi}_1|$ , demakki  $\tilde{\psi}_{1y} = 0$ , hamda tenglamani haqiqiy va mavhum qismlarga ajratib (2.17) ifodani quyidagi ko'rinishda yozishimiz mumkin:

$$u'_{1\alpha} = -\frac{1}{T_2} |\tilde{\Psi}_1| + \sigma \omega p_n L_1 i_{1\beta};$$

$$u'_{1\beta} = \omega p_n (|\tilde{\Psi}_1| - \sigma L_1 i_{1\alpha}).$$

Ushbu tenglamalarning ikkichisi asosida dvigatelning tezligi hisoblanadi

$$\omega = \frac{u'_{1\beta}}{p_n (|\tilde{\Psi}_1| - \sigma L_1 i_{1\alpha})}.$$

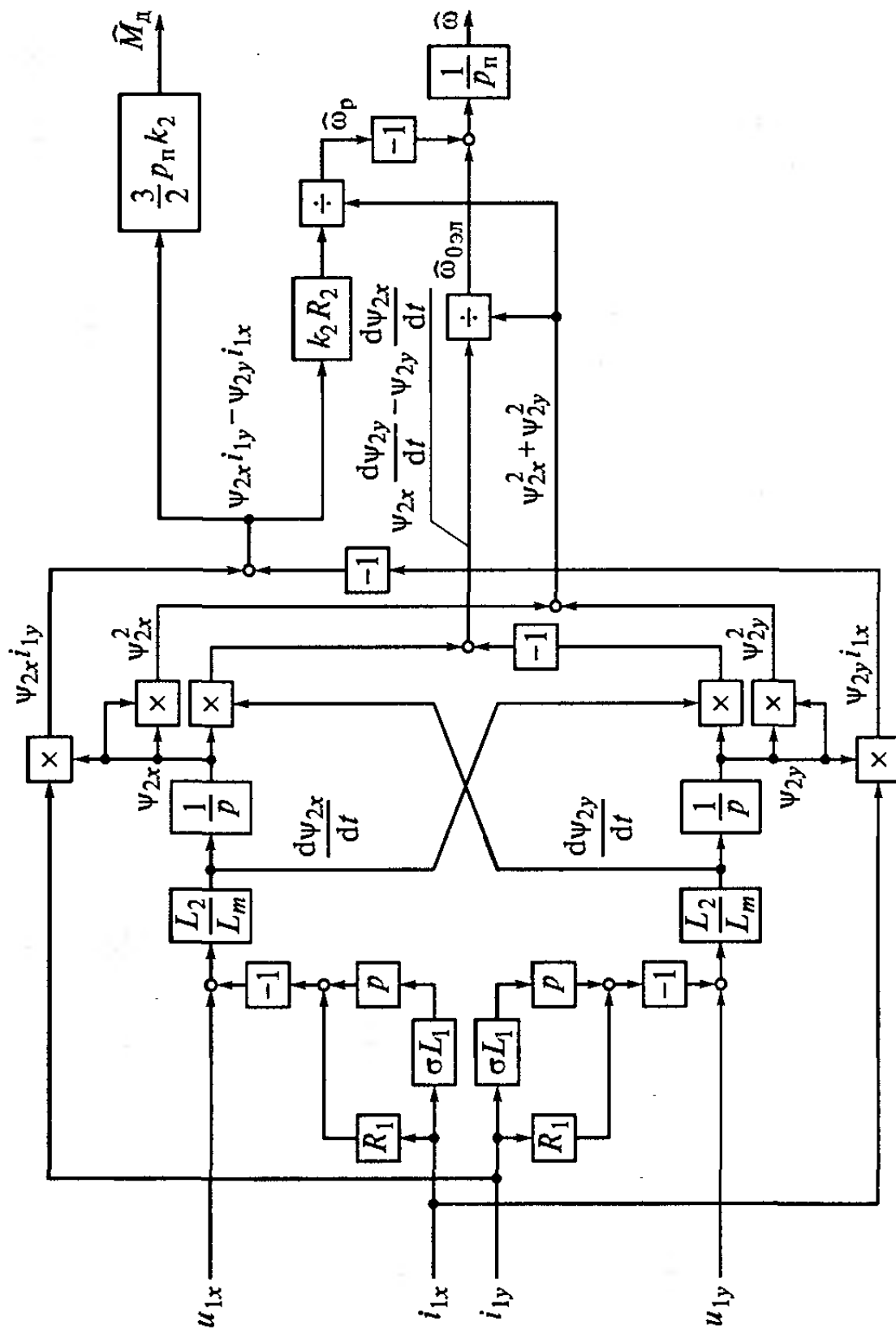
Tezlikni datchiksiz aniqlash sxemasining ikkinchi varianti 2.11-rasmga tasvirlangan. Sxemada o'lchanayotgan stator toki va kuchlanishi asosida ta'minot kuchlanishi chastotasi va rotor eYUKi chastotasi hisoblanadi. Bular asosida dvigatelning tezligi quyidagicha aniqlanadi:

$$\omega = (\omega_{0el} - \omega_p) / p_n. \quad (2.18)$$

Sxema uchun kiruvchi kattaliklar xuddi 2.10-rasmda tasvirlangan sxema kabi stator bilan  $x$ - $y$  qo'zg'almas koordinata tizimida bog'langan  $\tilde{U}_1$  va  $\tilde{I}_1$  fazoviy vektorlarning proektsiyasi hisoblanadi.

O'lchangan stator toki va kuchlanishi qiymatlari orqali topiladigan qo'zg'almas  $x$ - $y$  koordinata tizimi o'qidagi rotor oqim ilashuvi fazoviy vektorining proektsiyasini topish uchun qo'zg'almas koordinata tizimida stator oqim ilashuvining hosilasi uchun yozilgan tengmala ko'rib chiqiladi va bu (2.10) formulaga asosan quyidagi ko'rinishda yoziladi:

$$\frac{d\tilde{\Psi}_{1x-y}}{dt} = \tilde{U}_{1x-y} - R_1 \tilde{I}_{1x-y}. \quad (2.19)$$



2.11-rasm. Asinxron dvigatelli elektr yuritma tezligini qo'zg'almas koordinata tizimida hisoblangan  $\omega_{0el}$  va  $\omega_r$  chastotalar orqali datchiksiz aniqlash sxemasi.

(1.21) tenglamalar tizimining oxirgi ikki tenglamasiga mos ravishda stator oqim ilashuvidan va rotor oqim ilashuviga o'tish uchun aylanuvchan koordinati tizimida yozilgan  $\tilde{I}_{2d-q}$  va  $\tilde{\Psi}_{2d-q}$  vektorlarni  $x - y$  o'tkazish kerak. Buning uchun (1.14) formulaga mos ravishda ikkala vektorni ham  $e^{-j\theta_2}$  ga ko'paytirish kerak:

$$\tilde{I}_{2d-q} = \tilde{I}_{2x-y} e^{-j\theta_2}; \quad \tilde{\Psi}_{2d-q} = \tilde{\Psi}_{2x-y} e^{-j\theta_2},$$

bu erda  $\theta_2$  – qo'zg'almas koordinata tizimiga nisbatan rotor bilan bog'langan koordinata tizimi burilish burchagining qiymati.

Unda hamma vektorlari bitta koordanata tizimida yozilgan oqim ilashuvi va toklarni o'zaro bog'lovchi ifoda quyidagi ko'rinishga keladi:

$$\begin{aligned} \tilde{\Psi}_{1x-y} &= L_1 \tilde{I}_{1x-y} + L_m \tilde{I}_{2x-y}; \\ \tilde{\Psi}_{2x-y} &= L_m \tilde{I}_{1x-y} + L_2 \tilde{I}_{2x-y}. \end{aligned}$$

Tenglamalar tizimini soddalashtirib ulardan o'lchanmaydigan rotor tokini olib tashlasak quyidagiga ega bo'lamiz:

$$\tilde{\Psi}_{1x-y} L_2 - \tilde{\Psi}_{2x-y} L_m = \sigma L_1 L_2 \tilde{I}_{1x-y}.$$

(2.19) tenglamaning chap tomonida turgan qiymat differentsiyalanganidan keyin rotor oqim ilashuvi va stator toki orqali ifodalanadi:

$$\frac{d\tilde{\Psi}_{1x-y}}{dt} = \frac{L_m}{L_2} \frac{d\tilde{\Psi}_{2x-y}}{dt} + \sigma L_1 \frac{d\tilde{I}_{1x-y}}{dt}.$$

Ushbu ifodani (2.19) tenglamaga qo'ygandan keyin va  $p = d/dt$  belgilash kiritib, qo'zg'almas koortinata tizimidagi rotor oqim ilashuvi vektorini statorning o'lchanadigan kattaliklarini bog'lovchi (2.15) ifodaga o'xshash tenglamaga ega bo'lamiz:

$$\tilde{\Psi}_{2x-y} = \frac{1}{p} \frac{L_2}{L_m} \left( \tilde{U}_{1x-y} - R_1 \tilde{I}_{1x-y} - \sigma L_1 \frac{d\tilde{I}_{1x-y}}{dt} \right).$$

Ushbu ifoda qo'zg'almas koordinata tizimi o'qidagi proektsiyasi shaklida yoziladiki, qaysikim tezlikni datchiksiz aniqlash sxemasini qurishda foydalaniladi:

$$\begin{aligned} \psi_{2x} &= \frac{1}{p} \frac{L_2}{L_m} \left( u_{1x} - R_1 i_{1x} - \sigma L_1 \frac{di_{1x}}{dt} \right); \\ \psi_{2y} &= \frac{1}{p} \frac{L_2}{L_m} \left( u_{1y} - R_1 i_{1y} - \sigma L_1 \frac{di_{1y}}{dt} \right). \end{aligned} \quad (2.20)$$

Sxemada ta'minot kuchlanishi chastotasini aniqlash uchun qo'zg'almas va aylanuvchan koordinata tizimi orasidagi  $\theta_s$  burchakdan hosila olish kerak bo'ladi. Agar elektr yuritmaning rostlash tizimi,  $\alpha$  o'q rotor oqim ilashuvi vektorini bo'yicha yo'nalgan dvigatelning vektorli tizimiy sxemasi asosida bajarilgan bo'lsa (2.5-rasmga q.), unda  $\theta_s$  burchak qo'zg'almas koordinata tizimida  $\tilde{\Psi}_2$  fazoviy vektorning  $y$  o'qiga proektsiyasini uning  $x$  o'qiga proektsiyasi nisbatining argtangensi sifatida aniqlanishi mumkin:

$$\omega_{0el} = \frac{d\theta_c}{dt} = \frac{d}{dt} \left( \arctg \frac{\psi_{2y}}{\psi_{2x}} \right) = \frac{1}{1 + (\psi_{2y}/\psi_{2x})^2} \frac{d}{dt} \left( \frac{\psi_{2y}}{\psi_{2x}} \right).$$

Ushbu formulani aniqroq tasavvur qilish uchun 6.13-rasmdan foydalanib,  $\theta_2 = \theta_c$  deb olish mumkin va  $p = d/dt$  belgilashni kiritib formulani oxirgi ko`rinishga olib kelamiz

$$\omega_{0el} = \frac{\psi_{2x} p \psi_{2y} - \psi_{2y} p \psi_{2x}}{\psi_{2x}^2 + \psi_{2y}^2}. \quad (2.21)$$

Tezlikni aniqlashda (2.18) ifodadan foydalanish imkoniyatiga ega bo`lib uchun, rotor eYUK chastotasining qiymatini bilish kerak bo`ladi. Bu chastotani tizimiy sxema asosida (2.5-rasmga q.)  $\omega_p = k_2 R_2 i_{1\beta} / |\tilde{\Psi}_2|$  sifatida aniqlash mumkin. SHu sxema yordamida elektromagnit moment  $M_d = (3/2) r_p k_2 |\tilde{\Psi}_2| i_{1\beta}$  ifoda bo`yicha topiladi, bu erda  $k_2 = L_m / L_2$ . Stator toki  $i_{1\beta}$  vektorining tashqil etuvchisiga nisbatan echib va natijani  $\omega_r$  chastota uchun yozilgan formulaga qo`yib, rotor eYUK chastotasi bilan dvigatel momentini bog`lovchi tenglamaga ega bo`lamiz:

$$\omega_p = \frac{2R_2 M_d}{3r_p |\tilde{\Psi}_2|^2}, \quad (2.22)$$

bu erda  $|\tilde{\Psi}_2|^2$  – rotor oqim ilashuvi vektori modulining kvadrati bo`lib, u quyida tarzda aniqlanadi:

$$|\tilde{\Psi}_2|^2 = \psi_{2x}^2 + \psi_{2y}^2,$$

bu erda  $\psi_{2x}, \psi_{2y}$  – qo`zg`almas koordinata tizimi o`qidagi rotor oqim ilashuvi vektorining proektsiyalari.

Tezlikni datchiksiz aniqlashning qaralayotgan sxemasida, o`lchanadigan iq stator toki vektorining qo`zg`almas koordanata tizimidagi proektsiyalarining qiymati  $i_{1x}$  va  $i_{1y}$  hamda (2.20) ifoda bilan hisoblangan  $\Psi_{2x}$  va  $\Psi_{2y}$  rotor oqim ilashuvi vektorining proektsiyalari qo`llaniladi. SHuning uchun momenetni aniqlashda qo`zg`almas koordinata tizimida hisoblashlarga ham mos kelishini nazarda tutib (2.7) tenglamadan foydalanish maqsadga muvoffiq bo`ladi:

$$M_d = (3/2) r_p k_2 (\psi_{2x} i_{1y} - \psi_{2y} i_{1x}).$$

Qavs ichidagi ifoda sxemada hisoblanadi va shunday qilib, quyidagi qiymatni aniqlaydi:

$$\frac{2}{3} \frac{M_d}{r_p k_2} = \psi_{2x} i_{1y} - \psi_{2y} i_{1x},$$

bu esa dvigatel momentining qiymatini aniqlash uchun qo`llanilishi mumkin. Rotor eYUK chastotasi qiymatini hisoblash uchun sxemadan olingan  $\psi_{2x} i_{1y} - \psi_{2y} i_{1x}$



qiymatni (2.11-rasmda q.) (2.22) formulaga mos ravishda  $k_2 R_2$  ga qo`paytirish va  $|\tilde{\Psi}_2|^2$  ga bo`lish kerak bo`ladi.

