

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

**TOSHKENT TEMIR YO'L MUXANDISLARI INSTITUTI**

*Qo'l yozma huquqida*

*UDK 629.423.31*

**Artikov Dilmurod**

**Elektr harakat tarkibi uchun chastotali boshqariladigan  
asinxron tortuv yuritmalarni nazariy tadqiq qilish**

*5A310704 - Elektrotexnik kompleksla rva tizimlar (temir yo'l transporti)*

**Dissertasiya magistrlik akademik darajasini olish uchun yozilgan**

**Ilmiy rahbar:**

**t.f.n., dosent**

**U.T.Berdiyev**



**Toshkent – 2016 y.**





O'zbekiston respublikasi oliy va o'rta maxsus ta'lim vazirligi

Toshkent temir yo'l muxandislari instituti

Fakultet \_\_\_\_\_

Kafedra ET va YUT EHT

O'quv yili 2014-2016 Mutaxassisligi 5A310704 – Elektrotexnik majmualar va tizimlar

Magistratura talabasi Artikov D.

Ilmiy rahbar r.f.n.U.T.Berdiyev

### **MAGISTRLIK DISSERTASIYASI ANNOTASIYASI**

Dissertasiya Toshkent temir yo'l muxandislari institutining "ET va YUTEH" kafedrasida texnika fanlari nomzodi U.T.Berdiyev rahbarligida bajarilgan.

Ushbu dissertasiya ishida quyidagilar bajarilgan:

Kirishda tanlangan mavzuning dolzarbligi asoslangan, ishning maqsadi quyilgan, uning ilmiy yangiligi va amaliy qimati, ishning joriy etilishi va ishning qisqacha mazmuni berilgan.

Birinchi bulimda Elektr harakat tarkibi uchun chastotali boshqariladigan asinxron tortuv yuritmalari boshqarish tizimlarini avtomatlashtirish buyicha adabiyotlar tahlili amalga oshirilgan.

Ikkinchi bulimda asinxron tortuv motorlarni boshqarish uchun o'zgartgichlar kurib chiqilgan.

Uchunchi bulimda Asinxron tortuv yuritma (ATYu) siga ega EHT kuch zanjiri tuzilishi kontakt tarmog'i kuchlanishi va foydalanilgan yarim o'tkazgichli o'zgartirgichlar turiga bog'liqi va ularning klassifikatsiyasi o'rganilgan.

Ishning xulosasida natijalar va takliflar, foydalanilgan adabiyotlar royxati va ilovalar keltirilgan.

Ilmiy rahbar

Magistratura talabasi



U.T.Berdiyev

Artikov D.

МИНИСТЕРСТВО ВЫСШЕГО И СРЕДНЕ-СПЕЦИАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЕ  
РЕСПУБЛИКИ УЗБЕКИСТАН

ТАШКЕНТСКИЙ ИНСТИТУТ ИНЖЕНЕРОВ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ТРАНСПОРТА

Факультет \_\_\_\_\_ Студент магистратуры Артиков Д.  
Кафедра ЭТ и ВСЭПС Научный руководитель к.т.н. Бердиев У.Т.  
Специальность - Электротехнические комплексы и системы  
Учебный год 2014-2016

**АННОТАЦИЯ МАГИСТРСКОЙ ДИССЕРТАЦИИ**

Диссертация выполнена на кафедре «Электрический транспорт и высокоскоростной электроподвижной состав» Ташкентского института инженеров железнодорожного транспорта под руководством кандидат технических наук У.Т.Бердиевым.

В данной диссертационной работе было выполнено:

**Во введении** обосновывается актуальность избранной темы, ставится цель работы, её научная новизна и практическая ценность, реализация работы и короткое содержание работы.

**В первой главе.** Проведен обзор литературы по системы управления асинхронного тягового привода с частотным управлением для электроподвижного состава.

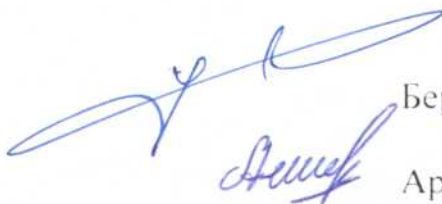
**Во второй главе** Рассмотрен преобразователи и их классификации для управления асинхронных тяговых двигателей.

**В третьей главе** Изучены системы управления и их классификация ЭПС с бесколлекторным тяговым электродвигателям. Поставленная цель будет достигнута, если локомотив реализует силу тяги  $F_k$ , достаточную для преодоления силы сопротивления движению поезда  $W$ , и для создания требуемого ускорения поезда  $dV/dt$ . При необходимости снизить скорость поезда ( $dV/dt < 0$ ) потребуется создание тормозной силы  $B$ , направленной встречно вектору скорости  $V$ .

**В заключении** работы приводятся выводы и рекомендации, список использованной литературы и приложения.

Научный руководитель

Студент магистратуры



Бердиев У.Т.

Артиков Д.

MINISTRY OF HIGHER AND SECONDARY EDUCATION OF UZBEKISTAN

TASHKENT INSTITUTE OF ENGINEERS  
RAILWAYS

Faculty \_\_\_\_\_ Magistracy student Artikov D.

Department of "ET and HSEC" Supervisor c.t.s. U.T. Berdiyev

Academic year 2014-2016 Occupation "Electrical complexes and systems"

**MAGISTRACY'S THESIS ABSTRACT**

Thesis completed at the department "Electrical transport and high speed electric composition" of Tashkent Institute of Railway Engineers and Technicians candidate of technical sciences **U.T. Berdiyev**

This thesis was carried out:

The first chapter was held "Review of literature and patents braking device of rolling stock".

In the second chapter "Electrical braking electric rolling stock and features" studied types of electric braking of electric rolling stock, its properties and main characteristics.

In the third chapter, "Peculiarities of electric braking on electric rolling with induction motors".

In the fourth chapter, "Modelling of electromechanical braking processes with asynchronous traction motors".

For electric rolling electric braking is a major factor on the basis of this railroad workers on a regular basis without any deviations should monitor the braking system that will allow safe movement.

Supervisor

Magistracy student



U.T. Berdiyev

Artikov D.

## MUNDARIJA

|                                                                                                                                      |     |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| <b>KIRISH</b> .....                                                                                                                  | 3   |
| <br><b>I-Bulim. Elektr harakat tarkiblari uchun chastotali boshqariladigan asinxron elektr yuritmalar adabiyot manbalari tahlili</b> |     |
| 1.1.Elektr harakat tarkiblari uchun chastotali boshqariladigan asinxron elektr yuritmalar adabiyot manbalari tahlili.....            | 11  |
| 1.2.Asinxron tortuv motorlarining tuzilishi va ishlash tarzi.....                                                                    | 29  |
| <br><b>II-Bulim. Asinxrontortuvmotorlariniboshqarishuchuno'zgartgichlar</b>                                                          |     |
| 2.1.ATMlarining tok va kuchlanish invertorlari bilan ishlashi.....                                                                   | 52  |
| 2.2. Turt kvadrantli o'zgartgich.....                                                                                                | 66  |
| <br><b>III-Bulim.Asinxron tortuv elektr motorli elektr harakat tarkiblarini boshqarish tizimlari.</b>                                |     |
| 3.1.Elektr harakat tarkiblarini boshqarish tizimlari klassifikatsiyasi.....                                                          | 72  |
| 3.2. ATMli elektr harakat tarkiblarini boshqarish prinsiplari.....                                                                   | 87  |
| <b>Xulosalar</b> .....                                                                                                               | 103 |
| <b>Foydalanilgan adabiyotlarruyxati</b> .....                                                                                        | 95  |
| <b>Ilovalar</b> .....                                                                                                                | 97  |

## **Kirish**

O'zbekiston Respublikasining siyosiy va iqtisodiy mustaqilligini mustahkamlash, hamda uning jahon hamjamiyatiga faol kirib borishi transport ta'minotining yuqori darajasini talab etadi, bu esa eng avvalo mamlakat iqtisodiyotining qon tomiri bo'lgan temir yo'llar rivojlanishini taqozo etadi.

Mustaqillikning ilk kunlaridanoq yurtimizda transport kommunikatsiyalari, xususan, temir yo'l sohasining jadal rivojlanishiga katta e'tibor qaratilmoqda. Shuni qayd etish lozimki, bugungi kunda transport sohasini rivojlantirish bo'yicha keng ko'lamli ishlar amalga oshirilmoqda. Temir yo'l transporti iqtisodiyotining yo'lovchi va yuk tashish xizmati talablarini qoniqarli darajada bajarmoqda. Butun transport sektori yuk aylanmasining 66% temir yo'l transporti ulushiga to'g'ri keladi. Tashish hajmining o'sishi, temir yo'llarning yuk va yo'lovchilarni qabul qila olish imkoniyatlarini oshirish, texnik vositalarni modernizatciyalashni va yangilashni talab etadi.

Hozirgi kunda O'zbekiston Respublikasida milliy transport yo'nalishlarni takomillashtirish, temir yo'l sohasini rivojlantirish bo'yicha talay ishlar amalga oshirilmoqda. "O'zbekiston temir yo'llari" kompaniyasining mavqeini transport bozorida barqaror saqlab turish iqtisodiy islohatlarni chuqurlashtirishni va sohaga katta investitciyalar jalb etilishini taqozo etadi.

Kompaniyaning investitciya dasturida harakat vositasini yangilashga, ularning ekspluatatcion faoliyatini yaxshilashga, barcha harajatlarni tejash, yo'l infratuzilmasini rivojlantirish, telekommunikatciya tizimini modernizatciya qilishga qaratilgan.

Investitsiya sohasida kompaniyaning olib borayotgan siyosati ustuvorliklari quyidagilardan iborat:

- temir yo'l uchastkalarini elektrlashtirish;
- yangi temir yo'l liniyalarini barpo etish;
- temir yo'llarni reabilitatsiya qilish;
- harakat vositalarini ta'mirlash bo'yicha kompaniyaning bazalarini yaratish;
- doimiy ravishda yuk vagonlari parki va lokomotivlarni almashtirib turish, mavjud harakat vositalarini ehtiyot qismlari bilan ta'minlash;
- harakat vositalarini qurilishi.

Hozirgi kunda eng katta qurilishlardan biri bu Angren-Pop yo'nalishi bo'lib, uning qurilishi jadal suratlar bilan olib borilmoqda va Respublikamiz mustaqilligining 25 yilligi arafasida ishga tushirish rejalashtirilmoqda.

**Mavzu aktuelligi.** Hozirgi kunda O'zbekistonda ekspluatatsiya qilinayotgan elektr harakat tarkiblari o'zgaruvchan tok kuchlanishida ishlaydigan tarkiblar qullanilib kelinmoqda. Bunday elektr tokida ishlaydigan harakat tarkiblarining boshqarish tizimi ko'pgina kursatgichlar bilan baholanadi va ulardan quyidagilar muhim hisoblanadi: rostlash xususiyati, xizmatkursatish xavfsizligi, ergonomik xususiyatlari, avtomatlashtirish va boshqarish imkoniyatlari mavjudligidir. EHTning tezligini tez-tez o'zgartirilishi yaxshi rostlash xususiyatlariga ega bo'lgan, yuqoriyuklash xususiyatlariga ega bo'lgan elektr motorli yuritmadan foydalanish zarurligini talab etadi. Bu talabga o'zgarmas tok motorlari to'g'ri keladi. Lekin, hozirgikunda sanoatda kommutatsiya quvvatining chegaraviy nuqtasiga etganligi elektromexanik o'zgartgich-kollektor mavjudligi chegaraladi. Chunki bu qism ko'p talab va xizmatni talab etadi. Sanoatning

rivojlanishi asosida hozirgikunda kuchli o'zgartgichlar (tiristorlarasosida) yordamida ta'minlanadigan o'zgaruvchan tok motorlar keng qullanilmoqda. O'zgaruvchan tok mashinalarining asosiy ustuvorligi quyidagilardan iborat:

1) elektromexanik kommutatorning mavjudemasligi; 2) kollektorning yo'qligi sababli yuqori ishonchligi va kuch zanjiridagi reli –kontaktli apparatning kamayishi; 3) elektr mashinasining qattiq xarakteristikasi sababli elektrovozning tortish xususiyatining yaxshilanishi. Bubokslanishga moyilligini kamaytiradi; 4) tortuv motorlarini ishlabchiqishda isrofini ancha qisqartirish mumkinligi. Bir xildagi moment va chastotada mashina xajmi 2-3 marta kamayadi; 5) tortuv motorlarining massasi va gabaritlari sezilarli darajada kamayadi; 6) o'zgaruvchan tok motorlarining ish jarayonlarini boshqarishni avtomatlashtirish mumkin.

Asinxron motorlarning har xil xususiyatlari va xarakteristikalarini va rostlashning har xil usullari mavjud: 1) o'zgarmas chastotada kuchlanish qiymatini rostlash; 2) chastotani kuchlanishning har xil qiymatlarida rostlash; 3) chastota va kuchlanish qiymatini rostlash (chastotali rostlash). Magistrlik dissertasiyasida elektrharakat tarkibi uchun chastotali boshqariladigan asinxron tortuv yuritmalarni nazariy tadqiq qilish buyicha ishlar olibborildi. Magistrlik dissertasiyasi Toshkent temiryo'l muxandislari institutining «Elektrtransporti va yuqori tezlikdagi elektrharakat tarkibi» kafedrasida t.f.n., dosent U.T.Berdievning ilmiy rahbarligida bajarildi.

**Mazkur ishning maqsadi** elektrharakat tarkibi uchun chastotali boshqariladigan asinxron tortuv yuritmalarni nazariy tadqiq qilishdan iborat. Qo'yilgan maqsadga erishish uchun mazkur dissertasiya ishida quyidagi masalalar kurib chiqilgan:

-elektrharakat tarkibi uchun chastotali boshqariladigan asinxron tortuv yuritmalari uchun ko'rib chiqilgan patent va ilmiy-texnik adabiyotlarni tahlil asosida ularning klassifikatsiyasi va elektrharakat tarkibini avtomatik boshqarish tizimi o'rganildi;

-elektrharakat tarkibi uchun chastotali boshqariladigan asinxron tortuv yuritmalarini avtomatik boshqarish tizimi tahlili amalga oshirildi;

- elektrharakat tarkibi uchun chastotali boshqariladigan asinxron tortuv yuritmalarini boshqarishning har xil sxemalari o'rganildi va taqqoslandi. **Tadqiqot usuli** elektr harakat tarkibi uchun chastotali boshqariladigan asinxron tortuv yuritmalarini avtomatik boshqarish tizimini chastotani o'zgartirish bilan tahlil qilishni o'z ichiga oladi.

**Tadqiqot ob'ekti** –O'zbekiston sharoitida ekspluatasiya qilinayotgan elektrharakat tarkiblari uchun chastotali boshqariladigan asinxron tortuv yuritmalari. **Ilmiy yangilik quyidagilardan iborat:** elektrharakat tarkibi uchun tarmoq chastotasini o'zgartirish bilan boshqariladigan asinxron tortuv yuritmalari ishlab chiqish va o'rganish.

**Amaliyqiymati.** Elektr harakat tarkibi uchun chastotali boshqariladigan asinxron tortuv yuritmalari boshqarish tizimlarini avtomatlashtirishda ekspluatasiya vaqtida ishdan chiqishlarni oldini olish uchun mashinalar kursatgichlari ishonchligiga erishish, tizim elementlarining rasional parametrlarini aniqlash uchun yangi hisoblash usullarini aniqlashdan iborat.

**Ishni amalga oshirish.** Elektrharakat tarkibi uchun chastotali boshqariladigan asinxron tortuv yuritmalari boshqarish tizimlari uchun chastotani o'zgartirishda va aniqlash usulini o'zgartirishda va chastotali boshqarishda asinxron tortuv elektr motorining boshqarish xemasi parametrlarining harqanday parametrli sxemada o'zgartirish bilan amalga oshiriladi.