Tezlikning aniqlash sxemasining uchunchi variantida ta`minot kuchlanishi chastotasini hisoblash qo`zg`almas koordinata tizimida bajarilsa, rotor eYUK chastotasi hisoblash esa aylanuvchan koordinata tizimida bajariladi. (2.10) ifodaga mos ravishda stator oqim ilashuvi vektorining qo`zg`almas koordinata tizimi o`qidagi proektsiyasi quyidagi ko`rinishga ega:

$$\psi_{1x} = (u_{1x} - R_1 i_{1x})/p;$$

$$\psi_{1y} = (u_{1y} - R_1 i_{1y})/p.$$

Chastota  $\omega_{0el}$  ni rotor oqim ilashuvi orqali aniqlashga monand ravisha ((2.21) ifodaga q.), ta`minot kuchlanishi chastotasini stator oqim ilashuvi orqali  $\omega_{0el} = d\theta'_c/dt$  sifatida ham aniqlash mumkin. Bu formuladagi  $\theta'_c$  stator oqim ilashuvi vektori bilan mos tushuvchi aylanuvchan koordinata tizimi  $\alpha$  o`qi bilan qo`zg`almas koordinata tizimi  $x$  o`qi orasidagi burchak. U  $\theta'_c = \arctg(\psi_{2y}/\psi_{2x})$  ifoa bo`yicha aniqlanadi. Ta`minot kuchlanishi chastotasi quyidagi formula bo`yicha topiladi:

$$\omega_{0el} = \frac{\psi_{1x} p \psi_{1y} - \psi_{1y} p \psi_{1x}}{\psi_{1x}^2 + \psi_{1y}^2}. \quad (2.23)$$

Oqim ilashuvi vektori va  $\theta'_c$  burchak qiymatini hisoblash uchun tezlikni datchiksiz aniqlash sxemasida (6.20-rasmga q.) ortogonal koordinata tizimidan qutbli koordinata tizimga o`tish blogi qo`yilgan bo`lib, unda stator oqimi modeli kabi (2.10-rasmga q.), hisoblashlar  $|\tilde{\Psi}_1| = \sqrt{\psi_{1x}^2 + \psi_{1y}^2}$  va  $\theta'_c = \arctg(\psi_{1y}/\psi_{1x})$  ifodalar bo`yicha bajariladi. O`tish blogida  $e^{-j\theta_c}$  aylanuvchan koordinata tizimi  $\alpha - \beta$  da stator toki vektori proektsiyasi bo`yicha aniqlanadi:

$$i_{1\alpha} = i_{1x} \cos \theta'_c + i_{1y} \sin \theta'_c;$$

$$i_{1\beta} = -i_{1x} \sin \theta'_c + i_{1y} \cos \theta'_c.$$

Dvigatelning tezligi xuddi 2.11-rasmda tasvirlangan sxema kabi ta`minot kuchlanishi chastotasi va rotor eYUK chastotasi farqi orqali aniqlanadi. Rotor eYUK chastotasini aniqlash uchun asinxron dvigatelda kechagigan elektromagnit jarayonlarni sinxron tezlik bilan aylanadigan fazoviy vektorlar bilan ifodalovchi (1.23) ifodaga murojaat qilamiz. (1.23) tenglamalar tizimining oxirgi ikki ifodasidan rotor toki vektorini oqim ilashuvlar vektorlari orqali topib olamiz:

$$\tilde{I}_2 = \frac{1}{\sigma L_2} (\tilde{\Psi}_2 - k_1 \tilde{\Psi}_1),$$

bu erda  $k_1 = L_m/L_1$ .

Ushbu ifodani qisqa tutashtirilgan rotorli dvigatel uchun  $0 = R_2 \tilde{I}_2 + d\tilde{\Psi}_2/dt + j\omega_r \tilde{\Psi}_2$  kabi yozilgan (1.23) tenglamalar tizimining ikkinchi ifodasiga qo`yyamiz va natijani quyidagi ko`rinishda olamiz

$$0 = -\frac{k_1}{\sigma T_2} \tilde{\Psi}_1 + \left( \frac{1}{\sigma T_2} + p + j\omega_p \right) \tilde{\Psi}_2. \quad (2.24)$$

YUqoridagi hisoblashlar bosqichida aylanuvchan koordinata tizimidagi stator toki vektorining proektsiyasi va stator oqim ilashuvi vektorining moduli aniqlangan edi. Ushbu qiymatlar asosida rotor eYUK chastotasini hisoblash imkoniyati ega bo`lish uchun (2.24) formuladan  $\tilde{\Psi}_2$  ni chiqarib tashlash kerak. SHu maqsadda, (1.23) tenglamalar tizimining oxirgi ikki ifodasini  $\tilde{\Psi}_2$  ga nisbatan echib  $\tilde{\Psi}_2 = L_2/L_m (\tilde{\Psi}_1 - \sigma L_1 \tilde{I}_1)$ , olingan natijani (2.24) ga qo`yamiz:

$$0 = -\frac{k_1}{\sigma T_2} \tilde{\Psi}_1 + \frac{L_2}{L_m} \left( \frac{1}{\sigma T_2} + p + j\omega_p \right) (\tilde{\Psi}_1 - \sigma L_1 \tilde{I}_1).$$

Keyin, bu formulaga  $\tilde{I}_1 = i_{1\alpha} + j i_{1\beta}$  va  $|\tilde{\Psi}_1|$  qiymatlarni qo`yib ( $\alpha$  o`q stator oqim ilashuvi vektorini bo`yicha yo`nalgan va shuning uchun  $\tilde{\Psi}_1 = \psi_{1\alpha} = |\tilde{\Psi}_1|$ ), formuladan tarkibida rotor eYUK chastotasi  $\omega_r$  ning qiymati bo`lgan mavhum qismini ajratib olamiz:

$$0 = \frac{L_2}{L_m} \left[ \omega_p (|\tilde{\Psi}_1| - \sigma L_1 i_{1\alpha}) - \sigma L_1 i_{1\beta} \left( \frac{1}{\sigma T_2} + p \right) \right],$$

bundan rotor eYUK chastotasi quyidagi qo`rinishda olshinadi

$$\omega_p = \frac{L_1 (\sigma T_2 p + 1)}{T_2 (|\tilde{\Psi}_1| - \sigma L_1 i_{1\alpha})}.$$

Tezlik  $\omega = (\omega_{0el} - \omega_r)/r_p$  kabi aniqlanadi.

Xuddi shunday usulga asosan ventil dvigatelli elektr yuritmaning tezligini datchiksiz aniqlash sxemasi quriladi. Farqi shundagi (2.23) ifoda bo`yicha aniqlangan sinxron motor statoridagi kuchlanishning burchak chastotasi befosida uning tezligini aniqlaydi  $\omega = \omega_{0el}/r_p$ . SHuning uchun asinxron motordagi rotor eYUK chastotasini aniqlash uchun mo`ljallangan sxemaning pastki qismi, ventil dvigatelli elektr yuritmaning tezligini aniqlash sxemasida bo`lmaydi.

### 3-BOB.

## STATORDAGI KUHLANISH CHASTOTASINI O`ZGARTIRISH ORQALI O`ZGARUVCHAN TOK ELEKTR YURITMA TEZLIGINI ROSTLASH TIZIMLARI

### 3.1. Statordagi oqim ilashuvi doimiy bo`lgan holatdagi asinxron motorli elektr yuritmaning tezlik bo`yicha yopiq rostlash tizimi

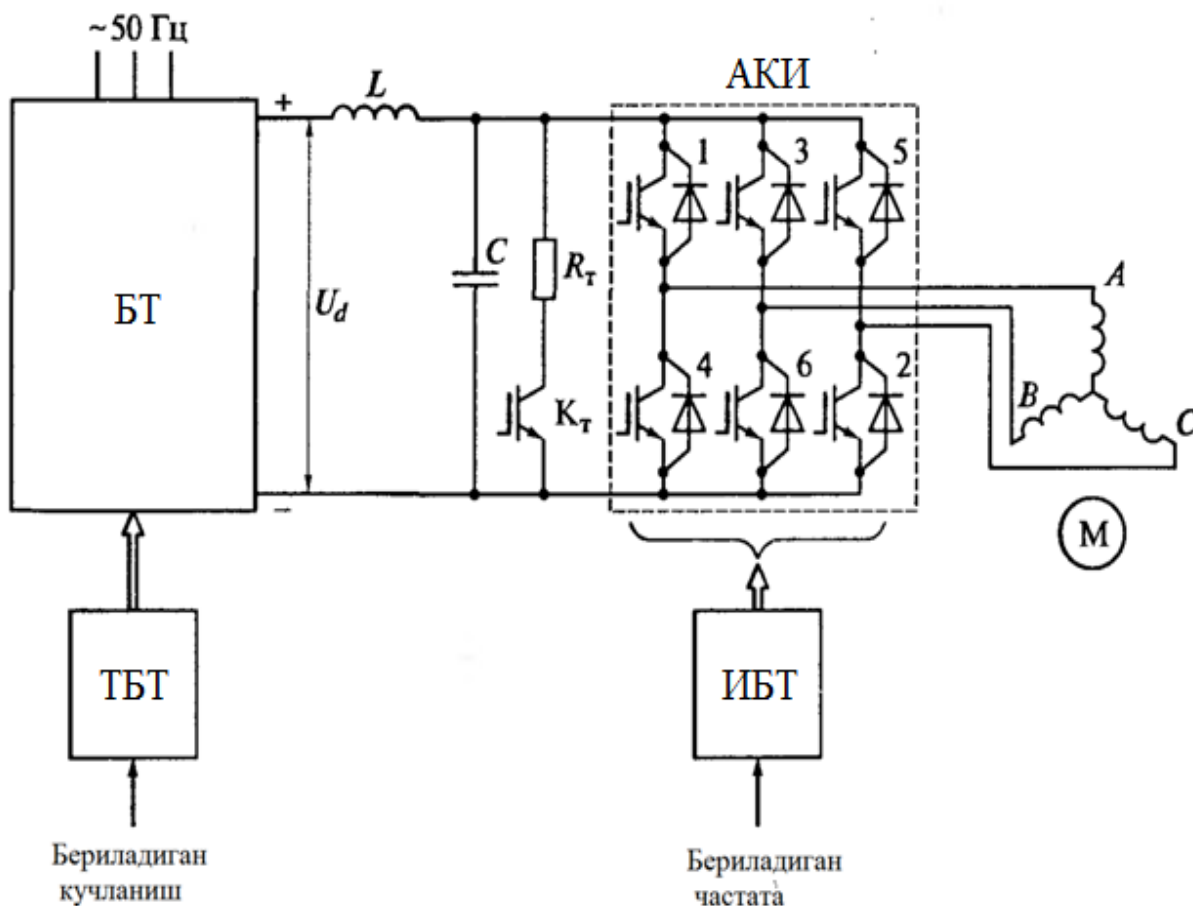
Asinxron dvigatelning stator cho`lg`amida ishlovchi chastota o`zgartirgich 3.1 rasmda tasvirlangan. Uning tarkibiga kiruvchi elementlar: invertorni boshkarish tizimi (IBT) bo`lgan avtonom kuchlanish inverteri (AKI) va boshqariluvchi to`g`rilagich (BT). To`g`rilagichning chiqishida to`g`rilangan kuchlanish  $U_d$  ni silliqlovchi  $LC$ -fil`tr qo`yilgan. Dvigatelni tormoz rejimiga o`tkazadigan  $K_T$  kalit ulangan tormoz rezistori  $R_T$  da tormozlash energiyasi sochiladi. Sanoat qurilmalarida boshqariluvchi to`g`rilagich chastotasi 50 Gts bo`lgan o`zgaruvchan tok tarmog`idan ta`minot oladi. Uning uchun boshqaruvchi ta`sir, to`g`rilagich bilan boshqariladigan tizim (TBT) kirishiga beriladigan kuchlanish signali hisoblanadi.

Invertorning kuch qismidagi keng ko`p tarqalgan sxema uch fazali ko`priksimon sxema hisoblanib, rasmda u 1...6 raqamlar bilan belgilangan oltita boshqariluvchi kalitlar iborat (3.1-rasmga q.). Ushbu kalitlar ikkitomonlama o`tkazuvchanlikni ta`minlashi kerak. Hozirgi vaqtda bu kalitlar uchun odatda tokning to`g`ri yo`nalishda, kuchlanish  $U_d$  ning plusidan munisi qarab oqishini ta`minlovchi tranzistorlar ishlatiladi. Teskari o`tkazuvchanlik tranzistorlarga teskari tok diodlarni paralel ulash orqali amalga oshiriladi. Ular yordamida tranzistorlarning kommutatsiya jarayonlari va dvigatelning tormoz rejimlari uchun teskari tok oqadigan zanjir hosil qilinadi.

O`zgartirgich chiqishidagi  $\omega_{0el}$  chastotani boshqarish invertorning boshqarish tizimiga ta`sir ko`rsatish orqali amalga oshiriladi. Invertorning boshkarish tizimida chastota berilayotgan signal doimiy boshqarish signallariga aylantirilib o`rnatilgan algaritmga mos ravishda invertordagi tranzistorlarga beriladi. Invertor chiqishidagi o`zgaruvchan tok kuchlanishining amplituda qiymati o`zgartirgichdagi chiqish kuchlanishi shakllanadigan to`g`rilangan kuchlanish qiymati bilan aniqlanadi.

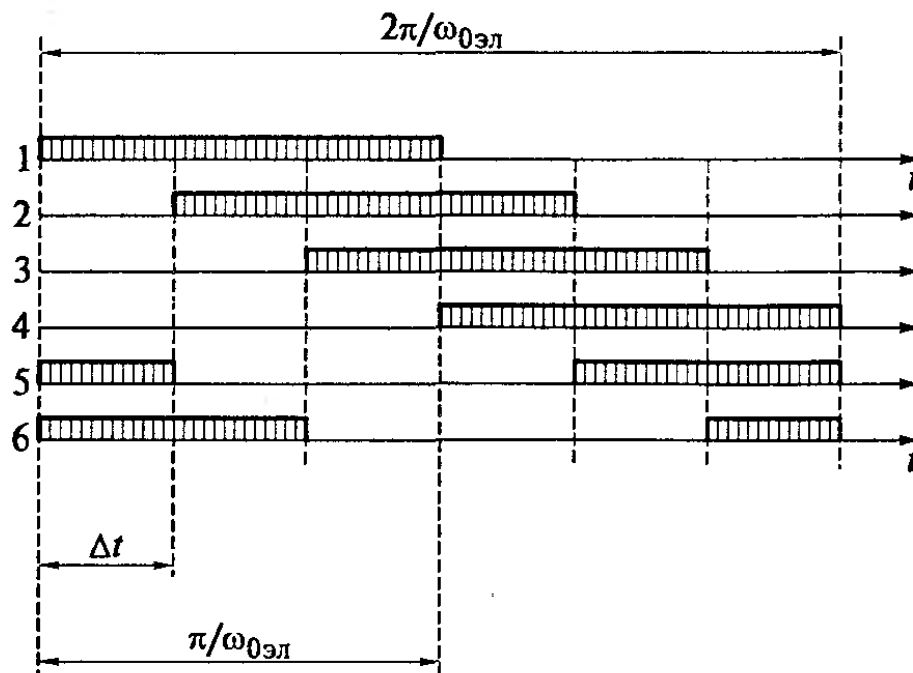
Kalitlar zanjir holatining burchak davomiyligi  $\pi$  ga teng bo`lgandagi inverter kalitlar holatining diagrammasi 3.2-rasmda ko`rsatilgan. Vaqtning har bir momentida uchta kalit ulanadi. Kalitlar holati davrning har oltidan bir qismi oralig`ida o`zgaradi, uning davomiyligi vaqt birligi  $\Delta t$  da inverter chiqishidagi berilayotgan chastota qiymati bilan aniqlanadi;  $\Delta t = \pi/(3\omega_{0el})$ . SHunday qilib, invertorni boshqarish tizimidagi berilayotgan chastota signalining o`zgarishi ushbu davomiyligni o`zgarishiga olib keladi, chiqishdagi kuchlanish chastotasi  $\omega_{0el}$

o`zgaradi. 1-2-3-4-5-6 kalitlarning ketma-ket ulanishlari (3.2-rasmga q.) dvigatelning ma`lum yo`nalishda aylanishiga mos keladi. Uni o`zgartirish uchun bu ketma-ketlikni teskarisiga o`zgartirish kerak. Diagrammadan ko`rinib turibdiki, kalitlarning oltida nolinch holati mavjudki, unda hamma vaqt ikkita juft va bitta toq yoki bitta juft va ikkita toq kalitlar ulangan. Bulardan tashqari yana ikkita nolinch holat qo`llaniladi, unda 1-3-5 yoki 2-4-6 kalitlar ulangan bo`ladi va qachonki statorning hamma uch fazasi yo to`g`rilagichning musbat qutbiga yo manfiy qutbiga ulanganda.



3.1-rasm. O`zgarmas tok zvenoli va boshqariluvchi to`g`rilagichli chastota o`zgartirgichning strukturasi

Invertor kalitlarining hamma sakkiz holatlari 3.1-jadvalda ko`rsatilgan. Unda ulangan kalitlarning raqamlari, stator faza toklarining ulanish sxemasi va faza kuchlanishlari sxemasi ko`rsatilgan.



3.2-rasm. Invertor kalitlar holatining diagrammasi

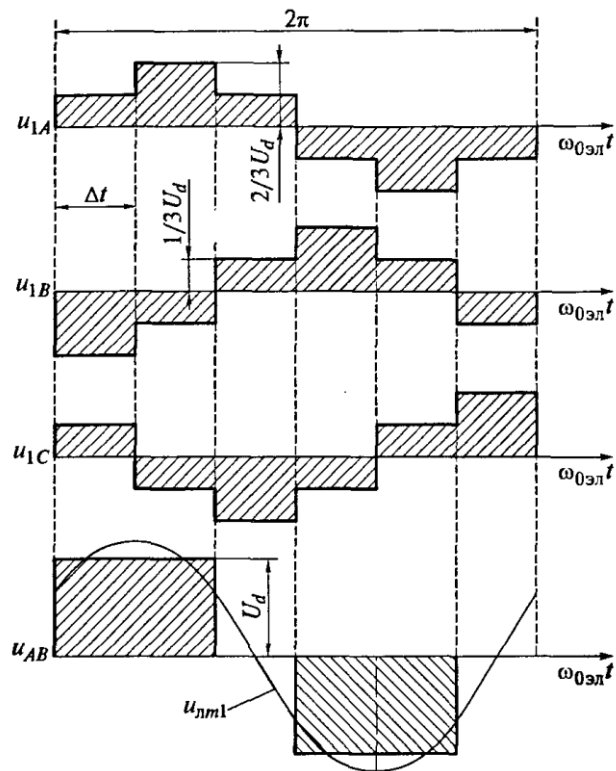
Har olti nolinch holatda statorning ikki cho'lg'ami paralel ulanib ular uchinchi cho'lg'am bilan ketma-ket ulangan. SHuning uchun paralel ulangan cho'lg'amlarga qiymati  $(1/3)U_d$  ga teng bo'lgan kuchlanish ta'sir qiladi, shuningdek ular bilan ketma-ket ulangan cho'lg'amga esa qiymati  $(2/3)U_d$  ga teng bo'lgan kuchlanish ta'sir qiladi. 3.3-rasmda  $u_{1A}, u_{1B}, u_{1C}$  faza kuchlanishlari ko'rsatilgan, ularning davrning har oltidan bir qismidagi qiymatlari 3.1-jadvalga mos ravishda aniqlanadi. SHuningdek ramsda  $u_{AV} = u_{1A} - u_{1V}$  formula bilan aniqlanadigan liniya kuchlanishlardan biri  $u_{AV}$  keltirilgan. O'zgartirgich chiqishidagi kuchlanishning shakllanishi to'g'rilagich chiqishidagi  $U_d$  kuchlanishga bog'liq bo'lganligi sababli, to'g'rilagich boqarish tizimi kirishidagi berilayotgan signalning o'zgarishi natijasi chastota o'zgartirgich chiqishidagi kuchlanishni proportsional o'zgarishiga olib keladi.

3.3-rasmda keltirilgan liniya kuchlanishini ikkinchi va uchinchi darajali garmoniklari bo'lmagan garmonik tashqil etuvchilarning yig'indisi ko'rinishda tasvirlash mumkin [53]:

$$u_{AV}(v) = \frac{2\sqrt{3}}{\pi} U_d \left( \sin v' - \frac{1}{5} \sin 5v' - \frac{1}{7} \sin 7v' + \frac{1}{11} \sin 11v' + \dots \right);$$

$$v = \omega_{0el}t; \quad v' = \omega_{0el}t + \pi/6.$$

Liniya kuchlanishining birinchi garmonikasi  $u_{l1} = f(\omega_{0el}t)$  (3.3-rasmga q.) qiymati  $U_{lm1} \approx (1,1)U_d$  ga teng bo'lgan amplitudaga ega. Faza kuchlanishi birinchi garmonikasining amplitudasi esa  $U_{fm1} \approx (0,637)U_d$  ga teng bo'ladi.



3.3-rasm. Invertor chiqishidagi kuchlanishning shakli

Agar avtonom invertor ikki tomonlama oʻtkazuvchanlikka ega boʻlgan oʻzgarmas kuchlanish manbaidan (toʻgʻrilagichdan) taʼminot olayotgan boʻlsa, unda oʻzgartirgich chiqishidagi chastotani kamayishi dvigatelni rekuarativ tormozlashga olib keladi. Agar toʻgʻrilagichdan foydalanilsa, unda u quvvat oqimini dvigateldan tarmoqqa oʻtkazmaydi. SHuning uchun tormozlash rejimini taʼminlashda sxemada  $R_T$  rezistor qoʻllaniladi (3.1rasmga q). Motorda tormozli rejim sodir boʻladigan boʻlsa,  $K_T$  kalit ulanadi va tormoz energiyasi tormoz rezistorida sochiladi.

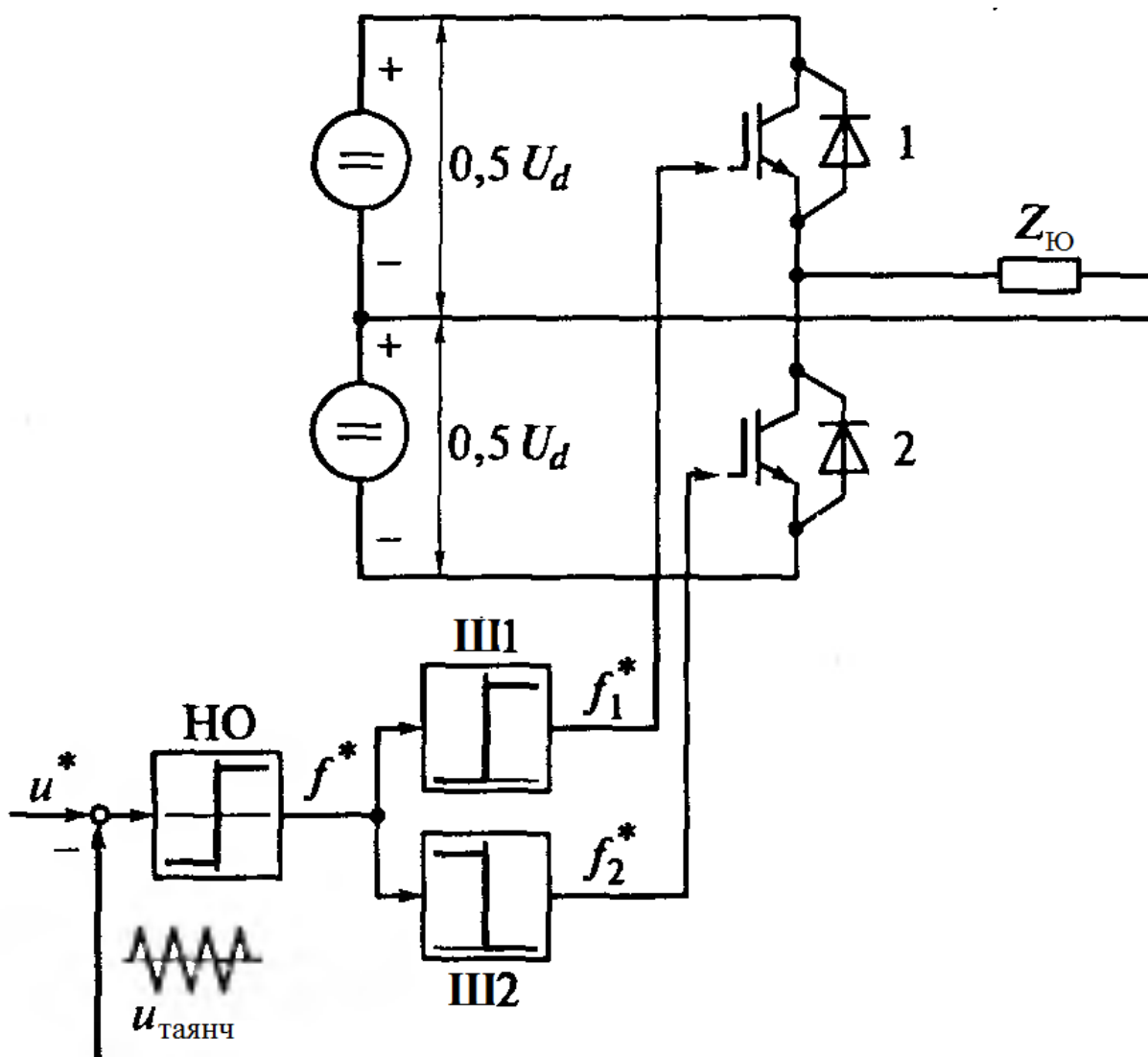
CHiqish kuchlanishining nosinusoidaligi stator choʻlgʻamidagi tokning nosinusoidaligiga va motor momentining pulsatsiyasiga olib keladi. Bu pulsatsiyalar ayniqsa past chastotada va mexanizmning uncha katta boʻlmagan inertsiya momentida kuchli namoyon boʻladi. Unda ushbu motorlar notyokis aylanuvchi motorlar deb, baʼzida motor toʻxtashlar bilan aylanganda qadamli rejimda ishlovchi motorlar deb ataladi. SHunday qilib, toʻgʻrilagich chiqishidagi kuchlanishning nosinusoidal xarakteri yuritma tezligining roslash diapozonini imkoniyatlarini chegaralanishiga olib keladi. Bundan tashqari, stator toki egri chizigʻidagi yuqori garmonigalarning mavjudligi motordagi energiya isroflarining oshishiga olib keladi. SHuning uchun, keyingi yillarda oʻzgarmas tok zvenoli chastota oʻzgartirgichlar keng qoʻllanilmoqdagi, qaysikim ularda keng-impulsi modulyatsiya (KIM) qoʻllanishligi bilan stator tokining shakli sinusoidalikka yaqin boʻladi.

**Invertor kalitlari turli holatlari va unga mos keluvchi faza kuchlanishi  
qiymatlarida stator cho'lg'aming ulanish sxemasi**

Калиплар уланishi	Статор чўлгамининг уланish sxemasi	Фаза кучланишлари		
		$\frac{u_{1A}}{U_d}$	$\frac{u_{1B}}{U_d}$	$\frac{u_{1C}}{U_d}$
5-6-1		$+\frac{1}{3}$	$-\frac{2}{3}$	$+\frac{1}{3}$
6-1-2		$+\frac{2}{3}$	$-\frac{1}{3}$	$-\frac{1}{3}$
1-2-3		$+\frac{1}{3}$	$+\frac{1}{3}$	$-\frac{2}{3}$
2-3-4		$-\frac{1}{3}$	$+\frac{2}{3}$	$-\frac{1}{3}$
3-4-5		$-\frac{2}{3}$	$+\frac{1}{3}$	$+\frac{1}{3}$
4-5-6		$-\frac{1}{3}$	$-\frac{1}{3}$	$+\frac{2}{3}$
1-3-5		0	0	0
2-4-6		0	0	0

### 3.2. Rotordagi oqim ilashuvi domiy boʻlgan holdagi asinxron motorli elektr yuritmaning tezlik boʻyicha yopiq rostdash tizimi

KIM chastota oʻzgartirgichning eng koʻp tarqalgan turi oʻzgarmas tok zvenosida boshqarilmaydigan toʻgʻrilagichli oʻzgartirgich hisoblanadi. Bunda invertorning kirishdagi kuchlanish oʻzgarmaydi, chiqish kuchlanishini rostdash keng-impulslı modulyatsiya usuli yordamida amalga oshiraladi. Bunday toʻgʻrilagichlar zatvori izoyatsiyalangan IGTB (Insulated Gate Bipolar Transistor) katta quvvatli bipolyar tranzistorlar ishlab chiqarilgandan keyin ishlab chiqarila boshlandi. IGTB bu yuqori kuchlanishli n-kanalli maydonli tranzistor orqali boshqariladigan p-n-p tranzistordir. IGTB ning afzalliklari: Ruksat etilgan tok zichligining yuqoriligi, kuchlanishni boshqarish MOP tranzistorlarnikidek, impuls rejimida isroflarning pastligi. IGTB tranzistorlarning keltirilgan afzallik tomonlari ularni KIM oʻzgartirgichlarda keng qoʻllanilishiga olib keldi.



3.4-rasm. Keng-impulslı modulyatsiyali bir fazali invertorning tuzilmasi

KIM ni ishlash printsipini 3.4-rasmda koʻrsatilganidek oʻzgarmas kuchlanish manbaidan taʼminot olayotgan bir fazali inverter misolida tushuntirish oson. Aktiv-





$$U = 0,5U_d \left(1 - \frac{2T_2}{T_{KIM}}\right);$$

$$T_{KIM} = T_1 + T_2 = f_{KIM}^{-1},$$

bu erda,  $T_1, T_2$ - mos ravishda 1 va 2 kalitlarning ulanish oralig'i;  $T_{KIM}$  –keng-impulsli modulyatsiya davri, sek;  $f_{KIM}$ - KIM chastotasi, Gts.