**Ishning aprobasiyadan o'tganligi.** Ishning natijalari buyicha Toshkent temiryo'l muxandislari institutida o'tkazilgan ilmiy va ilmiy-pedagogik konferensiyalarda ma'ruza qilingan:

1.«Характеристика и свойства асинхронные тяговые двигателей используемых в скоростных и высокоскоростных электроподвижном составе»  
Научные труды Республиканской научно-технической конференции с

участием зарубежных ученых, «Ресурсосберегающие технологии на железнодорожном транспорте», ТашИИТ.6-7 декабря 2014 г.

2.»Способы улучшения тяговых свойств асинхронных электроприводов», «Юқори тезликда ҳаракатланувчи поездларнинг долзарб муаммолари» илмий семинар материаллари, ТошТЙМИ. 2014 й. 25 декабр.

3.«Особенности питание электровозов «Узбекистан» от способа электропривода типа переменного-постоянно-переменный», “Ёш илмий тадқиқотчи”, бакалаврият, магистратура талабаларининг ва стажер-изланувчи-тадқиқотчиларнинг XIII- институтларaro илмий-амалий конференцияси материаллари, ТошТЙМИ, 7-8 апрель 2015 г.

4. «Tortuvchi elektr mashinalari» fanidan mustaqil ishlarni tashkil qilish» Ilmiy-pedagogik ishlarning dolzarb muammolari- magistratura talabalariva yosh olimlarning institutlararo o'nikkinchi ilmiy-uslubiy konferensiya simateriallari, ToshTYMI, 2015 yil, 30 noyabr.

**Ishning strukturasi va hajmi.** Dissertasiya ishi 97 bet mashinada yozilgan tushuntirish yozuvidan iborat bo'lib, kirish, uchta bulim, umumiy xulosalar va takliflar va 43 nomdagi foydalanilgan adabiyotlar ruyxatidan iborat. Magistrlik dissertasiyasi Toshkent temir yo'l muxandislari instituti “Elektr transporti va yuqori tezlikdagi elektr harakat tarkibi” kafedrasida bajarilgan (2014÷2016 yy).

### **Ishning asosiy tarkibi**

**Kirishda** tanlangan mavzuning dolzarbligi asoslangan, ishning maqsadi quyilgan, uning ilmiy yangiligi va amaliy qimati, ishning joriy etilishi va ishning qisqacha mazmuni berilgan.

**Birinchi bulimda** Elektr harakat tarkibi uchun chastotali boshqariladigan asinxron tortuv yuritmalari boshqarish tizimlarini avtomatlashtirish buyicha adabiyotlar tahlili amalga oshirilgan.

**Boshqarish** – bu qo'yilgan maqsadga erishish uchun ob'ektga yo'naltirilgan ta'siridir.

**Poezdni boshqarishdan maqsad** – uning o'rnatilgan boshlang'ich stansiyadan oxirgi stansiyagacha jadval dagi vaqt oralig'ida harakat xavfsizligini va energiyaning minimal sarfini ta'minlashdan iborat.

Buning uchun poezdning tezligi  $V$ , ma'lum bosib o'tilgan yo'lga bog'liq holda o'zgarishi lozim. Belgilangan maqsadga, agar lokomotiv poezdning harakatlanishi uchun qarshilik kuchini  $W$  engish uchun etarli bo'lgan va poezdning kerakli tezlanishini  $dV/dt$  hosil qilish uchun  $F_k$  tortish kuchini hosil qilsagina erishilgan bo'ladi. Zarur bo'lganda poezdning tezligini pasaytirish uchun ( $dV/dt < 0$ ), tezlik  $V$  vektoriga qarshi yo'naltirilgan  $V$  tormozlovchi kuchni hosil qilish talab etiladi.

Lokomotivlarning tortish va tormozlash kuchlarini hosil qilish imkoniyatlari uning tortish va tormozlash xarakteristikalarini orqali, aniqlanadi, ular bulimda kurib chiqilgan.

**Ikkinchi bulimda** asinxron tortuv motorlarni boshqarish uchun o'zgartgichlar kurib chiqilgan.

Hozirgi kunga qadar statik o'zgartirgichlar kelib chiqish bosqichlarini besh avlodga bo'lish mumkin. Bulardan hozirda elektr harakat tarkiblarida to'rtinchi va beshinchi avlod o'zgartgichlari qo'llanilmoqda. To'rtinchi avlod statik o'zgartirgichlarida to'liq boshqariladigan yarim o'tkazgichli GTO (Gate Turn Off thyristor – yopiladigan tiristor) tiristorlardan foydalanilgan bo'lib, bu ayniqsa, asinxron yuritmalik elektrovozlarda o'zgartirgichlarning massa – gabarit ko'rsatkichlarini yaxshilash imkonini berdi. Hozirgi kunda beshinchi avlod statik o'zgartirgichlari jadal sur'atlar bilan rivojlanib bormoqda. Bu avlod kuch yarim o'tkazgichlariga IGBT (Insulated Gate Bipolar Transistor – izolyatsiyalangan zatvorli bipolar tranzistor) va IGCT (Integrated Gate Commutated Thyristor – boshqaruv bloki integratsiyalangan yopiladigan tiristor) qurilmalari kiradi.

Hamda ATMni boshqarishda tok va kuchlanish invertorlidan foydalanish va ularning sxemalari ko'rib chiqilgan.

**Uchunchibulimda** Asinxron tortuv yuritma (ATYu) sig'a ega EHT kuch zanjiri tuzilishi kontakt tarmog'i kuchlanishi va foydalanilgan yarim o'tkazgichli o'zgartirgichlar turiga bog'liqivaularningklassifikasiyasio'rganilgan. O'zgarmas tok EHTlari uchun ikki xil variantdagi avtonom tok inverterli (ATI) va avtonom kuchlanish inverterli (AKI) tuzilmaviy sxema bo'lishi mumkin. ATI faqat  $f_1$  chastotani rostdash imkonini beradi,  $U_1$  kuchlanishni rostdash uchun impulsli kuchlanish rostdagichi (IKR)dan foydalanish lozim. Kuchlanishni silliqdash uchun IKR kirish va chiqish qismlarida filtr (F)dan foydalaniladi.Bu masalalar bulimda to'liq o'rganilgan.

**Ishning xulosasida**natijalar va takliflar, foydalanilgan adabiyotlar ruyxati va ilovalar keltirilgan.

## **I-BULIM. Elektrharakattarkiblariuchunchastotaliboshqariladigan asinxrontortuvyuritmalاربuyicha adabiyotlartahlili.**

### **1.1.Elektrharakattarkiblariuchunchastotaliboshqariladigan asinxrontortuvyuritmalاربuyicha adabiyotlartahlili.**

Hozirgikunda O'zbekiston temir yo'llarida «Uzbekiston», «Uzbekiston-Yulovchi» va «O'Z-EL» elektrovozlariva «Afrosiyob» (Tal'go) elektro poezdi ekspluatasiya qilinmoqda. Ularda asinxron tortuv elektr motorlari o'rnatilgan bo'lib, ularning ishlashi ekspluatasiya jarayonida hozirgi kunda ma'lum darajada o'rganilmagan.

Elektrovozlar va motorvagonli harakat tarkiblarning qismlari va detallari ekspluatasiya jarayonida yuklamaning ancha yuqori bo'lganligi sababli, har xil kurinishdagi eyilishlarga olibkeladi, natijada ularningstrukturasiva texnik xarakteristikolari o'zgaradi.

Bundan tashqari biriktirilgan detallarda bushliq ortadi, elektrtoki va kuchlanishning nominal qiymatidan ortib ketishi, elektrmashinalar chulg'aming, kontaktor va relig'altagi, rezistor va qarshiliklarning ruxsat etilgan qiymatdan ortiq qizib ketishiga olib keladi.

Buizolsiyaning eskirishiga, uning dielektrik xususiyati yo'qolishiga, teshiklar hosil bo'lishiga va izolyasiyaning buzilishiga olib keladi.

Ishlash xususiyatlariga va ishlashsharoitlariga bog'liqholda (tez-tezqushilishi va ajralishi, elektr harakat tarkibining bir oraliqda yuqori changlikda ishlashiva boshqalar) hamda klimatning va ob havo sharoitining ta'sirida moylash materiallari o'zining xususiyatlarini yo'qotadi, shunga kura ishqalanish kuchi ortadi, eyilish darajasi ortadi va qismva detallarda buzilishlar yuzaga kelish darajasi ortadi. Hozirgi kunda O'zbekiston temiryo'llarida ishlayotgan elektr harakat tarkiblari kontaktarmog'ining o'zgaruvchan tokida ishlaydi. Bu elektr harakat tarkiblarining boshqarish tizimlari sifati ko'pgina kursatgichlar bilan baxolanadi, bulardan quyidagilar asosiylardan hisoblanadi:

rostlash xususiyatlari, xizmatkursatishda energetik xavfsizlik, ergonomik xususiyatlar, avtomatlashtirish va boshqarishning mumkinligi.

Shu jihatlardan elektr harakatlanishda har xil tizimlarni tahlil qilish natijasida kollektorsiz uchfazali motorini (ventilliva asinxron) –konstruksiya jixatidan sodda, ekspluatasiyada ishonchli boshqa turdagi tortuv motorning turini olib bo'lmaydi. CHastotasi 50 Gs bo'lgan uch fazali tokni o'zgarmas tokga o'zgartirish uchun 3 kV

kuchlanishli o'zgaras tok tizimli tortuv nimstansiyalarida uch fazali tok to'g'rilagichi o'rnatiladi. EHT dagi motorlarkuchlanishini rostlash uchun ishga tushirish rezistorlari yoki ancha samaralii mpul'sli o'zgartgichlar qullaniladi [3,4]. CHastotasi 50 Gs bo'lgan o'zgaruvchan tok elektrostansiyalarida chastotasi rostlanadigan elektrharakat tarkiblari motorlarini uch fazali elektr energiya bilan ta'minlash o'zgaras tok elektrta'minot tizimidan 3 kV kuchlanish bilan va chastotasi 50 Gs bo'lgan bir fazali elektr ta'minot tizimidan amalga oshiriladi. Bu hollarda EHT lariga elektr energiyasi umumqullanadigan usullarbilan o'zatiladi. EHT ning o'zida elektr energiyasini o'zgartirish ma'lum bir xususiyatlarga ega bo'ladi [3,5].

Motorlarni uchfazali tokbilan rostlanadigan chastota va o'zgaruvchan kuchlanish bilan ta'minlash uchun o'zgaras tok kuchlanishini uch fazali tokga aylantirib beruvchi avtonom invertorlar qullaniladi. Avtonom invertorlar faqatgina uch fazali o'zgaruvchan tok chastotasini o'zgartirmasdan balki effektiv kuchlanishni asta-sekinlik bilan o'zgartiradigan kenglik-impul'sli boshqarish usuli bilan o'zgartirib ta'minlaydi. CHastota va kuchlanishning bunday bog'liq bo'lmagan holda o'zgartirish lokomotivning harakat tezligini va tortish kuchini samarali rostlashga imkon beradi.

Rekuperativ tormozlash rejimida uch fazali mashinalar generator rejimiga o'tadi. Avtonom invertor yordamida chastota bilan o'zgartirilayotgan uch fazali tok energiyasi o'zgaras tokga aylantiriladi va bevosita tortuv tarmog'iga o'zatiladi (kuchlanishi 3 kV bo'lgan o'zgaras tok tizimida) yoki invertor yordamida chastotasi 50 Gs bo'lgan bir fazali ta'minot tizimiga beriladi [3,5,6].Tortuv tarmog'ining energetik kursatgichlarini oshirish uchun bir fazali tizimda EHT larida tokning va kuchlanishning fazoda berilgan kurinishini barcha turtta kvadrantda ham olishga imkon beradigan impul'sli to'g'rilagich-invertorli o'zgartgichdan foydalaniladi (ko'pincha sinusoidal). Bunday o'zgartgichlar turtkvadrantli o'zgartgichlar nomini oldi [5].

Elektr ta'minoti tizimida va EHTdagi elektr energiyasinio'zgartirishning qisqa analizi shuni kursatadiki, bunda elektrtortishni amalga oshirish uchun barcha tok turini o'zgartirishning barcha to'rtala turi ham qatnashadi.: o'zgaruvchan tok o'zgarasga (to'g'rilash: to'g'rilagich, boshqariladigan to'g'rilagich); o'zgaras tok standart 50 Gs chastotali o'zgaruvchan tokga (invertirlash: invertor, tortish tizimi) yoki rostlanadigan chastotali o'zgaruvchan tokga (invertorlash: avtonom invertor); o'zgaruvchan tok boshqa kattalikdagi o'zgaruvchan tokga (chastota va kuchlanishni o'zgartirish: o'zgarastok oraliq konturida chastotanio'zgartirish – to'g'rilanich va avtonom invertor yoki bevosita chastota o'zgartirgich-NPCH); o'zgaras tok boshqa qiymatdagi o'zgaras tok kuchlanishiga (o'zgaras tokni o'zgartirish: o'zgaruvchan

tok konturining oraliq o'zgartirgichi – avtonom invertor, transformator va to'g'rilagich yoki impulsli o'zgartirgich [3,5].

Hozirgi zamon yarim o'tkazgichli elektron qurilmalar yuqorida sanab o'tilgan harqanday tok o'zgartirgichini ta'minlaydi. SHunga asosan, tor telektr ta'minoti tizimi texnologik jaranlarida va EHTda ko'p funkcionalli rejalashtirilgan kontrollerlarda va shaxsiy EHM larida elektr tortish tizimida energiya tejamkor optimal energiya istemoli bilan temiryo'lining elektrlashtirilgan uchastkalarida hamda metropoliten va shahar elektrtransportini berilgan miqdorda ta'minlash imkonini beradi.

Sanoatning va transportning barcha sohalari rivojlanishi davomo ilmiy texnik jarayon rivoji bilan birga amalga oshirilmoqda. Energetika, elektrlashtirish, avtomatlashtirish va kompyuterlashtirish ilmiy texnik jarayonning muhim yo'nalishi bo'lib hisoblanadi. Elektr energiyasi o'zida juda muhim bo'lgan xususiyatga egadir, (Elektrenergiya ishlab chiqarishda uning yuqori quvvati va istemol qilishda cheksiz taqsimlash imkoniyati mavjudligi; mehnatni mexanizasiyalashning, avtomatizasiyalashning, kompyuterlashtirishning barcha turlarida qullash imkoniyati mavjudligi; ekologiyaga mosligi; yuqori samaradorligi), ilmiy texnik jarayonlar yutuqlarini temiryo'l transportida foydalanish uchun xizmat qiladi [4,6].

Transportni elektrlashtirish bizning mustaqil davlatimizda ham juda samarali hisoblanadi. Bu borada Davlatimiz rahbarining tashabbusi bilan temiryo'l tarmoqlari elektrlashtirilmoqda (Qarshi-Termez, Samarqand-Buxoro va Angren-Pop yangi temiryo'l liniyalari). Bu samaradorlikning asosiy tashkil etuvchilari quyidagilar hisoblanadi: Nisbatan qimmat bo'lmagan issiqlik va gidravlik elektrostansiyalarda ishlab chiqariladigan elektr energiyasidan foydalanish; boshqa tortish turlariga nisbatan yuqori kursatgichlarga ega bo'lgan elektr harakat tarkiblaridan foydalanish(elektrovozlar va elektropoezdlar; tashishlar tannarxini 10-15 % ga pasaytirish; rekuperativ tormozlashni qo'llash va ta'minot tizimiga 10-

15% energiyani qaytarish; ekspluatasion ishonchlikni oshirish; aholini tashishda xizmat kursatish darajasini yaxshilash[4,5].

“Uzbekiston temir yullari” AJda hozirgi kunda ming kilometrdan ortiq elektrlashtirilgan temiryo'l mavjud. Bu temir yo'llarda Respublikamizdagi umumiy tashishning 60% gacha amalga oshiriladi.

Hozirgi zamon o'zgaruvchan tok elektr yuritmalarida aylanish chastotasi rostlanadigan asinxron motorlar qullanilmoqda, ular uchun chastotasi va kuchlanishi rostlanadigan uch fazali o'zgaruvchan tok talab etiladi[2,4].

Elektrlashtirilgan magistral va shahar relsli transportlarda, elektrovozlarda, elektropoezdlarda va tramvaylarda o'zgarmas tok kollektorli motorlar qullaniladi. O'zgarmas tok tizimlarida sanoat chastotali uch fazali o'zgaruvchan tok tortuv nimstansiyalarida o'zgarmas tok kuchlanishiga o'zgartiriladi. Elektr harakat tarkiblari tortuv motorlari kuchlanishini asta-sekin rostlash uchun o'zgarmas tokning bir kuchlanishidan boshqa kuchlanishiga o'zgartirish uchun har xil usullardan foydalaniladi. Rekuperativ tormozlashda elektr harakat tarkiblari tortish rejimida istemol qilmagan ortiqcha energiya tortish nimstansiyalarida uch fazali sanoat chastotali o'zgaruvchan tokga aylantiriladi va ta'minot tarmog'iga qaytariladi[8].

Elektr harakat tarkiblarida sanoat chastotali o'zgaruvchan tok tizimlarida bir fazali tokni o'zgarmas tokga aylantiriladi va tortuv motorlari kollektorlarida kuchlanish asta-sekin rostlanadi. Rekuperativ tormozlash rejimida teskari o'zgartirish motorlar generator rejimida ishlab chiqqan o'zgarmas tok energiyasini bir fazali o'zgaruvchan tok energiyasiga o'zgartirish va ta'minot tizimiga berish talab etiladi. [8, 9].

Shu sababli tortuv nimstaniyalari va elektr harakat tarkibining o'zida ham elektr energiyasini kompleks o'zgartirgichlar zarur bo'ladi.

Hozirgi kunda elektr harakat tarkiblari uchun kollektorsiz uch fazali motorlar ishonchli, samarali va quvvati yuqori bo'lgan asinxron va sinxron motorlar yaratilgan.

Elektr harakat tarkibining tezligini asta-sekin rostlash uchun elektr energiyasi o'zgartirgichining ko'pgina elektron jamlamalari ishlab chiqilgan (chastotani va fazalar sonini o'zgartirgichlar). Bunday o'zgartirgichlar asinxron va sinxron o'zgartirgichlarni uch fazali o'zgaruvchan tok bilan chastotaning bir necha qismidan bir necha yuz gersgacha va kontakt tarmog'idan kerak bo'lgan kuchlanishni va bir fazali o'zgaruvchan tok tarmog'ini ta'minlaydi [4,7].

Yuqori tezlikli 200-250 km/soat tezligi harakatning real holat bo'lishiga elektrlashtirilganlik va kollektorsiz tortuv elektryuritmal va zamonaviy elektr energiyasi o'zgartirgichli yangi elektro poezdlar turlarining paydo bo'lishi bilan yuzaga keldi. Relsli transportning eng yuqori tezligi 1990 yili may oyida Fransiyada yuqori tezlikdagi TGV elektropoezdi bilan 515.3 km/soat tezlikga erishilgan. Germaniyada poligonda uch fazali tokda ishlaydigan magnit yostiqli to'g'ri chiziqli sinxron motorli "Transrapid" tizimi yo'lga qo'yilgan. Motorning tekislikga joylashtirilgan statori yo'l strukturasi joylashtiriladi. Kabel tarmog'i orqali tortuv nimstansiyasidan tiristorli o'zgartirgichlar yordamida chastota va kuchlanish buyicha rostlanadigan uch fazali tok beriladi.

M. P. Kostenkoning fundamental ishlarida [11], asinxron motorlarni chastotali boshqarish nazariyasiga asos solingan bo'lib, chastota  $f$  ning o'zgarishi birinchi marta tezlikni asta-sekin va keng diapozonda rostlashning birdan-bir samarali usul ekanligi kursatilgan. AM ning soddalashtirilgan diagrammasi asosida  $f = \text{var}$  bo'lganda uning ishi samaraliligi kursatildi. AM ning kattaliklari o'zgarishi  $f$  o'zgarganda tahlil qilinadi: magnit oqimi, joriy va maksimal momentlar, o'ta yuklanish xususiyati, absolyut sirpanish, f.i.k..va  $\cos\varphi$ . M. P. Kostenko asinxron motorlarni chastotali boshqarishning qonunini quyidagicha ifodaladi

$$\frac{U}{U_H} = \frac{f}{f_H} \sqrt{\frac{M_c}{M_{CH}}}$$

Bunda  $U$ -stator kuchlanishi;

$M_s$ —motor o'qidagi statik qarshilik momenti.

Bu qonunni amalga oshirish uchun magnit zanjirning tuyinishi bo'lmaganda va statorning aktiv  $r_l$  qarshiligini hisobga olmaganda motorning o'ta yuklanish xususiyatini  $\lambda$ , absolyut sirpanishni  $s_{a6c}$  o'zgaras qiymatlariga erishish mumkin. Bu holda f.i.k. faqatgina  $f$  chastotaning o'zgarishiga bog'liq bo'ladi.

Ishda kursatilgan qonunning ba'zi holatlarida ifoda berilgan, unda

$$R_s = M_s p_s = \text{const}, \quad M_s = \text{const}, \quad M_s = p_c^2$$

Bu yerda  $p_s$ — 1 minutda motor rotorining aylanishlar soni;

$R_s$ — yuklama quvvati.

Maqolada [9]  $M_s = \text{const}$ ,  $U:f = \text{const}$  bo'lgandagi AM ning ish rejimlari ko'rib chiqilgan. Chastotaning ikki qiymati— 50 i 5 Gs buyicha aylana diagrammasi qurilgan. AM momentining  $r_u/U$  va  $U/s$  bog'lanishi o'rnatilgan..

A. Leonard [4] AM ning  $f_n = 50$  Gs va  $f = 0-20$  Gs bo'lgandagi ishchi xarakteristikalarini tadqiq qilgan, bunda asosan ishga tushirish shartiga asosan ortib ketadigan sirpanish  $s_{kp}$ , ishga tushirish momenti  $M$ , ishga tushirish toki, stator kuchlanishi, salt ishlash toki va bu kattaliklarning  $f$  ga bog'lanish grvafiklari o'rganilgan.

A. I. Tovstopalov [4]  $M_s = \text{const}$ ,  $U:f = \text{const}$  bo'lgan holatlar uchun  $s=0$  uchun I ychun  $M_{i.t.}$  ni, kritik moment  $M_{kr}$ ,  $\cos\varphi$ , stator va rotorlarning turg'un holatida temiridagi va misidagi isroflarni va utish jarayonida misdagi isrofni o'rgandi. Asinxron motorning ishga tushirish va tormozlashda elektro mexanik utkinchi jarayonlarni  $\neq$  var bo'lganda birinchi marta I. M. Sadovskim [5] kurib

chiqqan. U asosiy e'tiborni o'tkinchi jarayonning davomiyligi va energiya isrofiga qaratdi. Tadqiqot  $M_s = \text{const}$  I  $U:f = \text{const}$  bo'lgan holatlar uchun qisqa tutash rotorli asinxron motorda o'zgaras kattaliklar bilan  $g_s=0$  va I o'qdagi aylanuvchi moment  $GD^2$  o'zgaras deb qabul qilinadi. AMni ishga tushish jarayoni chastotaning vaqtga bog'lanishi  $f = at$  bilan tekshirildi. *Moment o'zgaruvchan bo'lganda*  $M$ (motor momenti), yuritmaning harakat tenglamasi  $s_{a6c}$  va  $t$ , grafik usuli bilan echilgan avtor tomonidan stator magnit maydonining tezlanishining—  $a$  har xil qiymatida o'rganilgan. Amning ishga tushirishni  $f = \text{const}$ ,  $a = 0$  va chastotali ishga tushirish taqqoslangan.

A. A. Bulgakov [16] Amning elektro mexanik o'tish jarayonini  $f_H = va$  r bo'lgandagi nazariyasini ilgari surdi, unda chastotali ishga tushirish va tormozlashni  $M_s = \text{const}$  bo'lganda  $r_t$  da kuchlanishning tushishini hisobga olgan holda  $r_g$  ning magnit oqimiga,  $s$ ,  $M$  ta'siriniva  $M = F(s)$  bog'lanishni kurib chiqdi.

### **Asinxron TEM Chastotali rostlashda Kostenko qoidasi**

Ma'lumki, asinxron motor rotor aylanish chastotasi  $n_2$  quyidagiga teng:

$$n_2 = \frac{60 \cdot f_1}{p_1} \cdot (1 - s), \quad (1.1)$$

bu yerda  $f_1$  – ta'minot kuchlanishi chastotasi,

$p_1$  – juft qutblar soni,

$s$  – sirpanish.

Shunday qilib, asinxron tortuv motorli EHT harakat tezligini rostlash uchun  $f_1$  chastotani rostlash kifoya.

ATM elektromagnit momentiga mutanosib bo'lgan tortuv kuchini rostlash murakkabroq, u quyidagi formula bilan aniqlanadi:

$$M_g = \frac{p_1 \cdot m_1 \cdot w_1}{\sqrt{2}} \cdot K_{q\dot{m}1} \cdot \Phi \cdot I_2' \cdot \cos\psi_2, \quad (1.2)$$

bu yerda  $p_1$  – juft qutblar soni;

$m_I$  – stator cho'lg'ami fazalari soni;

$w_I$  – stator cho'lg'ami qutbi va fazasining o'ramlar soni;

$K_{cho'll}$  – statorning cho'lg'am koeffitsiyenti;

$I_2'$  – stator cho'lg'amiga keltirilgan rotor toki (ta'sir etuvchi qiymat);

$F$  – stator magnit oqimi (amplitudaviy qiymati);

$\psi_2$  -  $F$  va  $I_2'$  vektorlari orasidagi burchak.

$$\cos \psi_2 = \frac{r_2}{\sqrt{r_2^2 + (2 \cdot \pi \cdot f_s \cdot L_{2s})^2}}, \quad (1.3)$$

bu yerda  $r_2$  – rotor cho'lg'ami o'zagi ekvivalent aktiv qarshiligi;

$L_{2s}$  - rotor cho'lg'ami sochilish induktivligi;

$f_s = f_1 \cdot s$  - sirpanish chastotasi (absolyut sirpanish).

(1.2) formulaga kiruvchi kattaliklarni quyidagini e'tiborga olib o'zgartiramiz:

$$U_1 \approx E = 4.44 \cdot f_1 \cdot \Phi \cdot w_1 \cdot K_{o\phi 1} = \frac{2 \cdot \pi}{\sqrt{2}} \cdot f_1 \cdot \Phi \cdot w_1 \cdot K_{o\phi 1}.$$

bundan

$$\frac{\Phi \cdot w_1 \cdot K_{o\phi 1}}{\sqrt{2}} = \frac{U_1}{2 \cdot \pi \cdot f_1}.$$

Keltirilgan rotor toki

$$I_2' = \frac{U_1}{\sqrt{(r_1 + \frac{r_2}{s})^2 + (x_1 + x_2)^2}};$$

$s \rightarrow 0$  ni hisobga olib

$$r_1 \ll \frac{r_2}{s} \text{ va } x_1 \ll x_2$$

bu erda  $s = f_s/f_1$  – nisbiy sirpanish,

$$I'_2 \approx \frac{U_1 \cdot s}{\sqrt{r_2^2 + s^2 \cdot x_2^2}} = \frac{U_1 \cdot f_s}{f_1 \cdot \sqrt{r_2^2 + (2 \cdot \pi \cdot f_2 \cdot L_{2s})^2}}.$$

(1.3) va (1.4) ni (1.2) ga qo'ysak:

$$M_{\text{э}} = \frac{p_1 \cdot m_1}{2 \cdot \pi} \cdot \frac{U_1}{f_1} \cdot \frac{U_1 \cdot f_s}{f_1 \cdot \sqrt{r_2^2 + (2 \cdot \pi \cdot f_s \cdot L_{2s})^2}}.$$

Ushbu ifodani chap tarafga barcha o'zgaruvchi kattaliklarni o'tkazib va o'ng tarafda barcha doimiylarni qoldirib o'zgartiramiz

$$\frac{M_{\text{э}} \cdot f_1^2}{U_1^2} = \frac{p_1 \cdot m_1 \cdot f_s \cdot r_2}{2 \cdot \pi \cdot [r_2^2 + (2 \cdot \pi \cdot f_s \cdot L_{2s})^2]}.$$

Teskari kattaliklarni tengligini ko'rib chiqamiz hamda ularni kvadrat ildiz ostidan chiqaramiz

$$\frac{U_1}{f_1 \cdot \sqrt{M_{\text{э}}}} = \frac{\sqrt{2\pi} \cdot \sqrt{r_2^2 + (2 \cdot \pi \cdot f_s \cdot L_{2s})^2}}{\sqrt{p_1 \cdot m_1 \cdot r_2 \cdot f_s}} = \text{const.} \quad (1.5)$$

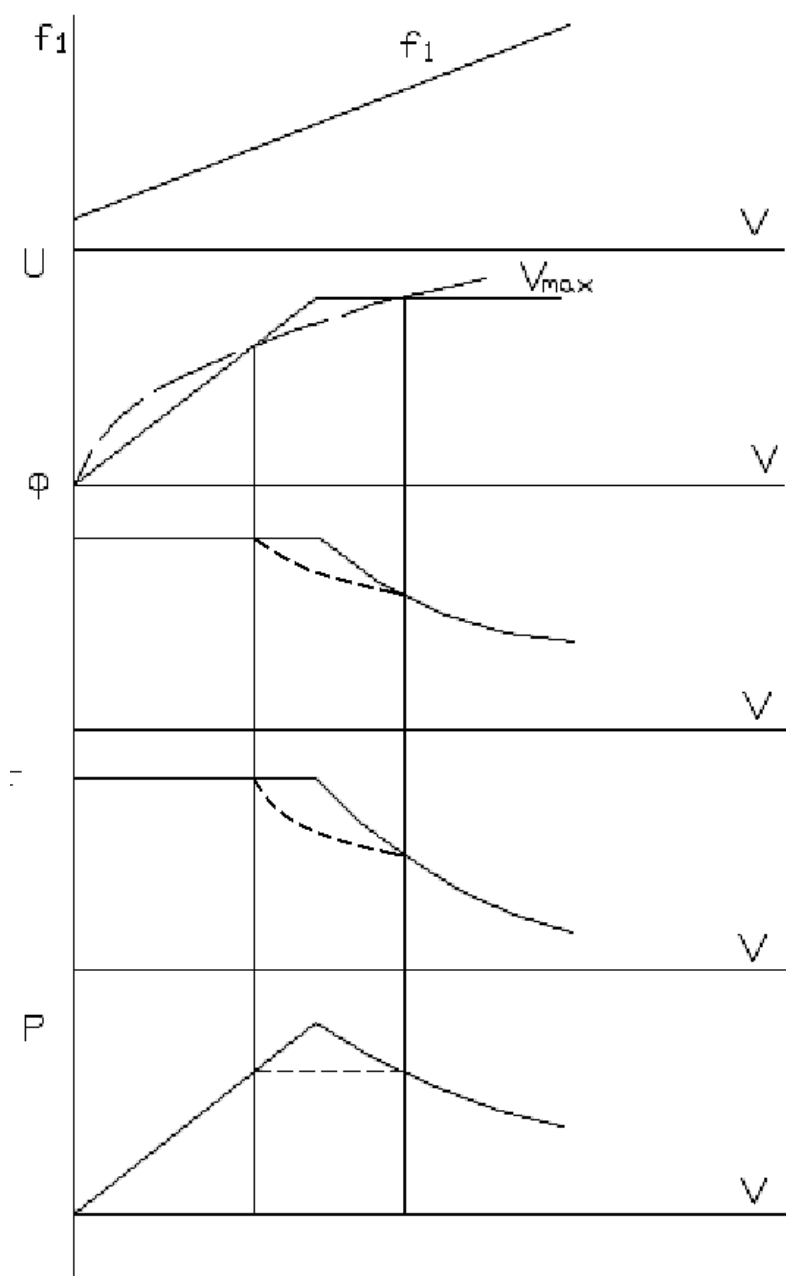
(1.5) formulani 1925 yilda M. P. Kostenko hisob kitob natijasida olgan. M. P. Kostenko Leningrad Polityexnika instituti profyessori, Sobiq Ittifoq Fanlar Akadyemiyasi elektromexanika instituti diryectori bo'lgan.