Invertor tavsiflarining ishchi qismidagi  $abcva ab'c'$  uchburchaklardan foydalanib  $|u^*| < U_{tayanchnm}$ , hol uchun quyidagini yozish mumkin:

$$\frac{T_2}{T_{KIM}} = \frac{U_{tayanchnm} - u^*}{2U_{tayanchnm}}$$

Bundan  $U$  kuchlanish uchun yuqoriga keltirilgan ifodani hisobga quyidagini yozib olishimiz mumkin:

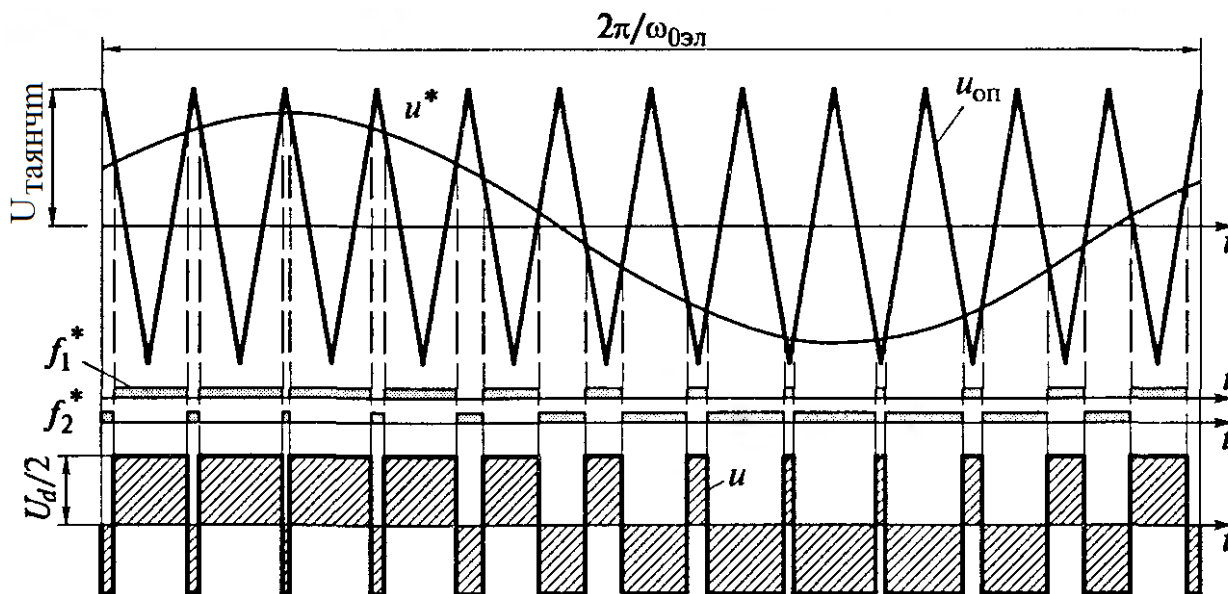
$$U = \frac{0,5U_d}{U_{tayanchnm}} u^* = k_i u^*,$$

bu erda  $k_i - |u^*| < U_{tayanchnm}$  bo`lgan hol uchun tavsifning chiziqli qismidagi invertorning uzatish koeffitsienti.

Invertorning roslash xarakteristikasi  $U = f(u^*)$  dan ko`rinib turibdiki (3.5b-rasm),  $0,5U_d$  sathda chiqishdagi kuchlanishning og`masligini ta`minlash uchun beriluvchi signal  $u^*$  tayanch kuchlanishning maksimal qiymati  $U_{tayanchnm}$  dan oshmasligi kerak. Invertorli boshqarish tizimda tranzistorning yopilish xususiyatini tiklash uchun bir kalitning ulanishi va ikkinchi kalitning uzilishi oralig'ida qisqa muddatli to`xtalishlar bo`lishi kerak. Aks holda tranzistor ishdan chiqishi mumkin.

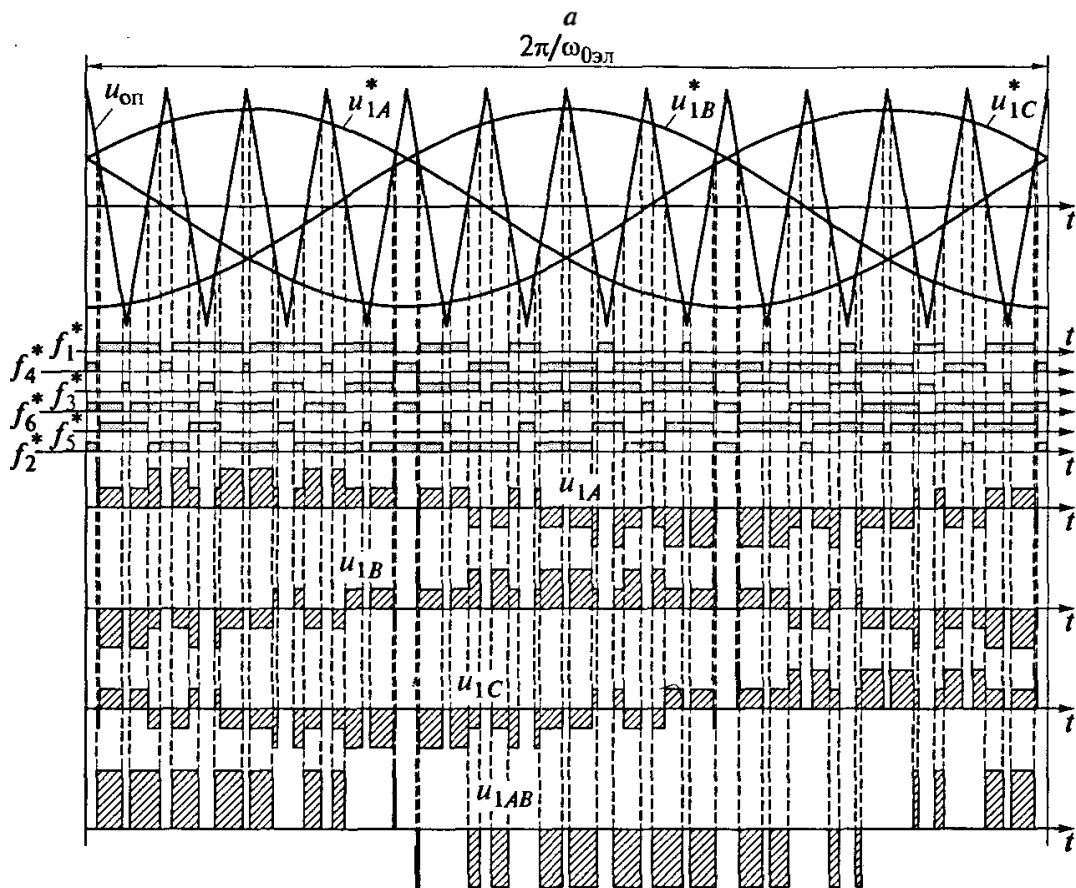
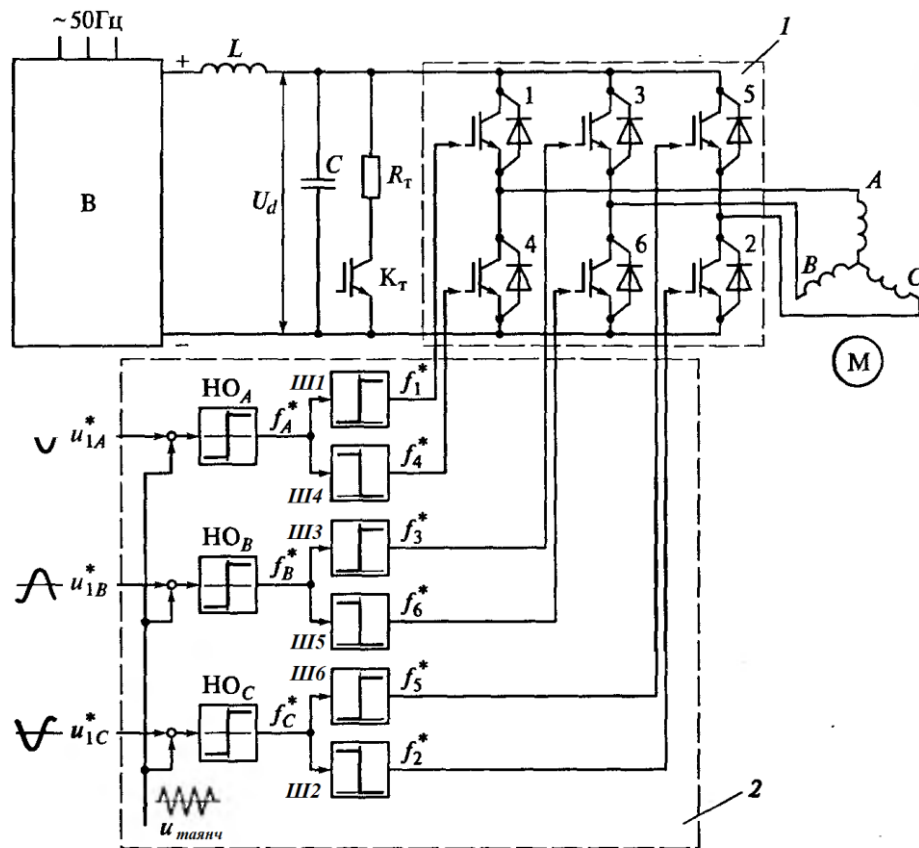
Agar boshqaruvchi signal  $\omega_{0el}$  chastotali sinusoid bo`lsa, unda qaralayotgan  $t \geq \pi/\omega_{0el}$  vaqtda invertor chiqishidagi kuchlanish garmonik egri chiziqdan tashqil topadi. Bu egri chiziq birinchi garmonikasi (boshqaruvchi signal chastota) bilan bir qatorda bir qancha yuqori garmonik tashqil etuvchilardan iborat bo`ladi. SHunday qilib, agar beriluvchi signal  $u^*$  amplitudasi tayanch kuchlanishning maksimal qiymati  $U_{tayanchnm}$  dan oshmasa, unda invertor chiqishidagi kuchlanishning birinchi garmonikasi belgilangan oraliqda boshqaruvchi signalni qaytaradi. Uning chastotasining o`zgarishi invertor chiqishidagi kuchlanishning o`zgarishiga olib keladi. O`zgarmas chastotada boshqaruvchi signal amplitudasining o`zgarishi chiqishda kuchlanishning musbat va manfiy impulslar davomiyligining nisbatini o`zgarishiga olib keladi, ya`ni uning birinchi garmonikasining amplitudasi o`zgaradi (3.6-rasmga qarang). 3.6-rasmda tasvirlangan grafik ushbu jarayonni tushinish uchun soddalashtirilgan, ya`ni tayanch kuchlanish chastotasi boshqaruvchi signal chastotasidan bor yog'i 12 marta katta deb olingan. Aslini olganda zamonaviy invertorlarda normal chiqish kuchlanish chastotasi  $f_n = \omega_{0el.n}/(2\pi) = 50$  bo`lganda, tayanch kuchlanish chastotasi (KIM chastosi) bir necha o`n kilogertsni tashqil qilishi mumkin. KIM

ning yuqori chastotalarida va aktiv-induktiv yuklamada stator cho'lg'aming qaydanligidan qay'iy nazar, yuklama toki sinusoidal bo'ladi.



3.6-rasm. Bir fazali invertor misolidagi keng-impulsi modulyatsiyaning prinsipi

Lekin bunda KIM chastotasining oshishi bilan bog'liq bo'lgan bir qator manfiy effektlarni ham hisobga olish kerak bo'ladi, masalan boshqa elektrotexnik va radiotexnik qurilmalarga ta'sir ko'rsatuvchi elektromagnit shoqinlar va motor cho'lg'aming izolyatsiyasi uchun xafli bo'lgan yuklama zanjiridagi o'ta kuchlanishning hosil bo'lishi. Ushbu manfiy effektlarga qarshi kurash vositalari sifatida quyidagilarni aytish mumkin: yuqori sifatli izolyatsiyali motorlarning qo'llanilishi; ekranli kabellarni va maxsus filtrlarni qo'llanilishi; kommunikatsiya davomiyligini cheklash; kuch kabellari va boshqaruv kabellari orasiga ajratuvchi materiallar joylashtirish.



б

3.7-rasm. Uch fazali inverterli va keng-impulsi modulyatsiyali chastota o'zgartirgich a-o'zgartirgich tuzilmasi; 1-avtonom kuchlanish inverteri; 2-AKU boshqarish tizimi; b-chiqishdagi kuchlanishning shaklanishi

Invertorning uch fazali ko`prik sxemasida (3.7a-rasm) tranzistorli kalitli uchta elka mavjud bo`lib, ularning har biri bir fazali invertor elkasiga o`xshashdi (3.4-rasmga q.). Har bir elkaning o`rta nuqtasida agar stator cho`lg`amlari yulduz usulida ulangan bo`lsa dvigatel statori faza cho`lg`amining bosh uchlari, agar stator cho`lg`amlari uchburchak usulida ulangan bo`lsa uchburchakning burchaklari ulanadi. Sxemaning tarkibida barcha uch faza uchun bitta umumiy bo`lgan arrasimon tayanch kuchlanish  $u_{tayanch}$  mavjud. Boshqaruvchi signallar  $u_{1A}^*$ ,  $u_{1B}^*$ ,  $u_{1C}^*$  bir-biridan  $120^0$  ga siljigan uch fazali sinusoidal kuchlanishlar tizimidir. Invertor chiqishidagi kuchlanish chastotasini o`zgarishi boshqaruvchi silnallarning chastotasini o`zgartirish orqali, amplitudasini o`zgartirish esa ularning amplitudalarini o`zgartirish orqali amalga oshiriladi.

3.7b-rasmda yulduz usulida ulangan yuklama fazalarida uch fazali kuchlanishning qanday shakllanishi ko`rsatilgan. Rasmda shtrixlangan gorizontal chiziqlar bilan  $f_1^* - f_6^*$  signal holatlari va mos ravishda 1 – 6 kalitlarning ulanish holatlari belgilangan. SHuningdek bir fazali invertorni tahlilida bajarilganidek, ularning  $u_{1A}^* - u_{tayanch}$ ,  $u_{1B}^* - u_{tayanch}$ ,  $u_{1C}^* - u_{tayanch}$  ishoralar farqiga bog`lanishi ham aniqlangan. CHiqishdagi faza kuchlanish besh xil turli qiymatlarni qabul qilishi mumkin:  $+(2/3)U_d$ ;  $+(1/3)U_d$ ;  $0$ ;  $-(1/3)U_d$ ;  $-(2/3)U_d$ . Tayanch kuchlanishi  $u_{tayanch}$  grafigibilan  $u_{1A}^*$ ,  $u_{1B}^*$ ,  $u_{1C}^*$  egri chiziqlarining kesishgan nuqtasidan o`tkazilgan shtrixlangan vertikal chiziqlar bilan chegaralangan vaqtning har bir oralig`ida faza kuchlanishining oniy qiymatini aniqlash uchun 3.1-jadvaldagi kattaliklardan foydalanish kerak. CHapdagi eng chetgi vaqt oralig`ida (3.7,b rasmga q.) 2-,4- va 6- kalitlar ulangan bo`ladi, bu esa chiqishdagi kuchlanishlarning nolga teng bo`lganiga mos keladi:  $u_{1A} = u_{1B} = u_{1C} = 0$ . Bundan keyingi vaqt oralig`ida esa 5-, 6- va 1-kalitlar ulanadi. Bunda  $u_{1B} = -(2/3)U_d$ ;  $u_{1A} = u_{1C} = (1/3)U_d$  va hokazo. A va B fazalar orasidagi liniya kuchlanishi  $u_{1AB} = u_{1A} - u_{1B}$  kabi aniqlanadi. Takidlash joizgi, qaralayotgan sxemaning ishchi algoritmi xuddi bir fazali invertorning ishchi algoritmi kabi ko`prik bitta elkasining ikkala kalitini bir vaqtning o`zida ulanish imkonini bermaydi. Bundan tashqari, kuchlanish grafigida shunday sohalar mavjudgi, ularda bir vaqtning o`zida hamma toq yoki hamma juft kalitlar ulangan bo`ladi, natijada kuchlanishning qiymati ushbu sohalarida nolga teng bo`ladi.

Beriluvchi signal amplitudasi  $u^*$  bilan tayanch kuchlanish  $U_{tayanch}$  ning maksimal qiymati teng bo`lganda invertor chiqishidagi kuchlanishning birinchi garmonikasi amplitudasi  $0,5U_d$  teng bo`ladi.

Qurilgan kuchlanish grafigi yaqqolroq tasavvur qilish uchun KIM chastotasi va invertor chiqishidagi kuchlanish chastotasi  $\omega_{oel}$  ning nisbati xuddi bir fazali invertorni tahlil qilingaidek nisbata olingan (3.6-rasmga q.). Oldin bayon qilinganidek KIM ning yuqori chastotalarida va aktiv-induktiv yuklamada stator cho`lg`amining qaydanligidan qay`iy nazar, yuklama toki sinusoidal bo`lishi uch fazali invertorga ham ta`luqlidir.

YAqqol ko`rinib turadigan arrasimon tayanch kuchlanishli inverter sxemasining tahlili analogli shaklda ham, mikroprotessorli texnikani qo`llab raqamli shaklda ham ifodalanishi mumkin. Hozirda mikroprotessorli texnikaga yo`naltirilgan maxsus keng-impulsi modulyatsiya vektorli algoritmlar ishlab chiqilgan va qo`llanilmoqda.

### 3.3. Asinxron motorni vektorli boshqarishda va oqim modeli bo`yicha rotor oqim ilashuvini aniqlashda elektr yuritma tezligini rostdash tizimi

Keng-impulsi modulyatsiya vektorlining ishlash printsipining asosida kuchlanishning baza vektorlari deb nomlanadigan tasavvur yotadi, ya`ni avtonom kuchlanish inverterining chiqishiga ta`sir qiluvchi kuchlanishning uch fazasidan shakllanuvchi fazoviy vektorlar yotadi. CHiqishdagi kuchlanish vektori umumiy qoidalarga mos ravishda aniqlanadi:

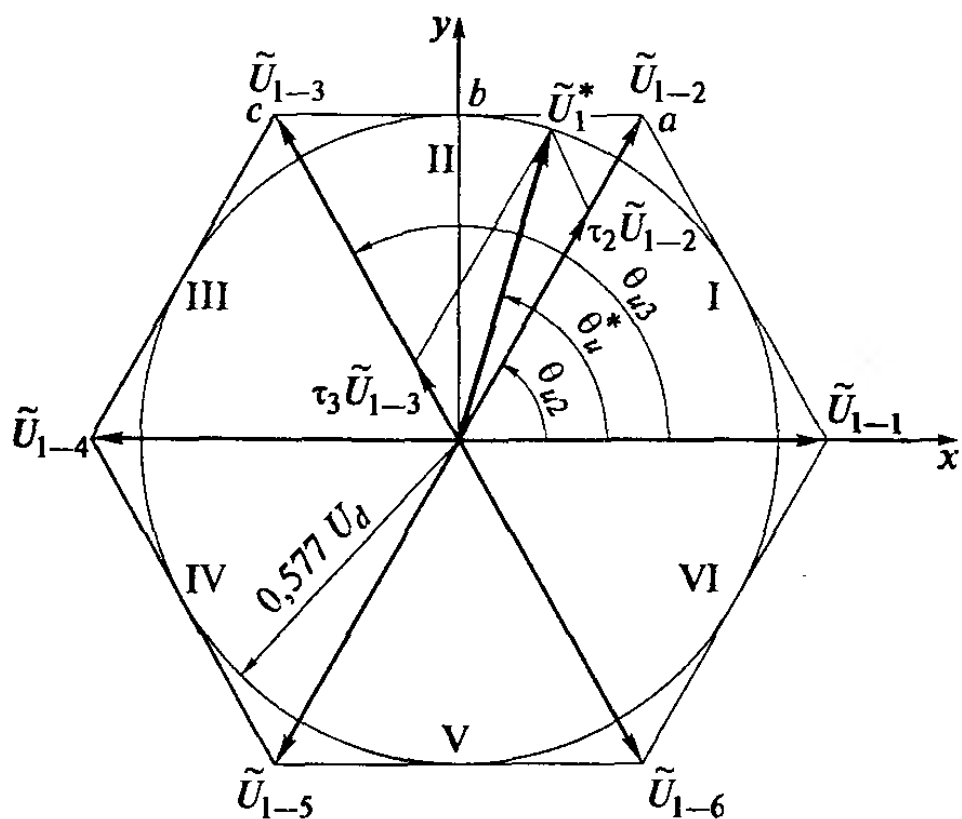
$$\tilde{U}_1 = \mathbf{a}\mathbf{u}_1;$$

$$\mathbf{a} = (2/3)[1 - 1/2 + j\sqrt{3}/2 - 1/2 - j\sqrt{3}/2]; \mathbf{u}_1 = [u_{1A} \ u_{1B} \ u_{1C}]^T,$$

bu erda  $\mathbf{a}$  –qatorli matritsa;  $\mathbf{u}_1$  –kuchlanish baza vektorining ustunli matritsasi.

$u_{1A}, u_{1B}, u_{1C}$  kuchlanishlarning har biri mumkin bo`lgan besh xil qiymatdan birini qabul qilishi mumkin:  $\pm(2/3)U_d; \pm(1/3)U_d; 0$ . Barqarorlashgan rejimda elektrik fazoda bir tyokis aylanadigan fazoviy vektorlardan farqli ravishda, inverter kalitlar holatlarining nol bo`lmagan ulanish kombinatsiyasining mumkin bo`lgan olti imkoniyati (3.1-jadvalga q.) chiqish kuchlanishi fazoviy vektorining oltita fiksatsiyalangan holatini hosil qiladi. Vektor inverter kalitlari har birining ketma-ket ulanishida bir holatdan ikkinchi holatga sakrab o`tadiva  $60^\circ$  ga buriladi. Fazoviy vektorning har olti holati mustaqqil vektor sifatida qaraladi. Bundan tashqari, ikkita holat mavjudki, bunda inverterning hamma toq guruh kalitlari yoki hamma juft guruh kalitlari ulangan bo`ladi. Bu holatda chiqishdagi kuchlanish nolga teng bo`ladi. Nol bo`lmagan vektorlarga mos ravishda kalitlarning bunday holatlariga nolinch vektor mos keladi. Olti nol bo`lmagan vektor va ikkita nolinch vektor kuchlanishning baza vektorlari deb ataladi.

Masalan, inverter 6 – 1 – 2 kalitlarining ulanish holatlariga mos keluvchi vektorni olish uchun 3.1-javaldan foydalanib,  $\mathbf{u}_1$ ustunli matritsaga  $u_{1A} = (2/3)U_d; u_{1B} = u_{1C} = -(1/3)U_d$  qiymatni qo`yish kerak. Olingan vektor  $x - y$ qo`zg`almas koordinata tizimi  $u_{1x} = (2/3)U_d; u_{1y} = 0$ bo`lganda  $\tilde{U}_{1-1} = u_{1x} + ju_{1y}$  kabi yoziladi. Boshqa bazoviy vektorlar uchun hisoblashlar natijasi 3.2-jadvalga keltirilgan. Barcha nol bo`lmagan baza vektorlar  $\tilde{U}_{1-1} - \tilde{U}_{1-6}$  3.8-rasmda qo`rsatilgan. Ular orasidagi sektorlar rim raqamlari bilan belgilangan.



3.8-rasm. Kuchlanishning baza vektori

Bir bazali vektordan keyingisiga ketma-ket o'tish faza kuchlanishlarning zinasimon shakliga mos keladi (3.3-rasmga q). Faza kuchlanishlari shaklini sinusoidallikka yaqinroq olish uchun kuchlanishning fazoviy vektori mutlaq silliq bo'lmasa ham hech bo'lmaganda kichik sakrashlar bilan harakat qilib, nafaqat mos holdagi bazaviy vektorlar holatini, balki ular orasidagi bir qator holatlarni ham egallasin. Buni amalga oshirish uchun esa keng-impulsi modulyatsiya har bir davrining ichida bitta boshlang'ich baza vektori emas, balki boshlang'ich va undan keyingi nol bo'lmagan baza vektorining shuningdek nol vektorlarning birining chiziqli kombinatsiyasidan foyalanish kerak. Faraz qilaylik, berilgan  $\tilde{U}_1^*$  vektor II sektorda joylashgan bo'lsin (3.8-rasmga qarang). Unda ulanib-uzilish  $\tilde{U}_{1-2}$ ,  $\tilde{U}_{1-3}$  va nol vektor  $\tilde{U}_{1-0}$  orasida ruy beradi, ya'ni invertor 1 – 2 – 3, 2 – 3 – 4 va 1 – 3 – 5 kalitlarning ulanish oralig'ida sodir bo'ladi (3.2-jadvalga q.).

3.2-jadval

Baza vektori	Baza vektorlari		Baza vektorining qo'zg'almas koordinata tizimi o'qidagi proektsiyasi	
	Kalitlarning ulanishi		$u_{1x}/U_d$	$u_{1y}/U_d$
	toq guruh	juft guruh		
$\tilde{U}_{1-0}$	Yo'q	2,4,6	-	-
$\tilde{U}_{1-1}$	1	2,6	2/3	0

$\tilde{U}_{1-2}$	1,3	2	$0,5 \times 2/3$	$0,866 \times 2/3$
$\tilde{U}_{1-3}$	3	2,4	$-0,5 \times 2/3$	$0,866 \times 2/3$
$\tilde{U}_{1-4}$	3,5	4	$-2/3$	0
$\tilde{U}_{1-5}$	5	4,6	$-0,5 \times 2/3$	$0,866 \times 2/3$
$\tilde{U}_{1-6}$	5,1	6	$0,5 \times 2/3$	$-0,866 \times 2/3$
$\tilde{U}_{1-0}$	1,3,5	Yo`q	-	-

Invertorni boshqarish masalasi quyidaga tarzda ifodalanadi: Berilgan vaqt momentida kuchlanish fazoviy vektori  $\tilde{U}_1^*$  ning holati va uning moduli berilgan bo`lsin. Foydalaniladigan baza vektorlarga mos keluvchi inverter kalitlari ulanish kombinatsiyasining nisbiy davomiyligini aniqlovchi koeffitsient  $\tau_i$  ni topish talab qilinsin. Matematika nuqtai nazardan ushbu masala bir necha cheklovlarni hisobga olgan algebraik tenglamalarni echimini izlashga yo`naltirilgan bo`ladi. Uning echimi [53] ishda keltirilgan. Masalan, berilgan kuchlanishning fazoviy vektori II sektorda joylashgan bo`lsa, tenglamalar tizimi quyidagicha bo`ladi:

$$\tilde{U}_1 = \tau_2 \tilde{U}_{1-2} + \tau_3 \tilde{U}_{1-3} + \tau_0 \tilde{U}_{1-0}; \quad (3.1)$$

$$\tilde{U}_1 = \tilde{U}_1^*; \quad (3.2)$$

$$\tau_0 + \tau_2 + \tau_3 = 1, \quad (3.3)$$

bu erda  $\tau_2, \tau_3, \tau_0 - \tilde{U}_{1-2}, \tilde{U}_{1-3}$  va  $\tilde{U}_{1-0}$  bazaviy vektorlarga mos keluvchi inverter 1 – 2 – 3, 2 – 3 – 4 va 1 – 3 – 5 kalitlarning ulanish kombinatsiyasining nisbiy davomiyligi.

$\tau_2, \tau_3, \tau_0$  nisbiy davomiylilik quyidagi tarza topiladi:

$$\tau_2 = t_2/T_{SHIM}; \quad \tau_3 = t_3/T_{SHIM}; \quad \tau_0 = t_0/T_{SHIM},$$

bu erda  $t_2, t_3, t_0 - T_{SHIM}$  vaqt mobaynida ushbu vektorlar ulanishining vaqt oralig'i.

(3.1) tenglama kulanish fazo vektori  $\tilde{U}_1$  ning o`rtacha qiymatini tashqil etuvchi vektorlarning chiziqli kombinatsiyasi sifatida aniqlaydi, (3.2) ifoda esa o`rtacha kuchlanishning vektori berilgan  $\tilde{U}_1^*$  vektorga teng bo`lishligini anglatadi. (3.3) tenglama esa  $t_2 + t_3 + t_0$  vaqt oraliqlarining yig'indisi KIM davriga teng bo`lishligini anglatadi. Keltirilgan tenglamalarga qo`shimcha cheglovlar kiriladiki, unga ko`ra nisbiy ulanish davomiyligi manfiy bo`lmaydi:

$$0 \leq \tau_2 \leq 1; \quad 0 \leq \tau_3 \leq 1; \quad 0 \leq \tau_0 \leq 1.$$

O`rtacha kuchlanish vektorini  $\tilde{U}_1 = \tilde{U}_1^*$  va baza vektorlarini ularning qo`zg'almas koordinata tizimi o`qlaridagi proektsiyalari orqali quyidagicha yozib

$$\tilde{U}_1^* = u_{1x}^* + ju_{1y}^*; \quad \tilde{U}_{1-2} = u_{(1-2)x} + ju_{(1-2)y}; \quad \tilde{U}_{1-3} = u_{(1-3)x} + ju_{(1-3)y}$$



va  $\tilde{U}_{1-0}$  vektorining proektsiyasi nolga teng ekanligini nazarga tutgan holda, (3.1) tenglama asosida berilgan kuchlanish vektori uchun baza vektorlari proektsiyalari orqali yozilgan ifodasiga ega bo`lamiz:

$$\begin{aligned}u_{1x}^* &= \tau_2 u_{(1-2)x} + \tau_3 u_{(1-3)x}; \\ u_{1y}^* &= \tau_2 u_{(1-2)y} + \tau_3 u_{(1-3)y}.\end{aligned}$$

Ushbu tenglamalarni 3.8-rasmda tasvirlangan burchak kosinuslari orqali yozadigan bo`lsak tenglama quyidagi ko`rinishga ega bo`ladi:

$$\begin{aligned}U_1^* \cos \theta_u^* &= \tau_2 U \cos \theta_{u2} + \tau_3 U \cos \theta_{u3}; \\ U_1^* \sin \theta_u^* &= \tau_2 U \sin \theta_{u2} + \tau_3 U \sin \theta_{u3};\end{aligned}$$

bu erda  $U_1^*$  –berilgan kuchlanish fazoviy vektorining modili;  $U$  –baza vektori moduli,  $U = (2/3)U_d$ .