Kostyenko qoidasi quyidagi hollarda ishlaydi:

- sinusoidal kuchlanishda;
- magnit zanjirining to'yinmagan holatida (salt ishlashning juda ham kichik tokida);
- stator zanjiridagi  $r_1$  va  $x_1$  da kuchlanishning juda ham kam pasayishida;

-chegaraviy qiymatdan kichik bo'lgan sirpanish chastotasi  $f_s = f_1 \cdot s$  doimiyligida.

Oxirgi shart turli chastota  $f_1$  da ishlaganda F.I.K.,  $\cos \varphi$  va o'ta yuklanish xususiyatining doimiyligini ta'minlaydi.



1.1-rasm

(1.5) formuladan ko'rinib turibdiki, ATM aylanish momentini rostdlash uchun ta'minot kuchlanishi  $U_l$  va chastotasi  $f_1$  ni bir vaqtda o'zgartirish

lozim. CHastotaviy rostdash rejimi chastota  $f_1$  ga mutanosib rotor aylanish chastotasining moment  $M$  ga bog'liqligidan aniqlanadi.

Yuklama turi va cheklovlarga aniqlanadigan turli ish sharoitlari uchun Kostenko qonunini ko'rib chiqamiz. Tortuv yuklamasida, ayniqsa ishga tushirishda aylanish chastotasiga bog'liq bo'lmagan TEM o'qida doimiy momentga ega bo'lishi maqsadga muvofiq.

1.1- rasmda tortuv yuklamasi va quvvat hamda kuchlanish bo'yicha cheklovlarning grafik bog'liqliklari ko'rsatilgan.

1.1-jadvalda Kostyenko qonunining xususiy holatlari formulalari keltirilgan.

1.1-jadval

|                                          | YUklama turi                        |                                               |                                     | Cheklovlar                                    |                             |
|------------------------------------------|-------------------------------------|-----------------------------------------------|-------------------------------------|-----------------------------------------------|-----------------------------|
|                                          | Aerodina<br>mik                     | Gidrodi-<br>namik                             | Tortuv                              | Quvvat<br>bo'yicha                            | Kuchlanis<br>h bo'yicha     |
| $M(f_1)=$                                | $= C_{M2} \cdot f_1^2$              | $= C_{M1} \cdot f_1$                          | $= C_{M0}$                          | $= C'_M \cdot f_1^{-1}$                       | $= C''_M \cdot f_1^{-2}$    |
| Kostenko<br>qonunining<br>xususiy holati | $U_1 \cdot f_1^{-2} =$<br>$= const$ | $U_1 \cdot f_1^{-\frac{3}{2}} =$<br>$= const$ | $U_1 \cdot f_1^{-1} =$<br>$= const$ | $U_1 \cdot f_1^{-\frac{1}{2}} =$<br>$= const$ | $U_1 = const$               |
| $U(f_1)$                                 | $= C_{U4} \cdot f_1^2$              | $= C_{U3} \cdot f_1^{\frac{3}{2}}$            | $= C_{U2} \cdot f_1$                | $= C_{U1} \cdot f_1^{\frac{1}{2}}$            | $= C_{U0}$                  |
| $F(f_1)$                                 | $= C_{\Phi 2} \cdot f_1$            | $= C_{\Phi 1} \cdot f_1^{\frac{1}{2}}$        | $= C_{\Phi 0}$                      | $= C'_\Phi \cdot f_1^{-\frac{1}{2}}$          | $= C''_\Phi \cdot f_1^{-1}$ |
| $R(f_1)=Mf_1$                            | $= C_{P3} \cdot f_1^3$              | $= C_{P2} \cdot f_1^2$                        | $= C_{P1} \cdot f_1$                | $= C_{P0}$                                    | $= C'_P \cdot f_1^{-1}$     |

### **ATM parallel ishlashdagi xususiyatlari**

Chastota  $f_1$  ni rostlash usulidan qat'iy nazar quyidagi munosabat o'rinli

$$f_1 = \frac{\omega_2}{2 \cdot \pi} \pm f_s,$$

bu yerda  $\omega_2$  - rotorning aylanish tezligi;  $f_s$  - sirpanish chastotasi (rotor cho'lg'amidagi chastota);  $\pm$  ishora mos holda motor va generator rejimlari uchun.

Bir nechta ATM ni bitta invertor yordamida ta'minlaganda hamma ATM da  $f_1$  bir xil bo'ladi. Lekin bandaj diametrlari orasida 10 mm gacha farq bo'lishi mumkinligini e'tiborga olsak, erkin aylanayotgan g'ildirak juftliklari aylanish tezliklari orasidagi farq 1% ni tashkil etishi mumkin.

ATM chastotasini umumiy rostlash har xil o'qlarda bir joyda aylanishni oldini olib elektrovoz tortuv xususiyatlarini yaxshilaydi. Bunda quyidagilar maqsadga muvofiq:

- 1). har bir aravacha ATM larini umumiy avtonom invertori (AI) yordamida ta'minlash;
- 2). chastota  $f_1$  ni rostlashni kichik diametrga ega g'ildirak juftligi aylanish chastotasini o'lchash yordamida amalga oshirish. Bunda g'ildirak juftliklari yuklamalari orasidagi farq 1,5 martadan kam bo'ladi. Ilashish yo'qolganda eng ko'p yuklamaga ega bitta g'ildirak juftligi sirpanadi.

#### **Xulosalar:**

1. Chastotali rostlashda TEM larda isroflar ruxsat etilgan qiymatlardan oshmasligi uchun rotorning chastotasi  $f_s \leq f_{sh} = const$  bo'lishi lozim. Bunda elektrovoz tezligi  $Vf_1$  ga mutanosib.

2. Chastotaviy rostlashda Kostenko qonunidan foydalaniladi  $\frac{U_1}{f_1 \cdot \sqrt{M}} = const$ .

Kostenko qonuni quyidagi farazlarda o'rinli:

a)  $f_s = const$ ;

b) magnit zanjir to'yinmagan;

v) stator aktiv qarshiligi va sochilish induktivligidagi kuchlanish pasayishi juda ham kichik;

g) rotordagi sirpanish doimiy va u chegaraviy qiymatdan oshmaydi.

3. Elektrovozni ishga tushirida  $F = const$  ni ushlab turish talab etiladi. Bu  $M = const$  yoki  $\frac{U_1}{f_1} = const$  bo'lganda erishiladi.

4. Chastotaviy rostlashda kuchlanish nominal qiymatga yetganda u doimiy  $U_1 = const$  qolishi lozim. Bunda tortuv kuchi va magnit oqim  $FV^2 = const$  va  $\Phi V = const$  qonunlar bo'yicha kamayadi.

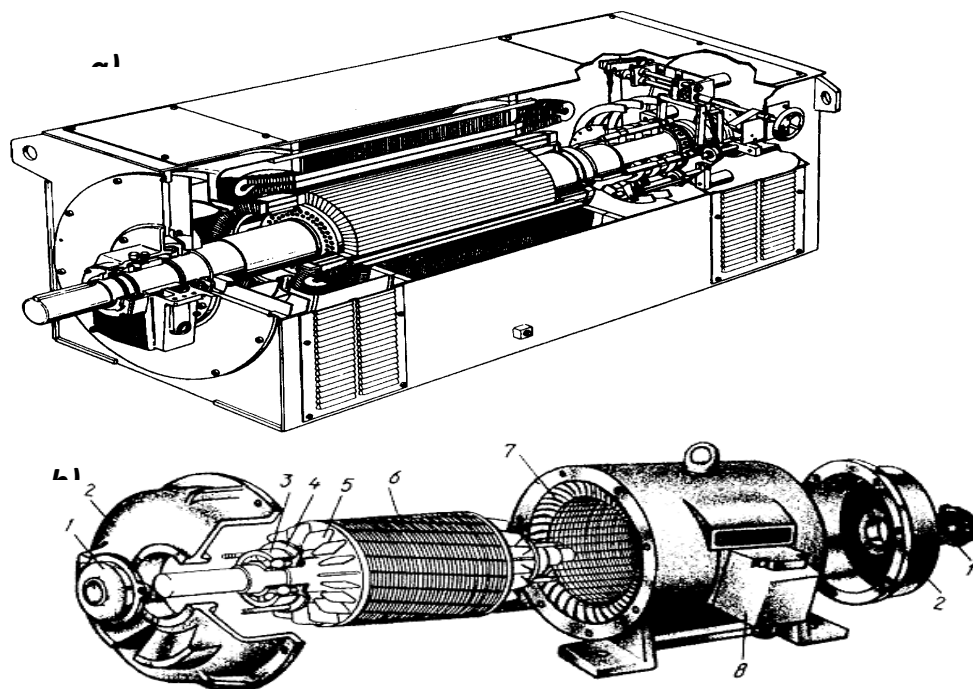
5. Kontakt tarmog'idan iste'mol qilinadigan maksimal quvvat  $\frac{U_1}{f_1} = const$  qonundan  $U_1 = const$  qonunga o'tishga mos keladi. Zaruriyat bo'lsa quvvat bo'yicha cheklov kiritish mumkin. Bunda rostlash qonuni tortuv kuchi uchun  $\frac{F}{f_1} = const$ , kuchlanish uchun  $\frac{U_1}{\sqrt{V}} = const$ , magnit oqim uchun  $\Phi \cdot \sqrt{V} = const$  ko'rinishida bo'ladi.

## **1.2. Asinxron mashinaning tuzilishi, ishlash prinsipi va ish rejimlari**

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

Asinxron motorning rotorini stator ichiga o'rnatiladi. Rotor – o'qi, po'lat o'zak va uning pazlariga joylashtirilgan qisqa tutashgan chulg'am yoki uchta fazaviy

chulgʻamdan iborat. Stator – qobiq, poʻlat oʻzak va uning pazlarida joylashgan bir, ikki yoki uch fazali chulgʻamdan iborat. Stator va rotorlarning poʻlat oʻzaklari maxsus elektrotexnik poʻlatdan tayyorlangan yupqa tunukalardan yigʻiladi.



1.2., a –rasm. «BROWN BOVERI» (Shveytsariya) firmasi ishlab chiqargan katta quvvatli faza rotorli asinxron motor; b) Rossiyada ishlab chiqarilgan qisqa tutashgan rotorli asinxron motorning qismlarga ajralgan holda koʻrinishi: 1 – qopqogʻ; 2 – podshipnik qalqoni; 3 – podshipnik; 4 – podshipnik qopqogʻi; 5 – ventilyatsiya uchun kurakchalar; 6 – chulgʻami qisqa tutashgan rotor; 7 – stator chulgʻami; 8 – stator chulgʻami chiqish uchlari jamlangan quticha

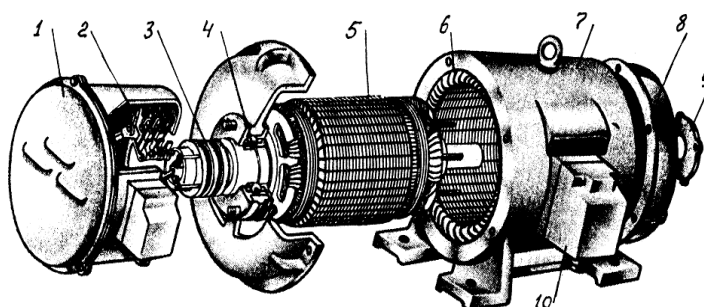
Asinxron motorlar rotorining tuzilishiga qarab ikki xil boʻladi [5,6]:

1) qisqa tutashgan rotorli asinxron motor (rotor chulgʻami qisqa tutashgan) (1.2.-rasm);

2) faza rotorli asinxron motor (rotor chulgʻami uch fazali) (1.3.-rasm).

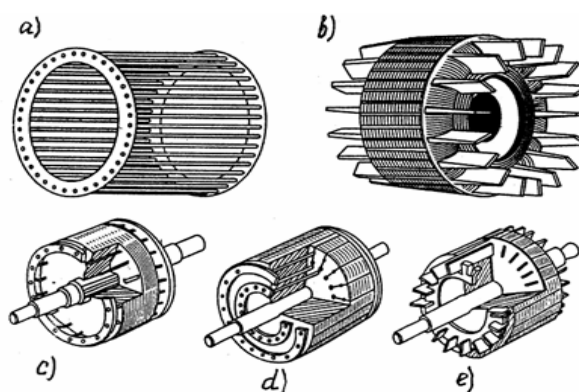
Qisqa tutashgan rotorli asinxron motor – rotorining poʻlat oʻzagi pazlariga eritilgan alyuminiy quyilib chulgʻam oʻtkazgichlari (sterjenlar) hosil qilinadi va ularning pazlardan tashqari uchlari ikki tomondan quyma alyuminiy halqalar orqali

qisqa tutashgan bo‘ladi. Natijada, yaxlit "olmaxon katagi" ko‘rinishidagi qisqa tutashgan chulg‘am hosil qilinadi (1.3,a -rasm).



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

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



1.4.-rasm. Chul ami qisqa tutashgan rotorning konstruksiyalari: a - "olmaxon katagi" sterjenlari; b - quyma alyu miniy chul amli; s - odatdagi katakli; d - qo‘sh katakli; e - chuqur katakli.

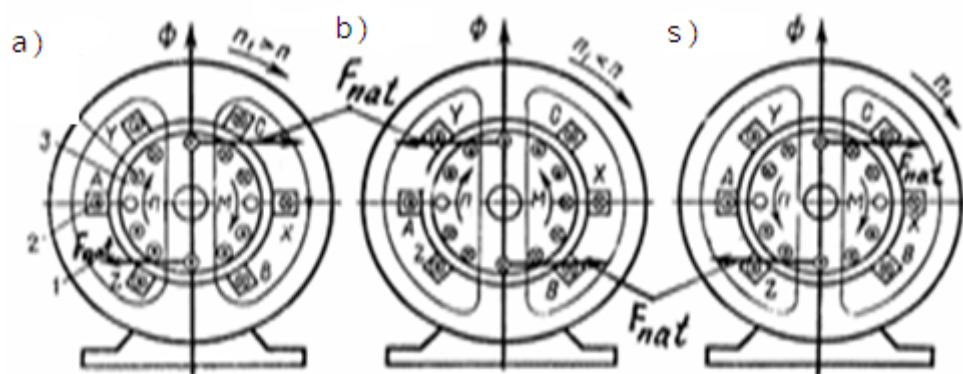
chulg‘amlari yulduz usulida ulangan bo‘ladi va ularning uchlari esa o‘qning bir tomonida o‘rnatilgan uchta mis yoki jez (mis va rux aralashmasi) halqalarga ulanadi.

**Ishlash prinsipi.** Uch fazali asinxron motorning stator chulgʻamiga uch fazali tok berilganda vujudga kelgan magnit yurituvchi kuch (MYuK) statorda aylanish chastotasi  $n_1 = 60 \frac{f}{p}$  boʻlgan aylanma magnit maydonni hosil qiladi. Bu maydon kuch chiziqlari stator chulgʻami oʻramlarini va rotorning qisqa tutashgan chulgʻam sterjenlarini yoki uch fazali chulgʻami oʻramlarini kesib oʻtib, ularda EYuK lar hosil qiladi. Agar rotor chulgʻami qisqa tutashgan boʻlsa, undagi EYuK taʼsirida qisqa tutashgan rotor chulgʻamlari oʻtkazgichlaridan tok oʻtib, bu tokning stator hosil qilgan aylanma magnit maydoni bilan oʻzaro taʼsiri natijasida rotor chulgʻami oʻramlariga elektromagnit kuch taʼsir qiladi. Bu kuch hosil qilgan aylantiruvchi (elektromagnit) moment tormozlovchi momentdan katta boʻlsa, rotorni aylanma magnit maydon yoʻnalishida aylantiradi.

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

$$\text{a) } S_{(n.b)} = \frac{(n_1 - n)}{n_1}; \quad \text{b) } S_{(\%)} = \frac{(n_1 - n)}{n_1} \cdot 100 \quad (1.1)$$

**Ish rejimlari.** Stator magnit maydonining aylanish chastotasi  $n_1$  va rotorining aylanish chastotasi  $n$  larning qiymatlariga bogʻliq holda asinxron mashina motor, generator va elektromagnit tormoz rejimlarida ishlashi mumkin. Bulardan tashqari qisqa tutashuv va salt ishlash rejimlari hamma vjuddir.



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

Asinxron mashina motor rejimida (1.5.a-rasm) ishlaganida rotorning aylanish chastotasi stator aylanma magnit maydoni chastotasidan kichik ( $n_1 > n$ ) bo'lib, sirpanish esa  $0 < s < 1$  oraliqda bo'ladi. Bu holda stator chulg'ami tarmoqdan elektr energiya bilan ta'minlanadi va rotorning o'qi qandaydir mexanizmga mexanik momentni beradi. Mashinada elektr energiya mexanik energiyaga aylantiriladi.

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

Agar asinxron mashinaning rotorini birorta mexanizm yordamida stator magnit maydoni aylanish chastotasidan katta ( $n > n_1$ ) bo'lgan chastotada aylantirilsa rotor chulg'ami o'tkazgichlaridagi EYuK, tokning aktiv tashkil etuvchisi va sirpanishlar o'z yo'nalishini o'zgartiradilar. Bunda elektromagnit moment  $M$  ham o'z yo'nalishini o'zgartirib tormozlovchi bo'ladi (1.5,b-rasm), ya'ni asinxron mashina generator rejimiga o'tadi. Asinxron mashina generator rejimda birlamchi motordan mexanik energiya olib, uni elektr energiyaga aylantirib tarmoqqa beradi. Bunda sirpanish  $0 > s > -\infty$  oraliqda o'zgaradi (« $-\infty$ » – nazariy jihatdan; amalda esa olib bo'lmaydi).

Agar asinxron mashinaning rotorini boshqa motor bilan stator magnit maydoni aylanishiga teskari yo'nalishda aylantirilsa, rotor chulg'ami o'tkazgichlaridagi EYuK va tokning aktiv tashkil etuvchisi motor rejimidagi

singari yoʻnalgan boʻladi, yaʼni mashina tarmoqdan energiya oladi [6]. Lekin bu rejimda elektromagnit moment rotor aylanishiga teskari yoʻnalib, tormozlovchi boʻladi (1.5., s-rasm). Bu rejim – asinxron mashinaning elektromagnit tormoz rejimi deyiladi. Bu rejimda rotorning aylanish yoʻnalishi aylanma maydonnikiga nisbatan teskari boʻlgani uchun rotor aylanish chastotasi  $n < 0$ , sirpanishi esa  $1 < s < +\infty$  oraliqda oʻzgaradi. Bu rejimda asinxron mashina rotor tomonidan mexanik energiya, stator tomonidan esa elektr energiya oladi.

Asinxron mashinaning elektromagnit tormoz rejimi amaliyotda kranlarda va koʻtargich mexanizmlarda yukni tushirish jarayonida uning tezligini kamaytirish yoki zarur boʻlganda ularni tezda toʻxtatish uchun qoʻllaniladi. Bu maqsadda stator chulgʻamiga tarmoqdan ulangan xohlagan ikkita simning oʻrnini almashtirib ulash kerak boʻladi. Bu holda statorning aylanma magnit maydoni oʻz yoʻnalishini oʻzgartiradi va tormoz momentini hosil qiladi. Bu re-jimda sirpanish katta ( $s = 1$ ) boʻlganligidan, rotor chulgʻamidagi EYuK, demak, tok ham katta boʻladi. Bu tokni kamaytirish uchun faza rotorli motorda rotor chulgʻamini aktiv qarshilikka – tormozlovchi reostatga ulaydilir. Umumiy maqsadli asinxron motorlar nominal yuklama bilan ishlayotgandagi sirpanish  $s_n = 3 \div 5\%$  ni, maxsus asinxron motorlarning ayrimlarida esa  $s_n = 12 \div 15\%$  ni tashkil qiladi.

## **II.Bulim. Asinxron tortuv motorlarni boshqarish uchun o'zgartgichlar.**

### **EHT boshqarish tizimlarning o'zgartgich turiga qarab klassifikatsiyalanishi.**

EHT boshqarish tizimlarinin go'zgartgich turiga qarab klassifikatsiyasi 2.1. – rasmda keltirilgan.

#### **1.O'zgartgichlarsiz EHTning boshqarish tizimlari.**

Tarixiy birinchi elektrovozlar o'zgartgichlarsiz eng sodda boshqarish tizimiga ega bo'lganlar. Bunday boshqarish tizimlarida TEMlarini pog'onali ravishda TEMlaridagi  $U_M$  kuchlanishni qo'zg'atish tokini  $I_q$  rostdash bilan va ishga tushirish rezistori  $r$  ni qo'shish bilan (o'zgaras tok EHTlarida) yoki transformatorning cho'lg'ami o'ramlar sonini qayta ulash bilan rostdash mumkin. Kollektorli o'zgaras tok va bir fazali kollektorli tortuv elektr motorlari qo'llaniladi.

O'zgartgichlarsiz EHTning boshqarish tizimlari afzalliklari – soddaligi va arzonligi, kamchiligi – ishga tushirish rezistorida sezilarli isroflar, tortish kuchini pog'onali rostlanishi, kollektorli TEMlarning konstruksiyasi murakkabligi va komutatsiya bo'yicha ularning quvvati chegaralanganligi. 1960-yilga qadar Yevropa elektrlashgan temir yo'llarda o'zgartgichsiz boshqarish tizimli EHT lardan foydalanilgan. Hozirgi kunda o'zgartgichlar texnikasi rivojlanishi bilan bunday boshqarish tizimlari yetakchi o'rinda bo'lmasada, o'zgaras tok EHT larida hozirgacha qo'llaniladi.

**2.Aylanuvchan o'zgartgichli EHT boshqarish tizimlari.** XX asrning birinchi yarmida AQSh va Vengriyada aylanuvchan o'zgartgichli elektrovozlar qo'llanilgan. Bunday birinchi elektrovozlar bir fazali kuchlanishni uch fazali kuchlanishga o'zgartirib beruvchi sinxron

aylanuvchan o'zgartgichdan va faza rotorli asinxron motordan iborat bo'lgan. Rostlash TEM qutblar sonini va rotor zanjiridagi ishga tushirish qarshiligini o'zgartirish orqali amalga oshiriladi. Bunday elektrovozlarning soni yigirma – o'ttiztadan oshmagan.

1947–1955 yillarda normal chastotali o'zgaruvchan tok elektrlashgan temir yo'llar rivojlanishi bilan AQSH, Fransiya va Vengriyada o'zgarmas tok kollektorli yoki o'zgaruvchan tok qisqa tutash rotorli asinxron TEM li aylanuvchan o'zgartgichli turli xil elektrovozlari ishlab chiqarilgan. TEM tezligini rostlash kuchlanishni va chastotani o'zgartirish orqali amalga oshirilgan.

Bunday boshqarish tizimlari quyidagi afzalliklarga ega:

- 1) Kontakt tarmog'i tok turi va kuchlanish qiymatiga bog'liq bo'lmagan holda TEM ni optimal parametrlar bilan ishlatish imkoniyati mavjudligi;
- 2) Tortuv kuchi va tezlikni ravon rostlash imkoniyati mavjudligi;
- 3) Kontakt tarmog'idan sinusoidal shakldagi tok iste'mol qilishi va sinxron dvigatelli o'zgartirgich qo'llanilishi natijasida quvvat koeffitsientini rostlash imkoniyati mavjudligi;

Ammo aylanuvchan o'zgartgichli elektrovozlari uchun ikkita sezilarli kamchiliklar mavjud:

- 1) TEM birlik quvvatiga to'g'ri keladigan elektr uskunalarning massasining og'irligi. Yo'l tuzilishidan kelib chiqib g'ildirak juftliklaridan relsga tushadigan yuklama chegarasini hisobga olib bunday elektrovozlari harakatlanuvchi o'qiga to'g'ri keladigan quvvat  $400 - 500 \text{ kVt}$  dan oshmasligi lozimligi;

- 2) Uch – besh karra energiyani o'zgartirish hisobiga elektrovoz FIK ining nisbatan kichikligi.

1955 yildan so'ng bunday elektrovozlar ishlab chiqarilishi to'xtatilgan.

**3. Statik o'zgartirgichli EHT boshqarish tizimlari.** Hozirgi kunga qadar statik o'zgartirgichlar kelib chiqish bosqichlarini besh avlodga bo'lish mumkin:

Birinchi avlod statik o'zgartirgichlari sifatida AQSH, Fransiya va sobiq sovet ittifoqi EHT larida bir anodli simobli to'g'irlagichlardan foydalanilgan. Ularning kamchiligi: konstruksiya gabaritlarining kattaligi, harakat tarkibining doimiy tebranishlari tufayli qurilmaning germetik holatini ta'minlash murakkabligi, to'g'irlagichlar haroratini ma'lum bir oraliqda (35–40<sup>0</sup> C) ushlab turish zaruriyati, bu esa suv yordamida sovutish tizimini talab qilardi, to'g'irlagich qobig'i shikastlanishi natijasida elektrovozning simob bilan zaharlanishi. Shu bilan bir qatorda simobli to'g'irlagichlar aylanuvchan o'zgartirgichlarga nisbatan TEM birlik quvvatiga to'g'ri keladigan massasi kichikligi, FIK ning kattaligi kabi afzalliklarga ega.

Ikkinchi avlod to'g'irlagichlarida kremniyli diodlardan foydalanilgan. Birinchi bo'lib 1958–1959 yillarda Yevropada, so'ngra sobiq sovet ittifoqida foydalanila boshlangan. Kremniyli diodlardan foydalanish suv bilan sovutish tizimini havo bilan sovutish tizimiga almashishiga, to'g'irlagich uskunaning massasi va gabaritini ixchamlanishiga va FIK hamda ishonchliligining ortishiga olib keldi.

Birinchi va ikkinchi avlod elektrovoz TEM larida kuchlanish transformator ikkilamchi cho'lg'ami o'ramlari sonini kontaktorlar yordamida o'zgartirish hisobiga rostlangan.

Uchinchi avlod statik o'zgartirgichlarida boshqariladigan yarim o'tkazgichli qurilmalar – kremniyli tiristorlardan foydalanilgan. Bu kontaktorlardan vos kechib kontaktsiz rostlash tizimiga o'tish imkoniyatini berdi. Bundan tashqari statik o'zgartirgichli elektrovozlarda rekuperatsiya qilish hamda kollektorsiz TEM lardan foydalanish imkonini berdi.

To'rtinchi avlod statik o'zgartirgichlarida to'liq boshqariladigan yarim o'tkazgichli GTO (Gate Turn Off thyristor – yopiladigan tiristor) tiristorlardan foydalanilgan bo'lib, bu ayniqsa, asinxron yuritmalı elektrovozlarda o'zgartirgichlarning massa – gabarit ko'rsatkichlarini yaxshilash imkonini berdi.

Hozirgi kunda beshinchi avlod statik o'zgartirgichlari jadal sur'atlar bilan rivojlanib bormoqda. Bu avlod kuch yarim o'tkazgichlariga IGBT (Insulated Gate Bipolar Transistor – izolyatsiyalangan zatvorli bipolar tranzistor) va IGCT (Integrated Gate Commutated Thyristor – boshqaruv bloki integratsiyalangan yopiladigan tiristor) qurilmalari kiradi. Statik o'zgartirgichlari kamchiliklari:

- tortuv va rekuperatsiya holatlarida chuqur fazaviy rostlashda quvvat koeffitsientining keskin tushishi;
- kontakt tarmog'idan iste'mol qilinayotgan tok egrisi shaklining buzilishi va yuqori garmonikalarda reaktiv quvvatni kompensatsiyalash zarurati.

**4. Tortuv o'zgartgich qurilmalari uchunu mumiy talablar.** Asinxron motorli elektrharakat tarkiblari elektrqurilmalariga quyiladigan asosiy talablardan biri elektr energiyani amalga oshirish hisoblanadi, ya'ni birinchi navbatda rekuperativ tormozlashni. Shuning uchun bu erda ikki yo'nalishda ham ishlaydigan ya'ni kirish o'zgartgichlari ikki yo'nalishda ham elektrenergiasi oqimini berishni ta'minlashi –krntakt

tarmog'idan motorga va teskarisi. Bu qurilmalarda asinxron motorlar stator chulg'amlaridagi beriladigan kuchlanish qiymatini rostlash funksiyasi yuklatilganligini hisobga olsak, shunday o'zgartirgichlarni va ular bilan o'zgartirish usullarini kurib chiqish lozimki, unda o'zgartgichning kirishida va chiqishida ham elektr energiyasining yaxshi sifati energetik kursatgichlarning amalga oshirishni taminlasin.

Elektrenergiyasini o'zgartgichlarning kursatgichlarini va xarakteristikalarini hisoblashda birlamchi ma'lumotlar sifatida hamda ularning kuch zanjirlari elementlari parametrlarini tanlashda quyidagilar tavsiya etiladi:

- kontakt tarmog'idagi tok va nominal kuchlanishning kurinishi;
  - kontakt tarmog'idagi kuchlanishning uning nominal qiymatidan o'zgarish oralig'i;
  - o'zgartgichning chiqishida tok va kuchlanish qiymatining nominal va maksimal (nominal ekspluatasiya qilishda) qiymatlari;
  - o'zgartgichning chiqishida kuchlanish (tokkuchi) qiymatining o'zgarish oralig'i;
- O'zgartgich ni hisoblash natijasida aniqlanadi:
- uning har-bir kuch zanjiri elementidagi kirish qisgichlarini hisobga olgan holda tok va kuchlanish qiymatlarini;
  - har-bir tanlangan turdagi ventil zanjiridagi ketma-ket parallel biriktirilgan yarim o'ztkazgichli o'zgartgichning va ularning guruhli biriktirishda ventillar orasidagi tok va kuchlanishlarni tenglashtiruvchi elementlar parametrlari soni;
- o'zgartgichning kuch zanjiridagi drossellning induktivligi va kondensatorning sig'imi;
  - o'zgartgichning F.I.K. (agar kontakt tarmog'ida o'zgaruvchan tok bo'lsa uning kirish qismlarida quvvat koeffisienti);
  - o'zgartgichning tashqi va rostlash xarakteristikalar;

- kontakt tarmog'I bilan kirish o'zgartgichi orasidagi elektromagnit birikuvchanli keng og'ir deb qaralgandagi kirishva chiqish tok va kuchlanishlarining hamda yuklamaning kurinishlari (kontakt tarmog'idan ta'minlanadigan boshqa istemolchilar yoki relsli zanjirdan foydalanganda). Ba'zida filtrlovchi qurilmani hisoblash uchun zarur bo'lgan egrichiziqlar kurinishidan tashqari ularning garmonik tarkibini hambilishl ozim bo'ladi.