Oxirgi tenglamaga bir qator o`zgartirishlar olib borib,  $U_1^*$  vektorini topish uchun zarur bo`lgan invertor kalitlari ulanishlar holatlarining nisbiy davomiyligi uchun formulalarga ega bo`lamiz:

$$\begin{aligned}\tau_2 &= \frac{U_1^* \sin(\theta_{u3} - \theta_u^*)}{U \sin(\theta_{u3} - \theta_{u2})}; \\ \tau_3 &= \frac{U_1^* \sin(\theta_u^* - \theta_{u2})}{U \sin(\theta_{u3} - \theta_{u2})}.\end{aligned}$$

(3.3) tenglama asosida qidirilayotgan nolinchi vektor ulanishining nisbiy davomiyligini aniqlash mumkin:

$$\tau_0 = 1 - (\tau_2 + \tau_3). \quad (3.4)$$

**Misol.** Ma`lumki, baza vektorining moduli  $U = (2/3)U_d$  ga teng, berilgan kuchlanish vektori II sektorda joylashgan va  $x$  o`qiga nisbatan  $\theta_u^*$  burchakka burilgan. Qaralayotgan baza vektorlari va  $x$  o`qi orasidagi burchaklar  $\theta_{u2} = 60^0$ ;  $\theta_{u3} = 120^0$  bo`lsin, ya`ni  $\sin(\theta_{u3} - \theta_{u2}) = \sqrt{3}/2$ . Ushbu formulani hisobga olgan holda invertor kalitlari ulanish holatlarining nisbiy davomiyligi quyidagi ko`rinishga keladi:

$$\begin{aligned}\tau_2 &= \sqrt{3}(U_1^*/U_d) \sin(120^0 - \theta_u^*); \\ \tau_3 &= \sqrt{3}(U_1^*/U_d) \sin(\theta_u^* - 120^0).\end{aligned} \quad (3.5)$$

Berilgan kuchlanish vektorining moduli mumkin bo`lgan maksimal qiymatga ega bo`lgan holni qarashdan boshlaymiz. Bu holatda nolinchi vektor qo`llanilmaydi, ya`ni  $\tau_0 = 0$ . Quyidagi ko`rinishda yozilgan (3.3) tenglama

$$\sqrt{3}(U_1^*/U_d)[\sin(120^0 - \theta_u^*) + \sin(\theta_u^* - 60^0)] = 1,$$

berilgan fazoviy vektorning  $x$  o`qiga nisbatan burilish burchagiga bog`liq ravishda  $U_1^*/U_d$  ning maksimal qiymatini aniqlash uchun qo`llanilishi mumkin. Hisoblashlar natijasi 3.3-jadvalga keltirilgan. Ko`rinib turibdiki,  $U_1^*$  vektor uchlarining godografi (kerakli vektorni shaklanishida ishtirok etuvchi baza vektorlari uchlarini tutashtiruvchi chiziq)  $abc$  to`g`ri chiziq hisoblanadi (3.8-rasmga q.).

(3.5) formulalarda burchaklarning o`zi emas, burchaklar farqi rol o`ynaganligi bois, olingan natijalar nafaqat ikkinchi sektor uchun balki boshqa ixtiyoriy sektor uchun ham o`rinli bo`ladi. SHuning uchun, agar  $\tau_0 = 0$  bo`lsa, unda  $\theta_u^*$  burchakning 0 dan  $180^0$  gacha oralig`ida o`zgarishi holatidagi  $U_1^*$  vektor uchlarining godografi uchlarida baza vektorlarning uchlari turgan muntazam oltiburchakni tashqil qilgan.

3.3-jadval

		<b>II sektorda <math>\tau_0 = 0</math> holdagi kuchlanish vektori modulining qiymati</b>						
Kattalik	Belgilanishi	Kattaliklarning qiymatlari						
$\theta_u^*$	°	60	70	80	90	100	110	120
$U_1^*/U_d$	n.b.	0,667	0,614	0,586	0,577	0,586	0,614	0,667

Invertor chiqishidagi kuchlanishning shakli maksimal darajada sinusoidga yaqinlashishi uchun berilgan vektor uchlarining godografi aylanani tashqil qilishi kerak (3.8-rasmga q.). Buning uchun beriluvchi kuchlanish vektorining qiymatini maksimal uzunlikda  $U_{1m}^* = 0,577U_d$  tanlash kerak bo`ladi. Unda godograf aylanani tashqil qilgan bo`ladi (3.8-rasmga q.). Burchak  $\theta_u^*$  ning  $\theta_u^* = 30, 90, 150, 210$  va  $270^0$  qiymatlaridan tashqari qolgan barcha qiymatlarida berilgan vektorni shakllanishida nol vektorlardan biri ishtirok etishi kerak. Uni ulanishining nisbiy davomiyligi (3.5) ifoda bo`yicha hisoblangan  $\tau_2$  va  $\tau_3$  qiymatlarida (3.4) formula bo`yicha aniqlanadi. II sektorda joylashgan vektor uchun hisoblashlar natijasi 3.4-jadvalga keltirilgan.

3.4-jadval

**II sektorda  $U_1^* = U_{1m}^*$  va  $U_{1m}^*/U_d = 0,577$  holdagi baza vektorlari ulanishining nisbiy davomiyligi**

Kattalik	Belgilanishi	Kattaliklarning qiymatlari						
$\theta_u^*$	°	60	70	80	90	100	110	120
$\tau_2$	n.b.	0,866	0,765	0,642	0,5	0,342	0,173	0
$\tau_3$	n.b.	0	0,173	0,342	0,5	0,642	0,765	0,866

$\tau_0$	n.b.	0,134	0,062	0,016	0	0,016	0,062	0,134
----------	------	-------	-------	-------	---	-------	-------	-------

CHastotaviy rostdashda invertor chiqishidagi kuchlanishni o`zgartirish (3.5) formuladagi  $U_1^*$  kattalikni o`zgartirish orqali amalga oshiriladi. Agar kuchlanishni kamaytirish talabi berilsa, nol bo`lmagan vektorlar ulanishining nisbiy davomiyligi kamayadi, bu esa (3.4) ifodaga mos ravishda nol vektor ulanishining nisbiy davomiyligini oshishiga olib keladi va mos ravishda KIM bir davri mobaynida kuchlanishning o`rtacha qiymati kamayadi.

Vektorli KIM tadbiiq qilinishi mumkin bo`lgan algoritmlaridan biri [24] ishda bayon qilingan. KIM ning har bir davrida  $\tau_i$  va  $\tau_{i+1}$  qiymatlar hisoblanadi. Ular orqali ulanish sathlari  $US1 = \tau_i$  va  $US2 = \tau_i + \tau_{i+1}$  aniqlanib, ularni arrasimon signal bilan solishtirib baza vektorlarini ulash amalga oshiriladi. Ulab-uzish algoritmi quyidagi ketma-ketlikda bajariladi:

KIM har bir davrining boshida boshlang`ich baza vektorga mos keluvchi (qaralayotgan misolda  $\tilde{U}_{1-2}$ ) invertorning holati o`rnatiladi;

US1 sathi bilan birinchi solishtirish orqali ikkinchi baza vektoriga o`tish amalga oshiriladi (qaralayotgan misolda  $U_{1-3}$ );

US2 sathi bilan birinchi solishtirish nol vektor  $\tilde{U}_{1-2}$  ga o`tishni belgilaydi;

US2 sathi bilan ikkinchi solishtirishda oldingi holat tiklanadi ( $U_{1-3}$  vektor tiklanadi);

US1 sathi bilan ikkinchi solishtirishda  $\tilde{U}_{1-2}$  boshlang`ich holatga o`tish amalga oshiriladi.

O`zgartirgich chiqishida faza kuchlanishlarini uch fazali tizimining shakllanishi 3.9-rasmda ko`rsatilgan. Rasmning yuqori qismida arrasimon signal tasvirlangan va KIMning berilgan davri ichida  $\theta_u^*$  burchak qiymatlari ko`rsatilgan. Ulanish sathlari, shuningdek keng-impulsi modulyatsiya har bir davrida kalitlar ulanishining holatlari ham ko`rsatilgan. Qurilgan grafik  $\tilde{U}_1$  vektor KIMning olti davri ichida  $60^\circ$  ga buriladi degan faraz bilan uncha katta bo`lmagan chiqish kuchlanishi davrining uchdan bir qismi uchun bajarilgan. II sektorda joylashgan vektorning shakllanishini (3.8-rasmga q.) batafsil ko`rib chiqamiz. Bu vektorga boshlang`ich vektor  $\tilde{U}_{1-2}$  mos keladi. Bunda (3.2-jadvalga q.), invertorning 1 – 2 – 3 kalitlari ulangan bo`ladi va faza kuchlanishlarining qiymatlari  $u_{1A} = u_{1B} = U_d/3$  va  $u_{1S} = -2U_d/3$  ni tashqil qiladi (3.1-jadvalga q.). Buni 3.9-rasmdagi  $\theta_u^* = 70^\circ$  qiymatiga mos keluvchi KIMning davridan ham qo`rish mumkin. Qiymati  $\tau_2 = 0,765$  teng bo`lgan birinchi ulanish sathida US1 (3.4-rasmga q.),  $\tilde{U}_{1-3}$  vektor ulanadi va kalitlar holatlari 2 – 3 – 4 bo`ladi, faza kuchlanishlari esa  $u_{1A} = u_{1C} = -U_d/3$  va  $u_{1B} = 2U_d/3$  bo`ladi. Ikkinchi ulanish sathida, ya`ni  $\tau_2 + \tau_3 = 0,765 + 0,173 = 0,938$  bo`lganda, 2 – 4 – 6

kalitlar holatlari bilan nol vektor ulanadi va US2 bilan ikkinchi marta kesishguncha shu holida qoladi. Keyin yana  $\tilde{U}_{1-3}$  ulanadi va undan so`ng yana  $\tilde{U}_{1-2}$ .

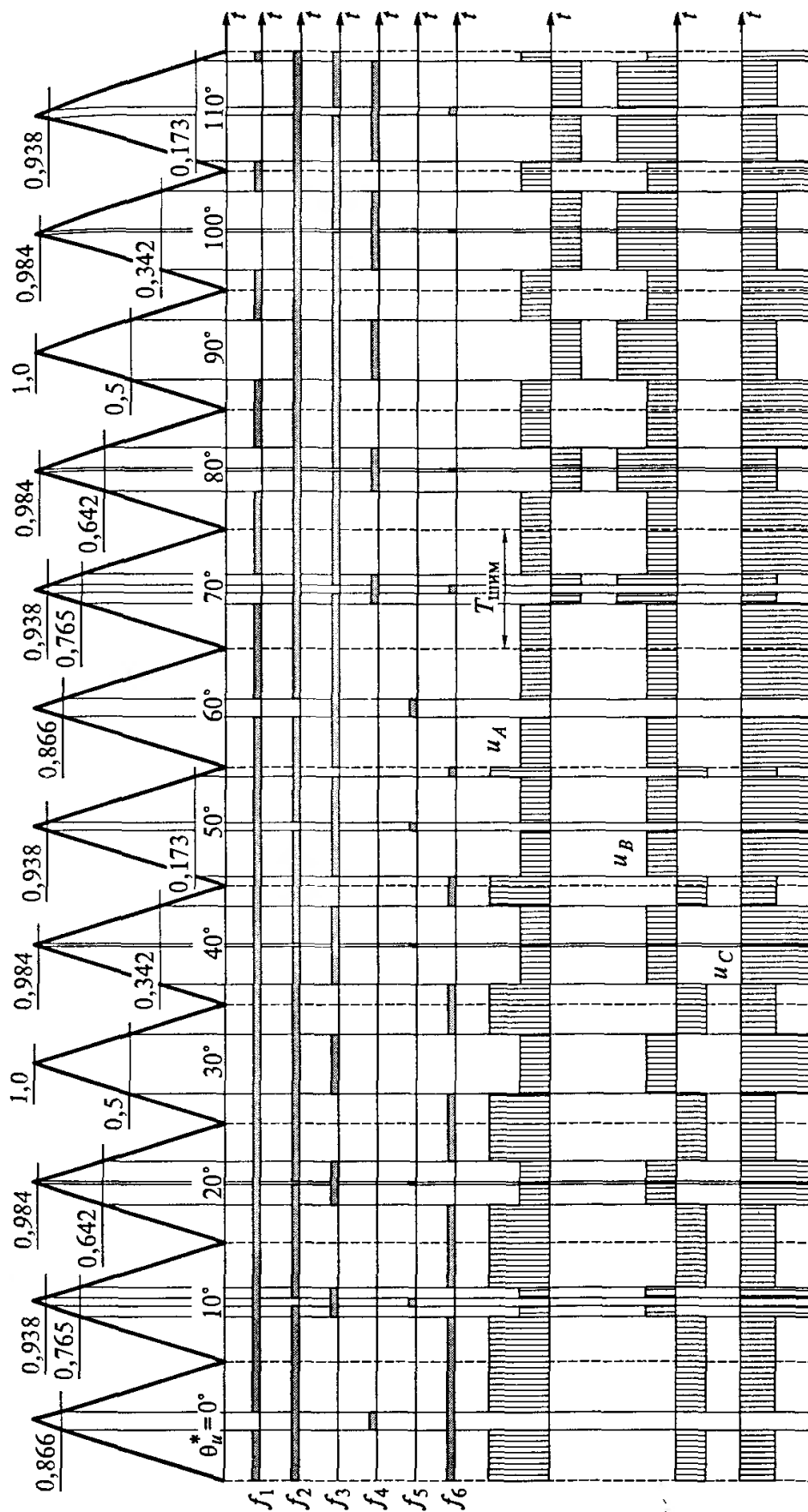
KIM davri mobaynida faza kuchlanishlarning o`rtacha qiymatlari quyidagicha bo`ladi:

$$\frac{U_{1A}}{U_d} = \frac{1}{3}(\tau_2 - \tau_3) = \frac{1}{3}(0,765 - 0,173) = 0,1973;$$

$$\frac{U_{1B}}{U_d} = \frac{1}{3}\tau_2 + \frac{2}{3}\tau_3 = \frac{1}{3}0,765 + \frac{2}{3}0,173 = 0,3703;$$

$$\frac{U_{1C}}{U_d} = -\left(\frac{2}{3}\tau_2 + \frac{1}{3}\tau_3\right) = -\left(\frac{2}{3}0,765 + \frac{1}{3}0,173\right) = -0,5676;$$

SHunga o`xshash ravishda KIM ning boshqa davrlari ham qarab chiqilishi mumkin. Real holatda KIM chastotasi kilogertslarni tashqil qilganligi bois, ya`ni vektorning  $60^0$  ga burilishi vaqti davomida KIM davrlarining soni 3.9-rasmda tasvirlangandan juda ko`p marta katta ekanligidan, bayon qilingan algoritm orqali olingan o`rtacha faza kuchlanishi stator cho`lg`amlaridagi tok shakllarini amalda sinusoidal bo`lishini ta`minlaydi.



3.9-rasm. Vektorli keng-impulsi modulyatsiyali o`zgartirgich chiqishida kuchlanishning shakllanishi

Avtonom inverterli va KIMli chastota o'zgartirgichlar uchun kiruvchi signallar, elektr yuritma boshqaruv tizimidan beriluvchi,  $x - y$  koordinata tizimida sinxron tezlik bilan aylanuvchi umumlashgan vektorning burilish burchagi va kuchlanishning kerakli qiymati hisoblanadi. Mikroprotessorli tizim real vaqtda sektor nomerini va sektor ichidagi burilish burchagi  $\theta_u^*$  ni aniqlaydi va shundan so'ng tanlangan algoritimga mos ravishda ulash nuqtalarini hisoblashni amalga oshiradi.

KIM ning asosiy afzalliklaridan biri uni mikroprotessorli tizim darajasida tadbqiq qilishning qulayligi hisoblanadi.