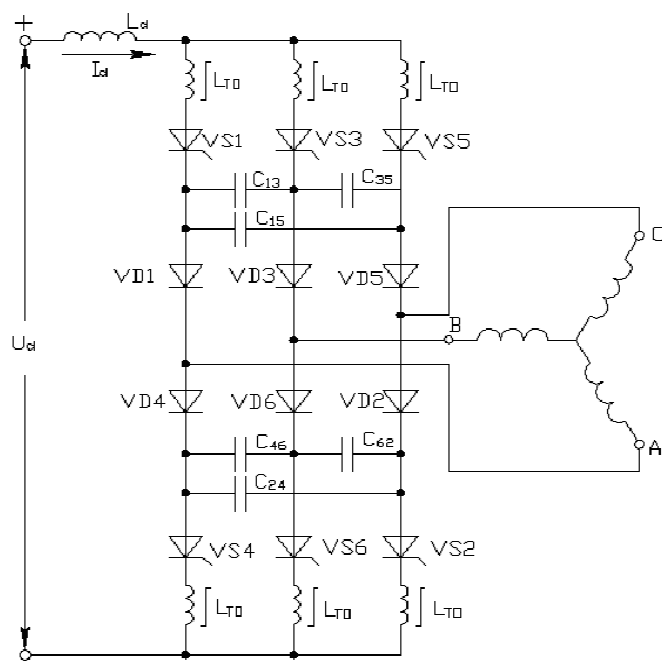
## **2.1. ATM ning tok va kuchlanish invertorlari bilan ishlashi**

### **2.1.1. ATM ning tok invertori bilan ishlashi**

ATM ni ATI dan ta'minlash prinsipial sxemasi 2.2-rasmda keltirilgan. Kirish qismida doimiy kuchlanish tarafidan induktiv filtr  $L_d$  ulangan. Har bir fazada tiristor  $VS$  bilan ketma-ket kesuvchi diod  $VM$  ulangan. Tiristor va diodlar orasiga uchburchak qilib kommutatsiyalovchi kondensatorlari ulangan. Tiristorlar bilan ketma-ket kondensator zaryadi tokining oshish tezligini  $\frac{di}{dt}$  cheklash maqsadida tokni cheklovchi to'yinish drossellari  $L_{tch}$  o'langan. Tortuv elektrmotori statori cho'lg'aming uchta fazasi kesuvchi diodlar orasiga ulangan. ATI dan ta'minlanuvchi asinxron motor tok va kuchlanishining ossilogrammasi 2.2-rasmda keltirilgan. Induktiv filtr  $L_d$  hisobiga  $I_d$  tok AKU iste'mol qilayotgan tokni ideal silliqlangan deb hisoblasak bo'ladi. ATM fazalaridagi  $U_A$ ,  $U_B$ ,  $U_C$  kuchlanishlar kirish o'zgartirgichi kuchlanishini o'zgartirish hisobiga amalga oshiriladi.  $U_A$ ,  $U_B$ ,  $U_C$  kuchlanishlar chastotasi tiristorlarning ochilishlari orasidagi vaqt oralig'ini o'zgartirish hisobiga rostlanadi.

Kommutatsion bo'lmagan davrda ikkita tiristor ochiq va tok stator cho'lg'aming ikki fazasidan oqib o'tadi. Har bir tiristor va diodning o'tkazish burchagi  $120^\circ$  ni tashkil etadi. Faza toklari  $i_A$ ,  $i_V$ ,  $i_S$  to'g'ri burchakli

shaklda bo'ladi. Faza kuchlanishi shakli – eksponenta kesimi – yuklama induktivligi bilan aniqlanadi.



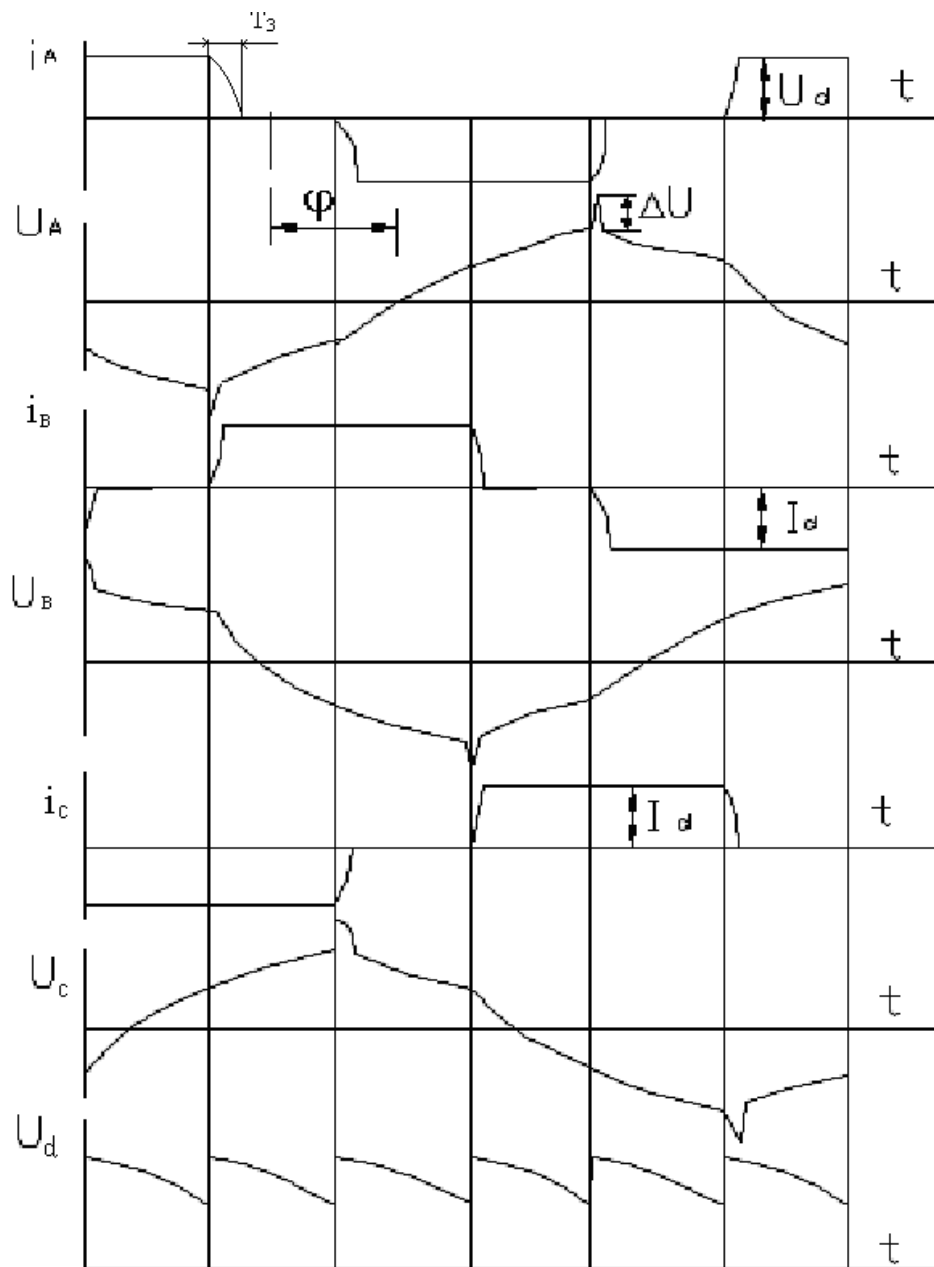
2.2-rasm

ATI tiristorlarining ochilishi 2.1.-jadvalda ko'rsatilgan tartibda bo'ladi.

2.1-jadval

ATI va  $120^0$  AKU ish algoritmi

|                           | VS1 | VS2 | VS3 | VS4 | VS5 | VS6 | ATM fazalari | ATI kondensatorl arizaryadi |
|---------------------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|--------------|-----------------------------|
| $0^{\circ}-60^{\circ}$    | •   | •   |     |     |     |     | A+C          | $C_{15}C_{24}$              |
| $60^{\circ}-120^{\circ}$  |     | •   | •   |     |     |     | B+C          | $C_{35}C_{62}$              |
| $120^{\circ}-180^{\circ}$ |     |     | •   | •   |     |     | B+A          | $C_{13}C_{46}$              |
| $180^{\circ}-240^{\circ}$ |     |     |     | •   | •   |     | C+A          | $C_{15}C_{24}$              |
| $240^{\circ}-300^{\circ}$ |     |     |     |     | •   | •   | C+B          | $C_{35}C_{62}$              |
| $300^{\circ}-360^{\circ}$ | •   |     |     |     |     | •   | A+B          | $C_{13}C_{46}$              |



2.3-rasm

Faza tokining birinchi garmonikasi amplitudasi

$$i_{1\max} = \frac{2 \cdot \sqrt{3}}{\pi} \cdot I_d = 1,1 \cdot I_d;$$

ta'sir etuvchi qiymat

$$I_1 = \frac{\sqrt{6}}{\pi} \cdot I_d = 0,78 \cdot I_d;$$

tok va E.YU.K. birinchi garmonikalari orasidagi faza siljishi

$$\varphi = \frac{\pi}{2} - \arctg \frac{L_2 \cdot \omega_2^2}{r_2}; \cos \varphi = \frac{\frac{\omega_2 \cdot L_2}{r_2}}{\sqrt{1 + (\omega_2 \cdot \frac{L_2}{r_2})^2}};$$

bu yerda  $r_2, L_2$  – statorga keltirilgan rotor zanjiri aktiv qarshiligi va induktivligi;  $\omega_2$  - rotor tokining burchak chastotasi.

Aylanish momentining o'rtacha qiymati

$$M_{\text{эМ}} = \frac{18}{\pi^2} \cdot p_1 \cdot \frac{L_o^2 \cdot r_2 \cdot \omega_2}{r_2^2 + (\omega_2 \cdot L_2)^2} \cdot I_d^2,$$

Buerda  $p_1, L_o, L_2$  - mos holda stator cho'lg'amingining juft qutblar soni, rotor cho'lg'ami bilan o'zaro induktsiyasi va rotor induktivligi.

Moment pulsatsiyasining ochilishi kengligi

$$\Delta M = M_{\text{max}} - M_{\text{min}} = \frac{6}{\pi} \cdot p_1 \cdot \frac{L_o^2 \cdot r_2^2}{[r_2^2 + (\omega_2 \cdot L_2)^2] \cdot L_2} \cdot I_d^2.$$

Moment pulsatsiyasi koeffitsiyenti

$$K_M = \frac{\Delta M}{2 \cdot M_{\text{эМ}}} = \frac{18}{\pi^2} \cdot \frac{\pi}{6} \cdot \frac{r_2}{\omega_2 \cdot L_2} = \frac{3}{\pi} \cdot \frac{r_2}{\omega_2 \cdot L_2} = 0,25 \div 0,30.$$

$C$  fazaning ulanishi va  $A$  fazaning uzilishi misolida ATI tiristorlarining kommutatsiya jarayonini ko'rib chiqamiz. Jarayon uch oraliqdan iborat. - $VS1$  tiristorining yopilishi (2.3.- a, rasm).  $VS3$  tiristorning ulanishida  $U_{C(0)}$  kuchlanishgacha oldinidan zaryadlangan  $C_{13}, C_{35}, C_{51}$  kondensatorlar,  $VS1, VS3$  tiristorlar va ikkita tokni cheklovchi  $L_{to}$  reaktorlardan iborat kontur hosil bo'ladi. Tiristor  $VS1$  toki  $I_d$  tok va kondensator zaryadi toki  $i_k$  farqiga teng:

$$\begin{aligned}
i_{\text{VSI}} &= I_d - i_k = I_d - \frac{1}{C_{\text{я}}} \cdot \int_0^t U_{C(0)} \cdot \cos \omega_0 t dt = \\
&= I_d - \frac{1}{C_{\text{я}} \cdot \omega_0} \cdot \int_0^{\omega_0 t} U_{C(0)} \cdot \cos \omega_0 t d\omega_0 t = \\
&= I_d - \sqrt{\frac{2 \cdot L_{\text{TO}}}{C_{\text{я}}}} \cdot U_{C(0)} \cdot \sin \omega_0 t,
\end{aligned}$$

bu yerda  $C_{\text{я}} = \frac{3}{2}C$  - kommutatsiya konturida kondensatorlarni uchburchak ulashdagi ekvivalent sig'imi;  $\omega_0 = \frac{1}{2 \cdot L_{\text{TO}} \cdot C_{\text{я}}}$  - kommutatsiya konturi tebranishining burchak chastotasi.

Tiristor  $VSI$   $i_{\text{VSI}} = 0$  bo'lganda yopiladi. Kommutatsiya birinchi intervali davomiyligi:

$$T_1 = \frac{1}{\omega_0} \cdot \arcsin \frac{I_d}{\sqrt{\frac{2 \cdot L_{\text{TO}}}{C_{\text{я}}}} \cdot U_{C(0)}}.$$

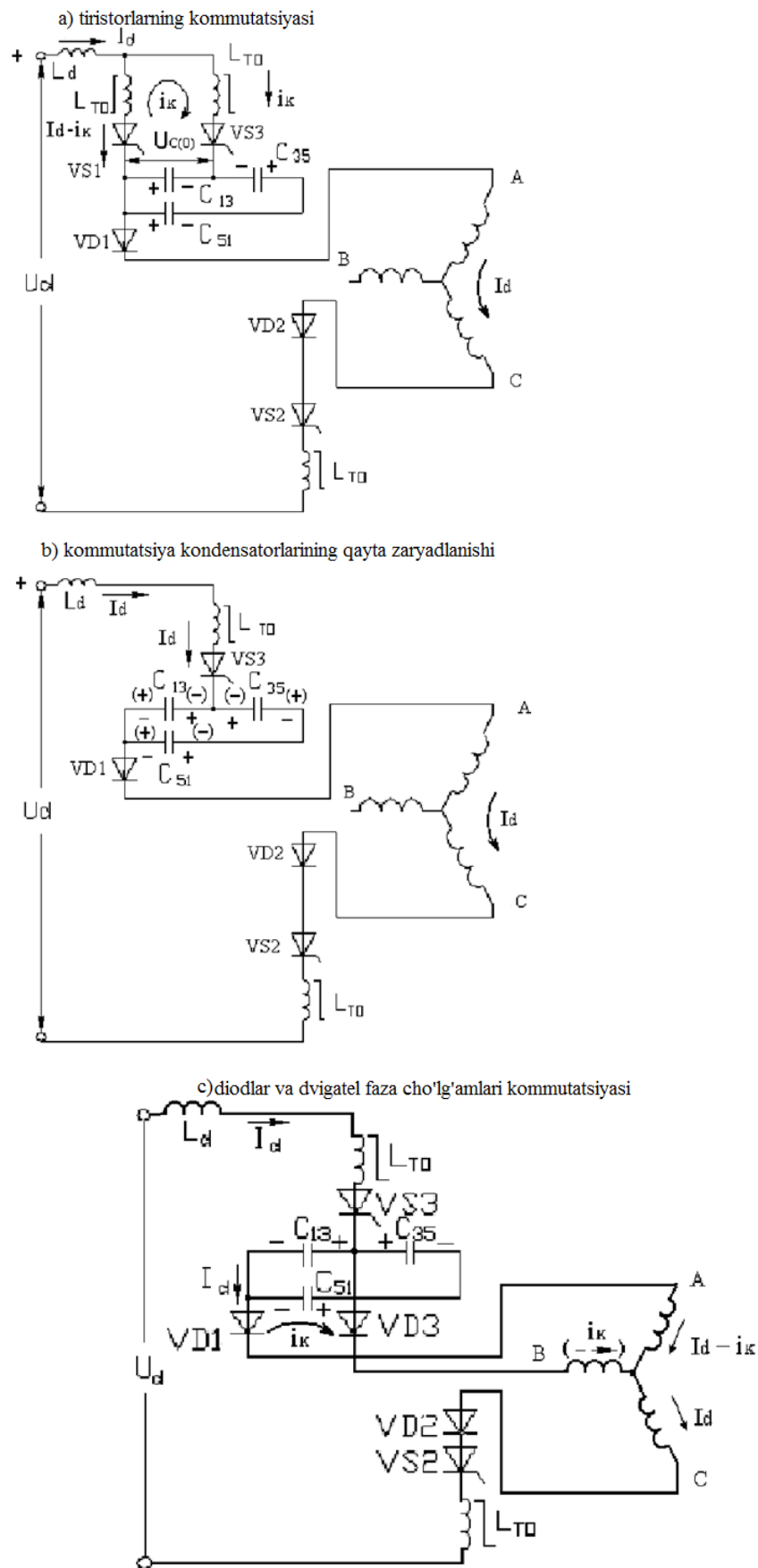
$T_1$  kattalikni  $VSI$  tiristor ochilgandagi ruxsat etilgan tok ortishi tezligi bo'yicha tekshiriladi:

$$\frac{di}{dt} \leq \frac{U_{C(0)}}{2 \cdot L_{\text{TO}}} \leq \left( \frac{di}{dt} \right)_{\text{crit}}.$$

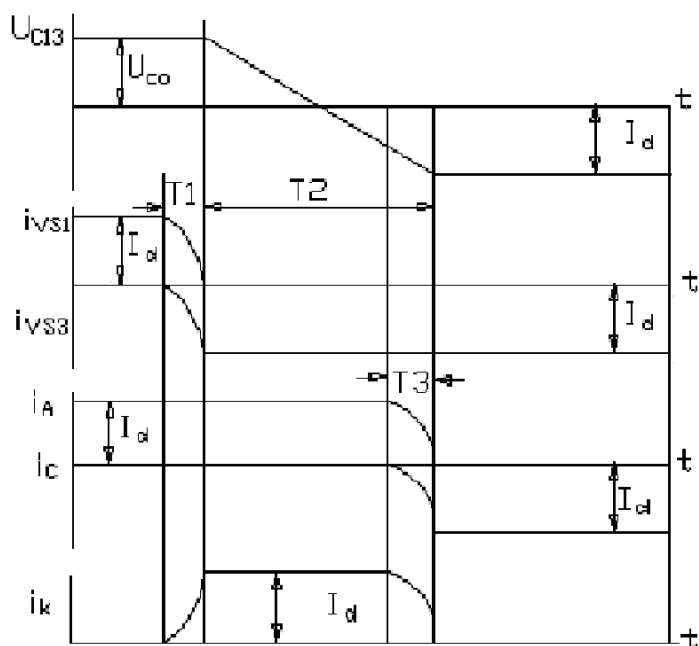
Birinchi interval oxirida kondensator  $C_{13}$  kuchlanishi

$$u_C(T_1) = U_{C(0)} \cdot \cos \omega_0 T_1$$

ATI tiristorlarining kommutatsiyasidagi o'tkinchi jarayonlar 2.4.- rasmda keltirilgan.



2.4.- rasm



2.5.- rasm

1-Kondensatorning doimiy tok  $I_d$  bilan qayta zaryadlanishi (2.4.- b, rasm, 2.3.- rasm). Kondensator kuchlanishi to'g'ri chiziqli qonuni bo'yicha o'zgaradi va ishorasini o'zgartiradi:

$$u_c(t) = u_c(T_1) - \frac{I_d}{C_\gamma} \cdot t.$$

2.4.- b, rasmda kondensator qayta zaryadlanishidan oldingi qutblari qavs ichida ko'rsatilgan.

$VS1$  tiristor yopilish momentidan kondensator qutblari o'zgarishi momentigacha bo'lgan vaqt oralig'i tiristorning ventil mustahkamligini qayta tiklash vaqti  $t_q$  dan kam bo'lishi kerak emas. Ushbu shartdan kommutatsiya konturi uchun zarur bo'lgan sig'im aniqlanadi:

$$C_\gamma \geq \frac{I_d \cdot t_q}{u_c(T_1)} \approx \frac{I_d \cdot t_q}{U_{C(0)\min}}.$$

Kondensator qayta zaryadlanishi kesuvchi diod  $VM3$  kuchlanishi musbat bo'lgunga qadar davom etadi:

$$T_2 \approx \frac{U_{C(0)} + E_{ch\max} \cdot \sin \phi_1}{U_{C(0)\min}} \cdot C_\gamma,$$

bu erda  $E_{chmax}$  - asinxron motor chiziqli kuchlanishi amplitudasi;  $\varphi_1$  - faza kuchlanishi va toki orasidagi siljish burchagi

$$\varphi_1 = \frac{\pi}{2} - \arctg \frac{L_2 \cdot \omega_2}{R_2}.$$

1-Motor faza cho'lg'amlarida tok kommutatsiyasi (2.4-c, rasm va 2.5-rasm).  $A$  cho'lg'amda tokning pasayishi va  $C$  cho'lg'amda tokning ortishi.

Faraz qilamiz,  $T_3$  vaqt ichida asinxron motor chiziqli kuchlanishi sezilarli o'zgarmaydi.  $A$  va  $C$  fazalarda toklar sinusoidal qonun bo'yicha  $\omega_s$  burchak chastota bilan o'zgaradi.

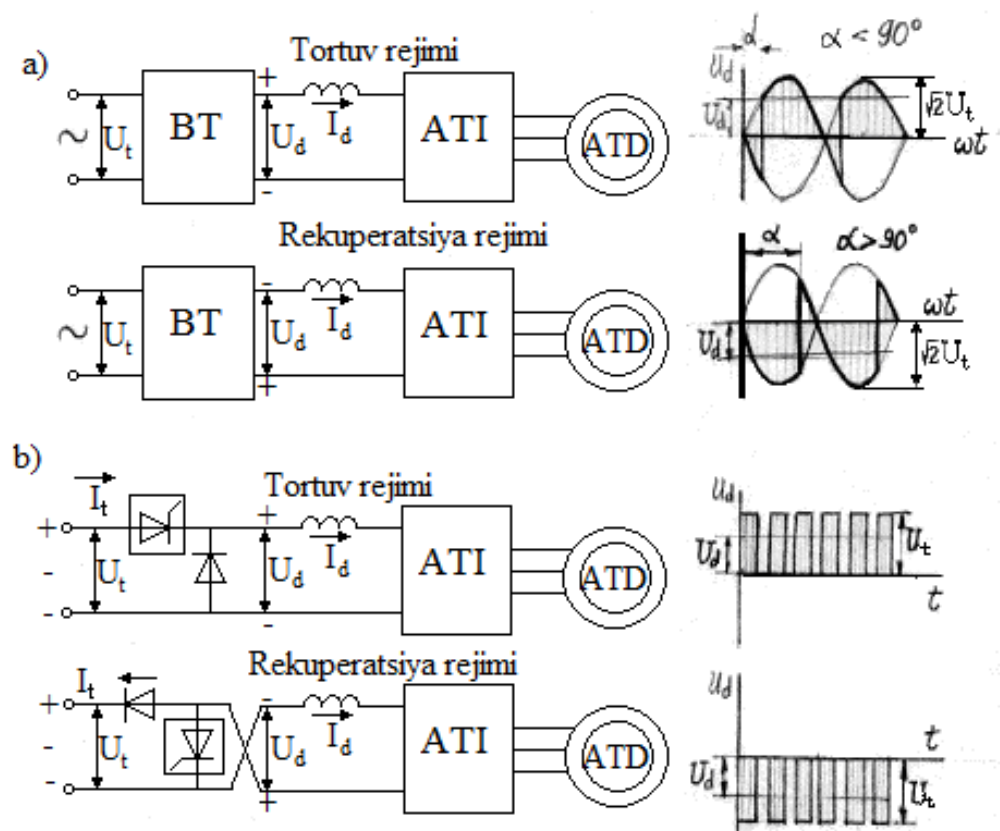
$$\omega_s = \frac{1}{\sqrt{2 \cdot \sigma \cdot L_1 \cdot C_s}}.$$

$T_3$  intervalining davomiyligi  $i_A$  tok nolgacha pasayish va unga mos  $i_c$  tokning  $I_d$  qiymatgacha ortish vaqtiga teng.

$$T_3 = \frac{\pi}{2} \sqrt{2 \sigma L_1 C_s}$$

Faza toki kommutatsiyasi faza kuchlanishi egri chizig'idagi o'ta kuchlanish  $\Delta u$  bilan davom etadi.

$$\Delta u = \frac{I_d}{2} \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot \sigma \cdot L_d}{C_s}}.$$



2.6.-rasm

ATI rekuperatsiya rejimiga o'tish shartlari:

1-Doimiy tok  $I_d$  yo'nalishini saqlab qolish, doimiy kuchlanish  $U_d$  qutblanishini o'zgartirish lozim.

2-O'zgaruvchan tok EHT larida boshqariluvchi to'g'irlagich tiristorlarining ochilish burchagi  $\alpha$  ni  $90^\circ$  dan ortiq burchakka ochish yordamida invertorlash rejimiga o'tiladi (2.6.- a, rasm).

3-Doimiy tok EHTlarida rekuperatsiya rejimiga o'tish uchun impulsli kuchlanish rostlagichi (IKR) sxemasini o'zgartirish, shuningdek kontaktorlar yoki kalit rejimida ishlayotgan maxsus tiristorlar yordamida  $U_d$  qutbini o'zgartirish lozim (2.6- b, rasm).

### Xulosalar:

1.Tiristorlarning oniy kommutatsiyasida va ideal silliqlangan kirish tokida ATI kirishidagi faza toklari yuklamaga bog'liq bo'lmagan

to'g'ri burchak shaklida bo'ladi, faza kuchlanishlari esa yuklama tavsifidan aniqlanuvchi eksponenta kesilmalaridan tashkil topadi.

2.ATI uchun kuchlanish bo'yicha katta klasslarga ega, uzilish vaqti katta tiristorlar qo'llanilishi mumkin. Bunday holatda tiristorlarning ketma-ket ulanishi oldi olinadi.

3.ATI kirishidagi induktiv filtr invertorning bir fazada bir vaqtda ikkita yelkaning ochilishi holati yuz berganda yarim o'tkazgichelementlar orqali tokning oshish tezligini chegaralaydi. Bunda  $\frac{di}{dt}$  qiymati tiristorlar uchun ruxsat etilgan qiymatdan ortmaydi.

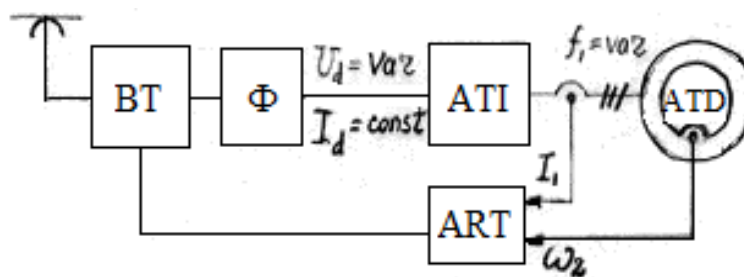
4.ATI yelkalarining bir taraflama o'tkazishi ATM qisqa tutashuv holatini chetlashtiradi.

5.Elektromagnit momentning nisbiy pulsatsiyasi 25-30 % ga teng. Buni ikkita uch fazali cho'lg'amga ega ikkita bir-biridan  $30^0$  faza siljish bilan ishlovchi ATI ga ulangan ATM dan foydalanish orqali 8-12 % ga kamaytirish mumkin.

6.Diodlarning kommutatsiya momentida faza kuchlanishi egri chizig'ida o'ta kuchlanishlar hosil bo'ladi.

7.Rekuperatsiya rejimiga o'tish inverter kirishidagi kuchlanish qutblarini o'zgartirish va tok yo'nalishini saqlab qolishni talab etadi, bunda  $\varphi_1 > 0$ .

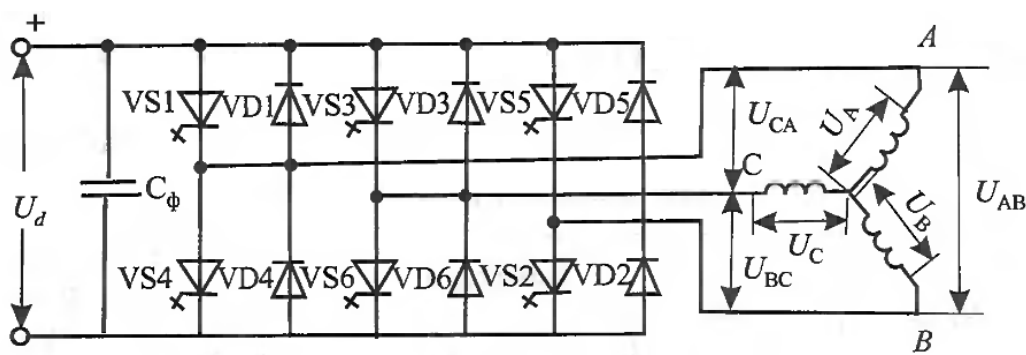
8.Tok ortishi bilan ATM kuchlanishi pasayadi. Shuning uchun ATM ATI yordamida faqatgina stator toki  $I$  va rotor aylanish tezligi  $n_2$  bo'yicha yopiq avtomatik rostlash tizimi (ART) mavjud bo'lganda ishlashi mumkin (2.7.-rasm).



2.7-rasm

## 1.2. ATM kuchlanish invertori bilan ishlashi

2.6.-rasmida ATM ning AKI dan ta'minlash sxemasi keltirilgan. Kirish qismida doimiy kuchlanish tarafidan sig'im filtr mavjud  $C_F$ . Har bir fazada tiristor  $VS$  larga parallel ravishda teskari diodlar  $VM$  ulangan. Zamonaviy AKI larda ikki operatsiyali yarim o'tkazgichlar: GTO-tiristorlar va IGBT –tranzistorlardan foydalaniladi.



2.8.-rasm

Uch fazali avtonom kuchlanish invertorida tiristorlarning uch xil ish algoritmi bo'lishi mumkin. Ular bir-biridan ishlayotgan tiristorlarining o'tkazish burchagi qiymati bilan farqlanadi. Ushbu burchak  $120^0$ ,  $180^0$  va  $150^0$  tashkil etishi mumkin. 2.2, 2.3 va 2.4. – jadvallarda yuqorida aytib o'tilgan ish algoritmlari ko'rsatilgan.

## 2.2.-jadval

ATI va 120° AKI ish algoritmi

|           | VS1 | VS2 | VS3 | VS4 | VS5 | VS6 | ATM fazalari | ATI kondensatorlar zaryadlanishi |
|-----------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|--------------|----------------------------------|
| 0°-60°    | •   | •   |     |     |     |     | A+C          | $C_{15}C_{24}$                   |
| 60°-120°  |     | •   | •   |     |     |     | B+C          | $C_{35}C_{62}$                   |
| 120°-180° |     |     | •   | •   |     |     | B+A          | $C_{13}C_{46}$                   |
| 180°-240° |     |     |     | •   | •   |     | C+A          | $C_{15}C_{24}$                   |
| 240°-300° |     |     |     |     | •   | •   | C+B          | $C_{35}C_{62}$                   |
| 300°-360° | •   |     |     |     |     | •   | A+B          | $C_{13}C_{46}$                   |

## 2.3.-jadval

180°AKI ish algoritmi

| Burchak   | Tiristorlar |   |   |   |   |   | ATM fazalari        |
|-----------|-------------|---|---|---|---|---|---------------------|
|           | 1           | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |                     |
| 0°-60°    | •           |   |   |   |   |   | $(A \parallel B)+C$ |
| 60°-120°  | •           | • |   |   |   |   | $A+(B \parallel C)$ |
| 120°-180° | •           | • | • |   |   |   | $(A \parallel C)+B$ |
| 180°-240° |             | • | • | • |   |   | $C+(B \parallel A)$ |
| 240°-300° |             |   | • | • | • |   | $(C \parallel B)+A$ |
| 300°-360° |             |   |   | • | • | • | $B+(A \parallel C)$ |

## 2.4.-jadval

### 150°AKI ish algoritmi

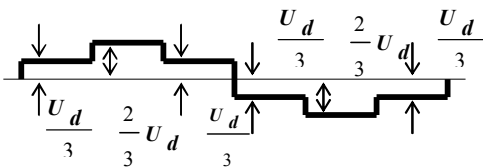
| burchaklar | Tiristorlar |   |   |   |   |   | ATM fazalari          |
|------------|-------------|---|---|---|---|---|-----------------------|
|            | 1           | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |                       |
| 0°-30°     | •           |   |   |   | • | • | $(B \parallel A) + C$ |
| 30°-60°    | •           |   |   |   |   | • | $A + C$               |
| 60°-90°    | •           | • |   |   |   | • | $A + (B \parallel C)$ |
| 90°-120°   | •           | • |   |   |   |   | $A + B$               |
| 120°-150°  | •           | • | • |   |   |   | $(A \parallel C) + B$ |
| 150°-180°  |             | • | • |   |   |   | $C + B$               |
| 180°-210°  |             | • | • | • |   |   | $C + (A \parallel B)$ |
| 210°-240°  |             |   | • | • |   |   | $C + A$               |
| 240°-270°  |             |   | • | • | • |   | $(C \parallel B) + A$ |
| 270°-300°  |             |   |   | • | • |   | $B + A$               |
| 300°-330°  |             |   |   | • | • | • | $B + (C \parallel A)$ |
| 330°-360°  |             |   |   |   | • | • | $B + C$               |

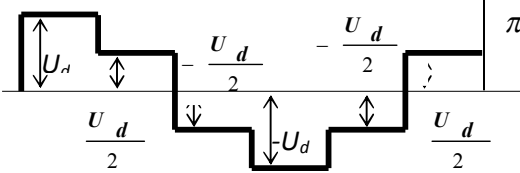
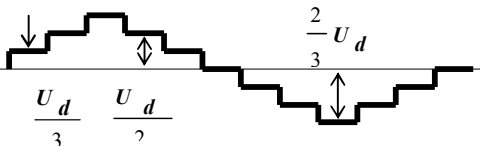
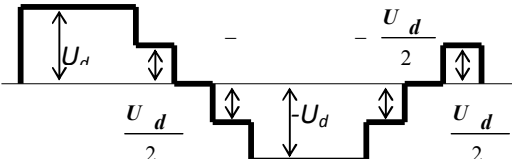
Tiristorlarning oniy kommutatsiyasida va ideal silliqlangan kirish tokida kirishidagi faza kuchlanishlari yuklamaga bog'liq bo'lmagan pog'onasimon-to'g'ri burchak shaklida bo'ladi, faza toklari esa yuklama tavsifidan aniqlanuvchi eksponenta kesilmalaridan tashkil topadi va doimiy kuchlanish manbaiga induktiv zanjir ulanishiga mos keladi.