### **3.4. Ventil motorli elektr yuritmani boshqarish tizimi**

Keyingi o'n yillikda elektr yuritma ixtirochilar diqqatini asinxron va sinxron motorlar bilan bir qatorda ventil-induktorli dvigatellar (VID) ham tortib kelmoqdaki, ular chet el adabiyotlarida Switched reluctance machine (SRM) deb nom olgan. Bunday dvigatellarga bag'ishlangan birinchi ishlar XX asrning 80-yillariga ta'luqlidir. SHu yillar ichida ventil-induktorli dvigatellarning nazariyasi takomillashib borib, ularni ishlab chiqarish va elektr yuritmalarda amaliy qo'llanilish tajribalari oshib bordi. VID larning qo'llanilishiga asosiy mezonlar quyidagilardan iborat [11]:

yuqori tezlikli va kichik isrofli kuch elektron kalitlarning yaratilishi;

qadamli dvigatellar yaratilishidagi tajribalar;

asinxron dvigatellarni boshqarishda keng-impulsi modulyatsiya printsiplarini qo'llashdagi tajribalar;

mikroprotessor texnikasining rivojlanishi, qaysikim bu boshqaruvning murakkab algaritmlarini qo'llanilishidagi cheklovlarni olib tashladi;

VID ning asosiy afzalliklari:

konstruktsiyasining soddaligi va u bilan bog'liq bo'lgan materialning tejaliishi, bu esa motorning tan narxini hattoki qisqa tutashtirilgan rotorli asinxron dvigatelga nisbatan ham pastligiga sabab bo'ladi;

dvigatel ta'minot olayotgan bir tomonlama o'tkazuvchanlik tokiga ega bo'lgan kuch ventelli kommutatorni o'zida aks etiruvchi o'zgartirgichning soddaligi;

Dvigatelning kamchiliklariga quyidagilarni misol qilish mumkin:

rotor holatining datchigi yoki uni o'rnini bosuvchi elektro sxemadan foydalanishning zaruriyati;

stator qutblari cho'lg'amlaridagi toklarning murakkab shakllarini shakllantirish orqali erishiladigan silliq harakatni hosil qilishdagi va shovqin darajasini pasaytirishdagi qiyinchiliklar.

Asinxron va sinxron dvigatellardan farqli ravishda VID larda elektromagnit moment, statorning aylanuvchan magnit maydoni va rotor toklari orasidagi o'zaro ta'sir natijasida emas, balki magnit tizimning nosimmetrikligi hisobida hosil bo'ladi. Ventil-induktorli dvigatelning ishlash printsipti to'rt fazali motor misolida

3.6-rasm orqali tushuntiriladi. Ayonqutbli statorning bir-biriga qarama-qarshi turgan har qaysi ikki qutbga ketma-ket ravishda ulangan o`ram joylashtirilgan. Ikkita o`ram stator faza cho`lg`alarini  $A_1 - A_2, B_1 - B_2, C_1 - C_2$  va  $D_1 - D_2$  hosil qiladi. Ular ta`minotni ventelli kuch kommutatori orqali  $U_d$  kuchlanishli o`zgarmas tok manбайдan oladi. Ventelli kuch kommutatorining har bir fazasi yuklamadan manbaning plusidan munusi tomon tokni oqishini ta`minlaydi. Rotor arrasimon bo`lib, unda cho`lg`am bo`lmaydi. VIDlarning o`ziga xos xususiyati shundan iboratki, uning rotoridagi tishlar soni stator qutblar soniga teng bo`lmaydi. Stator qutblar soni quyidagi ifoda bilan aniqlanadi

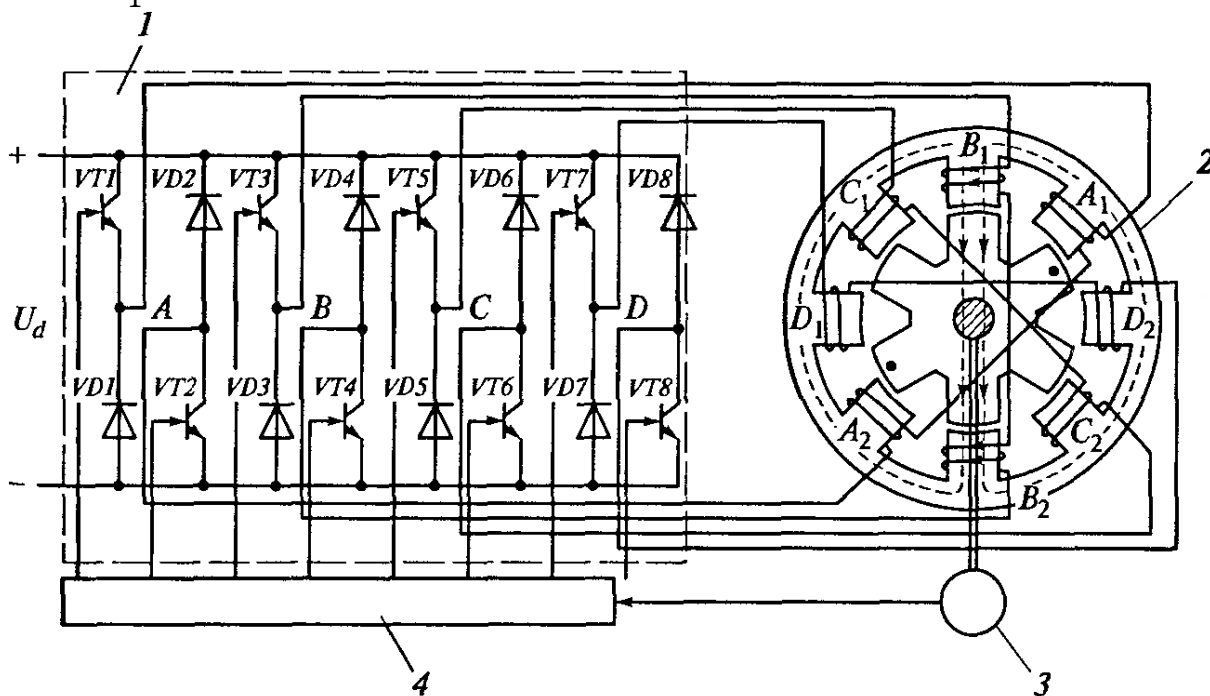
$$z_c = 2k_1m,$$

bu erda  $k_1$  – butun son;  $m$  – fazalar soni.

Rotorning qutblar (tishlar) soni  $z_p$  ixtiyariy tanlanmaydi, balki quyidagi formula bo`yicha aniqlanadi

$$z_p = 2(k_2m \pm 1),$$

bu erda  $k_2$  – butun son.



3.6-rasm. Ventelli-induktorli dvigatelning tuzilmasi:  
 1- kuch kommutatori; 2- dvigatel; 3- rotor holatining datchigi (RHD); 4- boshqaruv tizimi (BT)

3.6-rasmda tasvirlangan dvigatelda fazalar soni 4 ga,  $k_1$  va  $k_2$  koeffitsientlar esa 1 ga teng deb qabul qilingan, natijada stator qutblar soni 8 ga teng bo`ladi. Rotorning tishlar soni  $z_p$  uchun yozilgan formuladagi tanlangan ishoraga bog`liq holda 6 (3.6-rasmga q.) yoki 10 bo`lishi mumkin.

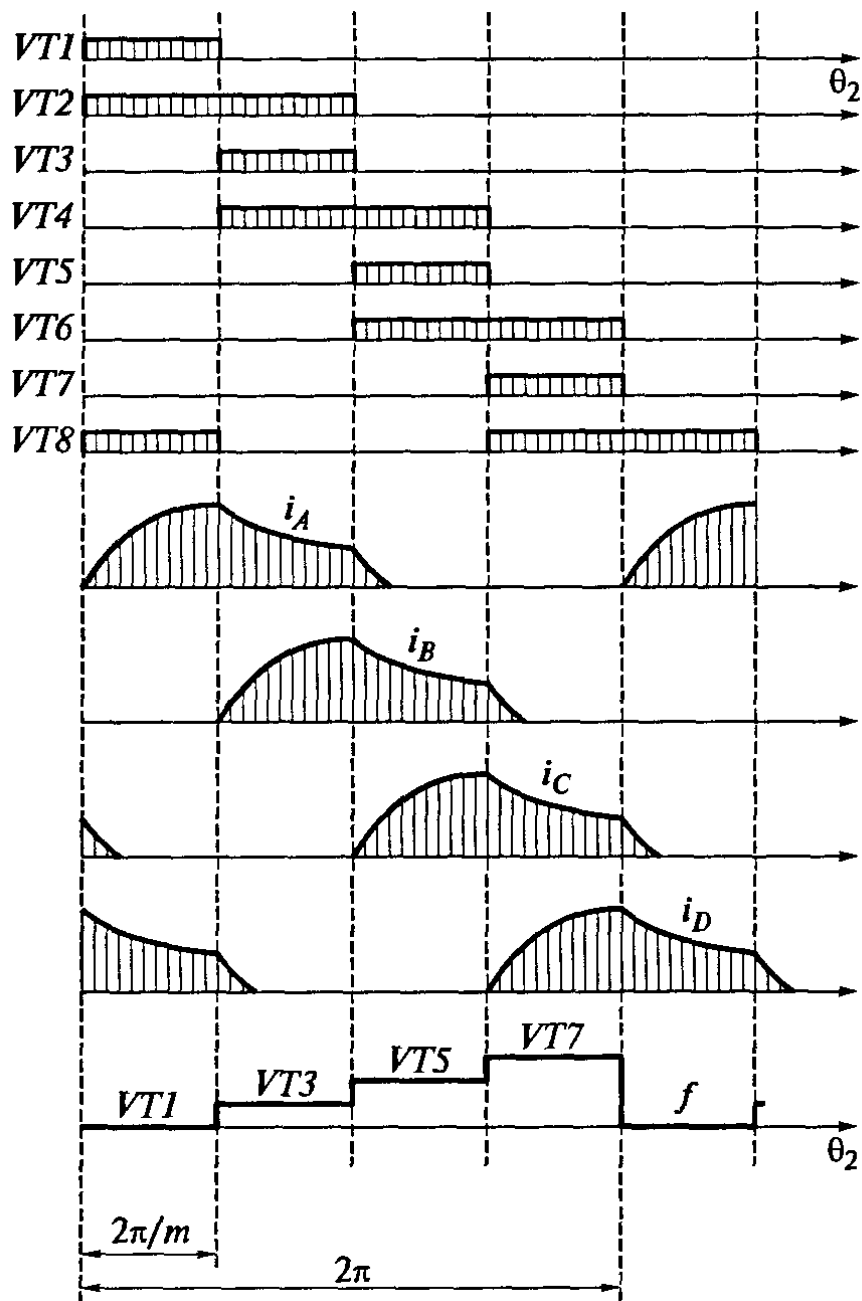
3.6-rasmda rotor holati shunday tasvirlanganki, unda tok manbadan tranzistorlar kaliti orqali kommutatorning  $B$  fazasidan va stator qutblarining  $B_1$  va  $B_2$  cho`lg`amlari orqali o`tadi, rotor o`qi esa ushbu cho`lg`amlar o`qi bilan mos

tushadi. Statorning boshqa fazalari esa tok bo'lmaydi. Magnit kuch chiziqlari statorning cho'lg'amlarida tok bo'lgan ikkita qutbi va rotorning ikki tishi hamda rotor jismi orqali va undan keyin stator magnit tizimi yarmosi orqali tutashadi. Agar kommutatorning  $B$  fazasidagi tranzistorlar yopilib  $A$  fazadagi tranzistorlar ochilsa, unda tok  $A_1$  va  $A_2$  cho'lg'amlari orqali o'tadi va bu stator oqimining vektorini soat millari bo'ylab  $45^0$  ga burilishiga sabab bo'ladi. Stator maydoni ta'sirida  $A_1 - A_2$  cho'lg'am o'qi yaqinidagi rotor juft tishlarining o'qi  $A_1 - A_2$  cho'lg'am o'qi bilan mos tushguniga qadar buriladi. Rasmda rotorning bu juft tishlar nuqta bilan belgilangan. Rotor stator magnit oqimining vektorining burilish yo'nalishiga qarama-qarshi yo'nalishda  $15^0$  ga buriladi. Agar kommutatorning  $B$  fazasidan keyin  $S$  fazadagi tranzistorlar ochilsa, unda magnit oqimi vektori soat millariga qarama-qarshi yo'nalishda  $45^0$  ga, rotor esa soat millari bo'yicha  $15^0$  ga buriladi. SHunday qilib, VID elektromagnit reduksiya xususiyatiga ega, ya'ni dvigatel statori maydonining tezligi va rotorning tezligi bir-biriga teng bo'lmaydi. Qaralayotgan hol uchun reduksiya koeffitsienti  $k_p = 3$  teng. Rotorning aylanish yo'nalishi stator maydonining aylanish yo'nalishiga qarama-qarshi bo'lishi –bu dvigatelning o'ziga xos xususiyatidir bo'lib, dvigatel rotoridagi tishlar soni statoridagi qutblar sonidan kam bo'ladi. Agar  $z_p > z_c$  bo'lsa, rotor stator maydoni yo'nalishi bo'yicha aylanadi. Agar rotor tishlar soni uchun yozilgan formulada plus ishora olinsa, unda rotor tishlar sonini  $z_p = 10$  ga teng qilib yasash kerak bo'ladi, ya'ni stator qutblar sonidan ko'p. Unda rotor stator maydoni yo'nalishi bo'yicha aylanar edi, magnit reduksiya koeffitsienti esa  $k_p = 5$  gacha oshar edi.

Dvigatel rotori uzluksiz aylanishni davom ettirishi uchun stator qutblari cho'lg'amlarini ketma-ket ta'minot manbasiga ulash kerak bo'ladi. Cho'lg'amlarni bunday ulab-uzishlar rotor holatiga bog'liq ravishda amalga oshiriladi.

3.7-rasmda kuch kommutatori kalitlarining ulab-uzish algoritmi ko'rsatilgan. Har bir asosiy (toq) tranzistorning ochilish holatining burchagi  $2\pi/m$  ni tashqil qiladi, har bir yordamchi (jutf) tranzistorning ochilish holatining burchagi esa  $-\pi$ . Har bir fazada bir qutbli tokning shakllanishi uchta etapda amalga oshiriladi. Birinchi aktiv etapda, ya'ni dvigatel fazalariga ochiq turgan jutf va toq tranzistorlar orqali o'zgaras tok manbasidan  $U_d$  kuchlanish qo'yilganda (3.6-rasmga q.), faza cho'lg'amlaridagi tok oshib boradi.  $2\pi/m$  sohaning oxirgi qismida ushbu fazaning asosiy tranzistori keyingi fazaning tranzistori ochilishi uchun yopiladi. SHundan so'ng ikkinchi passiv etap boshlanadi, unda berilgan fazadagi tok, keyingi  $2\pi/m$  burchak davomiyligi mobaynida ochiq turgan yordamchi tranzistordan o'tib, kamaya boshlaydi. Qachonki bu tranzistor yopilsa, tok ikki diod orqali o'tib keskin nolgacha pasayadi.





3.7-rasm. Ventil-induktorli dvigatel faza cho'lg'amlardagi toklarning shakllanishi

Biroq dvigatel ishlash jarayonida uning silliq aylanishini, moment pulsatsiyasini kamaytirishni va shovqin darajasining kamaytirishni ta'minlash uchun stator toki shakllanishining algoritmini murakkablashtirishga to'g'ri keladi. Tok maxsus qonun bo'yicha shakllanishi kerakki, unda dvigatelda kechadigan elektromagnit jarayonlarni optimallashtirsin. Ushbu qonunni tadbiiq etish maqsadida aktiv va passiv etaplardagi tokning shakllanishiga ta'sir ko'rsatish kerak. Buning uchun keng-impulsi modulyatsiya printsiplarini yo asosiy tranzistorlarga yoki asosiy va yordamchi tranzistorlariga ta'siri qo'llanilishi mumkin.

Ventelli kuch kommutatorining kalitlarini ulab-uzish funksiyasini bajaruvchi rotor holati rotor holatining datchigi (RHD) orqali o'lchanadi (3.6-

rasmga q.). Boshqaruv tizimida (BT) datchikdan olingan signallar diskret kommutatsiyali funktsiya  $f$  aylantiriladi va u kerakli ulab-uzish algoritmini va tranzistorlar ochiq holatining davomiyligini ta`minlaydi.

Bayon qilingan kommutatsiya usuli yakka kommutatsiya deb nomlanadi, chunki ixtiyoriy vaqt momentida ta`minot manbasiga dvigatelning bitta fazasi ulanadi. SHu bilan bir qatorda manbaga dvigatelning ikki fazasi ulanadigan juft kommutatsiya ham qo`llaniladi.

## XULOSA

Hozirgi kunda yirik quvvatli ishlab chiqarish korxonalari chet elda ishlab chiqarilgan zamonaviy uskunalar va jihozlar bilan ta'minlangan. Bu esa ishlab chiqarilayotgan mahsulot sifatini va unumdorligini oshirib o'z mahsulotlarini jahon bozorigacha olib chiqish orqali xalq xo'jaligi va Respublikamizning rivojlanishi uchun katta hissa qo'shmoqda. Shu o'rinda zamonaviy uskunalar va jihozlarning talab darajasida ishlashi uchun uzluksiz va sifatli elektr energiya ta'minoti talab qilinadi.

Sanoat korxonalarida jumladan elektr energiyasi sarfi juda yuqori ekanligidan kelib chiqib, bugungi kunda energiyani tejash bo'yicha ko'plab ilmiy tadqiqot ishlari olib borilmoqda. Ilmiy tadqiqot ishlarida korxonada energetik balansini tashqil etish, ishlab chiqarishdagi energetik ko'rsatkichlarni tahlil qilish, energiya iqtisod qilishning rezerv manbalari kuch transformatorlari, reaktorlar va boshqa elektr qurilmalarni yuklanganlik darajasini aniqlash muhim hisoblanadi. Elektr balans bu iste'mol qilishdagi aktiv quvvat bilan reaktiv quvvat balanslari hisoblanadi, ya'ni bunda tarmoqdagi barcha isroflar yig'indisini e'tiborga olinadi. Korxonaning turli ishlab chiqarish qismlarida energiyadan qanchalik foydalanilayotganligini, energoaudit o'tkazish davomida yig'ilgan ma'lumotlarni tahlil qilish orqali baholanishi mumkin. Aniqlangan energiya iste'moli korxonada oldiga qo'yilgan maqsad va standart ko'rsatkichlari bilan taqqoslab ko'rilishi mumkin. Reaktiv quvvatni kompensatsiya qilish va bu bilan bog'liq elektr ta'minoti tizimining turli elementlarida elektr energiyasi isrofini va elektr energiyasi sifatini oshirish bilan bog'liq muammolarni yechish uchun reaktiv quvvat balansini tuziladi. Energetik resurslardan foydalanishni samaraliligini ortirish va issiqlik isroflari kamaytirish uchun, korxonadagi issiqlik tarmoqlarining xolatini yaxshilash kerak bo'ladi, bunda shuningdek, korxonada asboblarni bo'yicha o'lchovlarni to'g'riligi ustidan doimiy nazoratni, issiqlik manbasi va uni iste'mol qiluvchi joylarda energetik resurslardan rasional foydalanishni tashqil qilish zarur.

Energotizim elektr tarmoqlaridagi reaktiv quvvatning kombinatsiyalangan

boshqaruvida qo'llaniluvchi uch fazali tokni kuchlanishga yassi o'lchov chulg'amli elektromagnit o'zgartgichlarining tuzilish tamoyillari, tadqiqot va loyihalash algoritmlari, tadqiqot modellari, hisoblash usullari, elektromagnit o'zgartirgichlarning qurilmalarini tuzilishini yaratish va ishlab chiqish asoslari amalga oshirildi va ularni mikroprotessorli bloki tarkibida boshkaruv amaliyotga keng joriy etish imkoniyatlari yaratildi.

Tadqiqotlar natijasida energiya va resurs tejamkor energotizimlarni rasional qurish tamoyillarini amalga oshirish, energotizimda reaktiv quvvat manbalarini kombinatsiyalangan boshqaruvi, bir va uch fazali elektr kattaliklarni real vaqt mobaynida o'zgarishlarini simmetrikligini nazorat, elektr tarmoqlar bir va uch fazali birlamchi toklarining adekvat asosda ikkilamchi kuchlanishga o'zgartirish imkonini beruvchi yassi o'lchov chulg'amli elektromagnit o'zgartgichlarining majmuasini yaratildi va ular amaliyotga joriy etildi.

Energotizimlarning reaktiv quvvatlarini kombinatsiyalangan boshqaruvida birlamchi elektr toklarni ikkilamchi kuchlanishga yassi o'lchov chulg'amli elektromagnit o'zgartgichlarini qo'llash orqali iqtisodiy samaradorlikni taminladi.

### **Foydalanilgan adabiyotlar:**

1. I.A.Karimov. "Buyuk va muqaddassan, mustaqil vatan", "O`QITUVChI", nashriyot–matbaa ijodiy uyi, Toshkent, 2011 yil.
2. I.A.Karimov. "O‘zbyokiston mustaqilikka erishish ostonasida", "O`QITUVChI", nashriyot–matbaa ijodiy uyi, Toshkent, 2012 yil.
3. Сиддиков И.Х., Насритдинов Ф.Ж. Исследование принципов построения электромагнитных элементов электроавтоматики и защиты систем электроснабжения на основе графовой модели // Журнал «Беруний юлдузлари». - ТГТУ, Ташкент, 2001. - №1. – с. 87-89.
4. Сиддиков И.Х. Исследование основных характеристик и принципов построения электромеханических преобразователей электроавтоматики на основе графовой модели // Журнал «Вестник ТашГТУ». – Ташкент, 2001. - №1. – с. 11-17.
5. Сиддиков И.Х., Анарбойев М.А., Мирзойев Н.Н., Маматкулов А.Н. Элементы управление статическими и динамическими источниками реактивной мощности // Журнал «Проблемы энерго и ресурсосбережения». - ТГТУ, Ташкент, 2013. – Спец. выпуск. - №3-4. – с. 183-187.
6. Рожкова Л.Д, Козулин В.С. "Електростансия ва подстансияларнинг асбоб–ускуналари". Тошкент, "Фан", 1987 й, 619 б.
7. Неклепаев Б.Н. "Электрическая часть стансий и подстансий", М.: 1991
8. Справочник по электрическим устройствам високого напряжения, М.: 1998.
9. Правила Устройств электротехнических установок (ПУЭ). М.: энергоатомиздат, 1987.
10. Справочник по электроснабжению промышленных предприятий. Промышленные электрические сети /Под ред. А.А.Федорова и Г.В.Сербиновского, М., энергия, 1980.
11. Справочник по электроснабжению промышленных предприятий. электрооборудование и автоматизация /Под ред.А.А.Федорова и Г.В.Сербиновского М. энергоиздат, 1981.

12. Электротехнический справочник: 2–том. Под обшей ред. проф. МЕИ. М. энергоатомиздат, 1980.
13. Электротехнический справочник: 3 том. Под обшей ред. проф. МЕИ. М. энергоатомиздат, 1981.
14. Гултпьев А. К. Визуальное моделирование в среде МатЛаб. СПб.: Питер, 2000. 429 с.
15. Дяконов В. П. СИМУЛИНК-4. Специальный справочник. СПб.: Питер, 2002, 601 с.
16. В.П.Дяконов. МАТЛАБ 6/6.1/6.5 + Симулинк 4/5. Основы применения. Полное руководство пользователя. СОЛОН-Пресс, 2004.
17. В.П.Дяконов. МАТЛАБ 6/6.1/6.5 + Симулинк 4/5 в математике и моделировании. СОЛОН-Пресс, 2003.
18. В. И. Карлащук. электронная лаборатория на ИБМ ПС. Лабораторный практикум на базе элестронисс Воркбенч и МАТЛАБ. СОЛОН-Пресс. 2004.
19. И.Черних. Симулинк: среда создания инженерных приложений. Диалог-МИФИ. 2003.
20. [http://www.rza001.narod.ru/txt/shabad\\_2/raschet\\_to.htm](http://www.rza001.narod.ru/txt/shabad_2/raschet_to.htm)
21. <http://www.izl.ru/kastv.htm>
22. <http://marketelectro.dsx.ru/upload/File/sprav/sprav8.htm>
23. <http://www.platan.ru/cgi-bin/qwery.pl/id=730&group=10703>
24. <http://detalinadom.narod.ru/nabor/nabTDA2030.htm>
25. Балашов Йе.П., Пузанков Д.В. Микропроцессоры и микропроцессорные системы. –М.: Радио и связь. 1981. –326 с.
26. Брябин В.М. "Програмное обеспечение персональных ЭВМ".
27. Валвачев Ф.Н., Криевич В.С. "Программирование на языке ПАСКАЛ для персональных ЭВМ".
28. <http://www.prom.lru/> Трансформаторное оборудование.
29. <http://www.news.elteh.ru/> Forum / «Новости электротехники».

30. Шабат М.А. Расчеты релейной защиты и автоматики распределительных сетей. – Л: энергоатомиздат 1991 г.

31. [Автоматика электрических станций, и электроэнергетических систем](#) Овчаренко Н.И. Издательство НС ЭНАС, 2003-01-01, Книга в переплете, 504 стр., ИСБН код 5-93196-020-1

32. [Выбор и эксплуатация силовых трансформаторов.](#) Бистриский Г.Ф. Издательство Академия, 2003-07-10, Книга в переплете, 176 стр., ИСБН код 5-7695-1143-5

33. [Монтаж, эксплуатация и ремонт электроустановок.](#) Кусенко Г.Ф. Издательство Дизайн Про, 2003-05-15, Книга в переплете, 271 стр., ИСБН код 985-452-072-2.

34. [www.ziyonet.uz](http://www.ziyonet.uz)

35. [www.elster.ru](http://www.elster.ru)

36. [www.izmerenie.ru](http://www.izmerenie.ru)

37. [www.alphacenter.ru](http://www.alphacenter.ru)

38. [www.metronica.ru](http://www.metronica.ru)

39. “Merkuriy”. [www.incotex.ru](http://www.incotex.ru)

40. SP ООО “Elektron hisoblagich”

41. [www.uzelex.uz](http://www.uzelex.uz)

42. [www.algorithm.uz](http://www.algorithm.uz)

43. [www.undp.uz](http://www.undp.uz)

44. [www.uzbekenergo.uz](http://www.uzbekenergo.uz)

45. [www.press-service.uz](http://www.press-service.uz)

46. [www.gov.uz](http://www.gov.uz)

47. [www.uzbekcoal.uz](http://www.uzbekcoal.uz)

48. [www.lex.uz](http://www.lex.uz)

49. [www.gismeteo.ru](http://www.gismeteo.ru)







ПТВЕРЖДАЮ  
ДИРЕКТОР

ООО «ELEKTRORENTGEN»

04 2015 г.

### АКТ ВНЕДРЕНИЯ

результатов научно-исследовательских, опытно-конструкторских и технологических работ в высших учебных заведениях.

Настоящим актом подтверждается, что результаты работы «Монтаж и наладка системы автоматического регулирования источников реактивной мощности - косинусных конденсаторных установок» договор 5/18 от 18 Февраля 2014 года

(наименование темы, № Гос. регистраций)

выполненной по плану НИР 2014 г.

(наименование вуза НИИ, КБ, сроки выполнения)

на сумму 100000 (один миллион) сумов

(цифрами и прописью)

выполненной 18.04.2015 г. - 30.04.2015 г.

(сроки выполнения)

внедрены в ООО «ELEKTRORENTGEN»

(наименование предприятия, где осуществлялось внедрение)

1. Вид внедренных результатов: Промышленное внедрение, монтаж и наладка источников реактивной мощности и системы автоматического регулирования косинусных конденсаторных установок

(эксплуатация изделия, работы, технологии: функционирования систем)

2. Характеристика масштаба внедрения массовое

(уникальное, единичное, партия, массовое, серийное)

3. Форма внедрения:

Внедрены трехфазные преобразователи тока в напряжения, схемы включения и конструкции элементов автоматического регулирования источников реактивной мощности - косинусных конденсаторных установок

4. Новизна результатов научно-исследовательских работ разработаны новые схемы соединения и конструкции элементов автоматического регулирования источников реактивной мощности на основе преобразователя с плоскими измерительными обмотками - с повышенной точностью, улучшенной технологией изготовления и расширенными функциональными возможностями

(принципиально новые, качественно новые, модификации, модернизация старых разработок)

5. Опытно-промышленная проверка проведена в системе электроснабжения в ООО «ELEKTRORENTGEN» с 18 Февраля 2015 г. по 30 апреля 2015 г.

(указать номер и дату актов испытания, наименование предприятия, период)

6. Внедрены:

в промышленное в ООО «ELEKTRORENTGEN»

Годовой экономический эффект

7. Ожидаемый внедрения в ООО «ELEKTRORENTGEN» - свыше 100 000000 (сто миллионов) сум в год

(от внедрения в проект)

-фактически от внедрения в ООО «ELEKTRORENTGEN» (пятьдесят миллионов) сум за 1 (один) 2015 год

в том числе долевое участие:

за заказчика - ООО «ELEKTRORENTGEN» -50 (пятьдесят)%. исполнителя-50 (пятьдесят) %  
(% цифрами и прописью)

8. Удельная экономическая эффективность внедренных результатов. \_\_\_\_\_  
9. Объем внедрения 100% от объема внедрения, положенного в основу расчета экономического эффекта, рассчитанного по окончанию НИР/Э. - 100 000000 (сто миллионов) сумов за 1 (один) 2015 год.

10. Социальный и научно-технический эффект: улучшение условий работы электродвигателей, уменьшение заявленной мощности и потерь электроэнергии за счет применения источников реактивной мощности и упрощения схемы соединения элементов системы автоматического регулирования

(охрана окружающей среды, недр, улучшение и оздоровление условий труда)

\_\_\_\_\_ совершенствование структуры управления, научно-технических направлений и т.д.)

От исполнителя руководитель НИР

т.ф.н. И. И. Сиддиков

т.ф.н. М. И. Махмудов

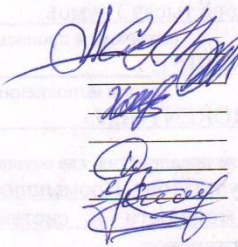
т.ф.н. И.И.Хафизов

Магистрант Х. Халоков

Магистрант У.Хайитов

Соискатель Н. Н. Мирзоев

Бакалавр С.У.Усманалиев



От заказчика

Гл. инженер

Энергетик