AKI turli xil ish rejimlari uchun AKI chiqishidagi faza va liniya kuchlanishi shakli, amplitudasi, birinchi garmonikadagi ta'sir etuvchi qiymati, chiqish kuchlanishi ta'sir etuvchi qiymati va chetlashish koeffitsiyenti 2.4.-jadvalda keltirilgan. AKI ish rejimlari 2.5-jadvalda solishtirilgan. ATI va AKI 2.6.-jadvalda solishtirilgan.

**2.5-jadval**

**AKI ish algoritmlari ko'rsatkichlari**

| Tirist<br>orlarn<br>ing<br>o'tkaz<br>ish<br>burch<br>agi | Kuchla<br>nish | Kuchlanish osillogrammasi                                                            | $\frac{U_{(1),M}}{U_d}$       | $\frac{U_{(1)}}{U_d}$                        | $\frac{U}{U_d}$                 |
|----------------------------------------------------------|----------------|--------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------|----------------------------------------------|---------------------------------|
| $180^0$                                                  | faza           |  | $\frac{2}{\pi} = 0,636$       | $\frac{\sqrt{2}}{\pi} = 0,$                  | $\frac{\sqrt{2}}{3} = 0$        |
|                                                          | liniya         |                                                                                      | $\frac{2\sqrt{3}}{\pi} = 1,1$ | $\frac{\sqrt{6}}{\pi} = 0$                   | $\frac{\sqrt{3}}{\sqrt{2}} = 0$ |
| $120^0$                                                  | faza           |                                                                                      | $\frac{\sqrt{3}}{\pi} = 0,55$ | $\sqrt{\frac{3}{2}} \cdot \frac{1}{\pi} = 0$ | $\frac{1}{\sqrt{6}} = 0$        |

|      |                |                                                                                    |                         |                                    |                                |
|------|----------------|------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------|------------------------------------|--------------------------------|
|      | liniya         |  | $\frac{3}{\pi} = 0,955$ | $\frac{3}{\sqrt{2} \cdot \pi} = 0$ | $\frac{1}{\sqrt{2}} = 0$       |
| 150° | faza<br>liniya |  | 0,615                   | 0,436                              | $\frac{\sqrt{7}}{6} = 0$       |
|      | liniya         |  | 1,06                    | 0,255                              | $\frac{\sqrt{7}}{2\sqrt{3}} =$ |

2.6.-jadval

### AKI ish rejimlarini solishtirilishi

| AKI ish algoritmi | Afzalliklar                                                                                                                                   | Kamchiliklar                                                                                            |
|-------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 180°              | <p>1. ATM hamma fazalari butun davr davomida ishlaydi. ATMning to'liq foydalanilishi.</p> <p>2.Kenglik-impuls modulyatsiyaning qulayligi.</p> | <p>1. Ylkada tiristorlarning kommutatsiyasi kechikish holatida qisqa tutashuvning bo'lish ehtimoli.</p> |
| 120°              | <p>1.Qisqa tutashuv bo'lish ehtimolining kamayishi.</p> <p>2.Kenglik-impuls modulyatsiyaning qulayligi..</p>                                  | <p>1. Har bir faza davrning faqat 2/3 qismida ishlaydi.ATM quvvatidan foydalanilmaydi.</p>              |

|      |                                                                                                                                            |                                                |
|------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------|
| 150° | 1.Qiska tutashuv bo'lish ehtimolining kamayishi.<br>2. Katta garmonikalar ta'sirining kamayishi.<br>3.ATM quvvatidan yaxshi foydalaniladi. | 1. Boshqaruv tizimining nisbatan murakkabligi. |
|------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------|

## 2.7.-jadval

### ATI va AKI ni solishtirish

|   |                                                                     | <b>ATI</b>                                               | <b>AKI</b>                                                                                           |
|---|---------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1 | Filtr                                                               | Ketma-ket ulangan induktivlik                            | Parallel ulangan sig'im                                                                              |
| 2 | Diodlar                                                             | Kyesuvchi, tiristorlar bilan ketma-ket ulangan.          | AM va kondensator orasida reaktiv quvvat almashinish uchun ishchi tiristorlar bilan parallyel.       |
| 3 | Kommutatsiya bo'lmagan davrda bir xil vaqtda ishlovchi fazalar soni | Ikkita, o'tkazish burchagi 120°.                         | Ikki yoki uchta, o'tkazish burchagi tiristorlar ishi algoritmiga bog'liq ravishda 120°dan 180°gacha. |
| 4 | Faza toklari shakli                                                 | Tiristorlar ishlash tartibiga bog'liq, to'g'ri burchakli | YUklamaga bog'liq eksponenta lar kesimlari.                                                          |
| 5 | Faza kuchlanishlari                                                 | YUklamaga bog'liq,                                       | Tiristorlar ish algoritmiga                                                                          |

|    |                                                                                               |                                                                                                         |                                                            |
|----|-----------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------|
|    | shakli                                                                                        | eksponentalar kesilmalari, kommutatsiyada kuchlanish ortishi.                                           | bog'liq to'g'riburchakli-pog'onasimon.                     |
| 6  | Kuchlanishni rostdash usuli                                                                   | Kirish o'zgartgichi TU yoki IKR                                                                         | Kenglik impuls modulyatsiyali (KIM), 4qS o'zgartgichli AKI |
| 7  | Tortuv rejimida kommutatsiya                                                                  | Biropyeratsiyali ishchi tiristorlar yordamida.                                                          | IshchiGTO-tiristorlar yordamida                            |
| 8  | Elektr tormozlash rejimiga o'tishi                                                            | $U_d$ qutbi o'zgartirilAMi.                                                                             | $I_d$ yo'nalishi o'zgartiriladi                            |
| 9  | Invertor orqali ta'minlanayotgan AM elektr bardoshliligi                                      | Tok va absolyut sirpanish bo'yicha avtomatik rostdash tizimi zarur, tok absolyut sirpanishga mutanosib. | AM ART siz barqaror ishlay oladi                           |
| 10 | ATM o'ta yuklanishini hisobga olgan holda quvvatiga nisbatan invertorning o'rnatilgan quvvati | Tortuv rejimida 2 marta katta, rekuperatsiya rejimida 4-5 marta.                                        | 1,0                                                        |
| 11 | Qo'llanilish sohasi                                                                           | Elektropoyezdlar.                                                                                       | Tramvaylar, myetro, elektropoyezdlar, elektrovozlar.       |

ATM ish rejimini rostdash usullari:

1. Tiristorlar ulanish chastotasini o'zgartirish hisobiga TEM aylanish chastotasini rostdash.

2. Kuchlanishni rostdash orqali.

a) Birlamchi o'zgartgich chiqishida amplitudaviy yoki faza kuchlanishini rostdash; filtr mavjud bo'lsa kuchlanish amplitudasigina o'zgarib, shakli to'g'riburchakli yoki to'g'riburchakli-pog'onasimon shaklida qoladi.

b) Kenglik-impulsli rostdash. To'g'riburchakli (yoki to'g'riburchakli-pog'onasimon) shakldagi kuchlanish bir xil  $T_I$  vaqt davom etuvchi to'g'riburchakli impulsarga almashtiriladi; impuls orasidagi to'xtalishlar ham bir xil; impuls chastotasi tutib turuvchi chastota deyiladi, u to'ldirish koeffitsiyentini o'zgartirish hisobiga rostlanadi.

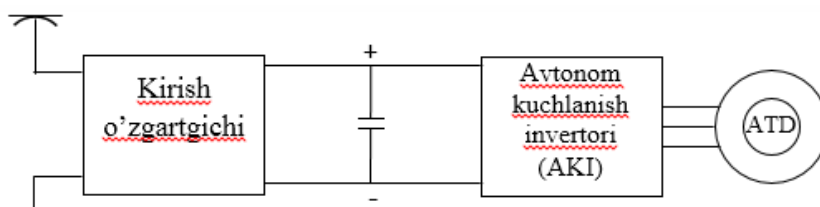
v) kenglik-impulsli modulyatsiya.

Tortuv rejimi sxemasini (2.9.-a, rasm) rekuperatsiya rejimiga o'tkazishning ikki usuli mavjud:

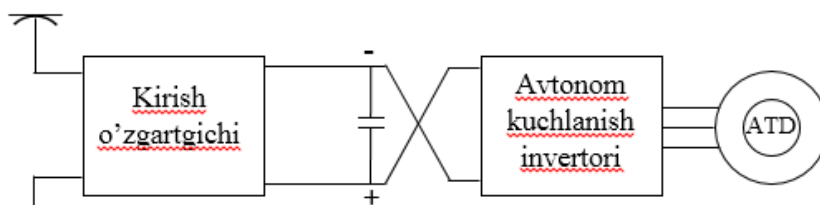
1. kondensatorli filtr qutbini o'zgartirib, ishchi tiristorlar orqali rekuperatsiya qilish (2.9.-b, rasm);

2. kondensatorli filtr qutbini saqlab qolib, teskari ulangan tiristorlar (teskari ulangan diodlar o'rniga) orqali rekuperatsiya qilish (2.9.-v, rasm).

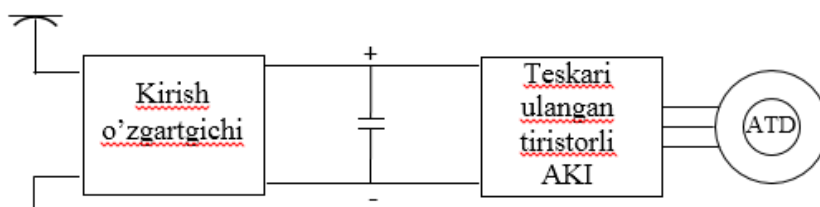
Kirish o'zgartgichini rekuperatsiya rejimiga o'tkazish usullari ATI ni sxemalari bilan bir xil (2.4-rasm).



a) tortuv rejimi



b) ishchi tiristorlar orqali rekuperatsiya rejimi



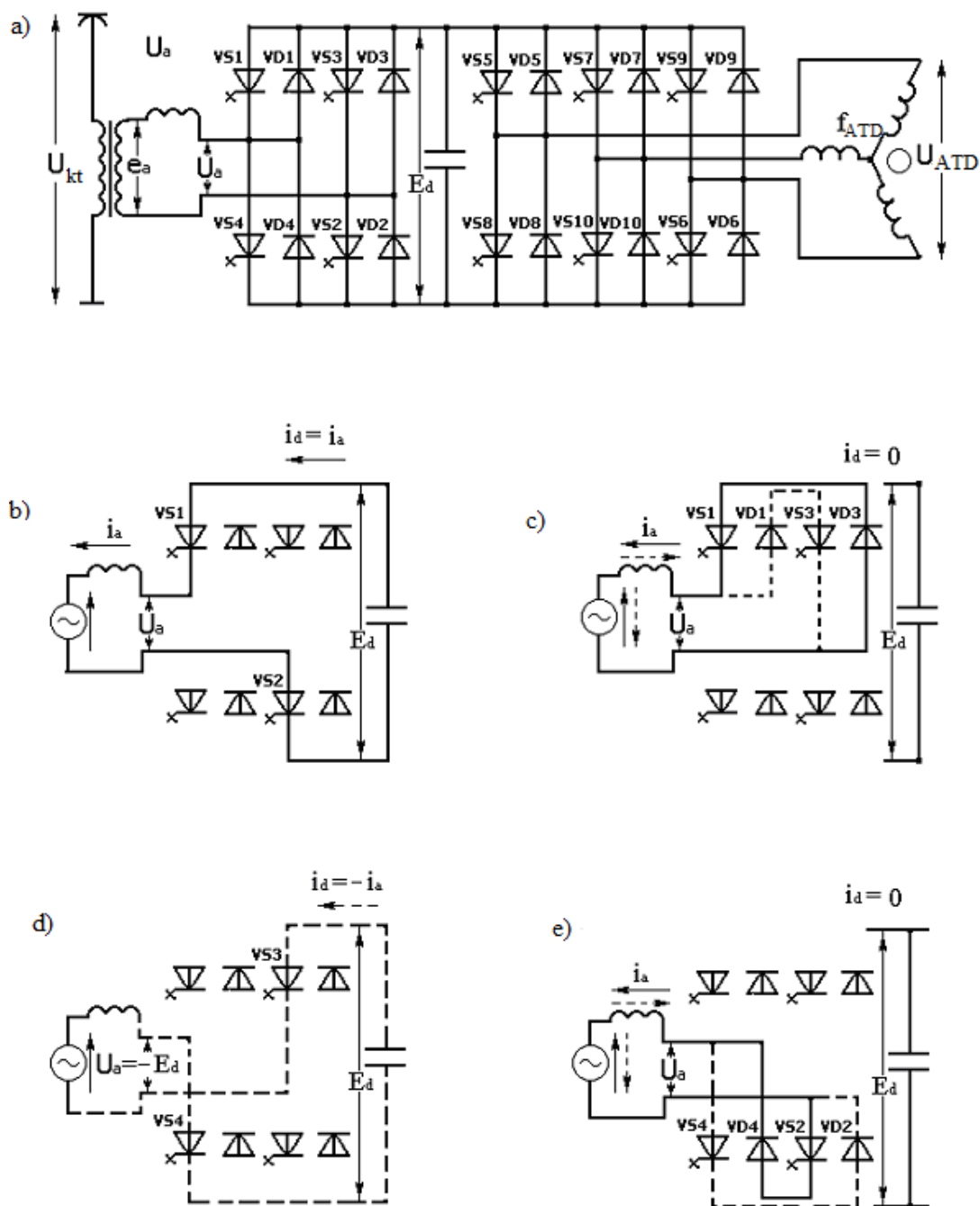
v) teskari ulangan tiristorlar orqali rekuperatsiya rejimi

2.9-rasm. *AKI ni rekuperatsiya rejimiga o'tkazish*

## 2.2. To'rt kvadrantli o'zgartgich

1. Tortuv o'zgartgichi – bu ikkita ko'prik (bir fazali va uch fazali) bo'lib, ikki operatsiyali tiristorlar (tranzistorlar) va o'zgaruvchan kuchlanish tarafidan ulangan teskari ulangan diodlardan tashkil topgan. O'zgaruvchan kuchlanish tarafidan ketma-ket qilib induktiv filtr ulangan. O'zgaruvchan kuchlanish tarafidan parallel qilib sig'im filtr ulangan.

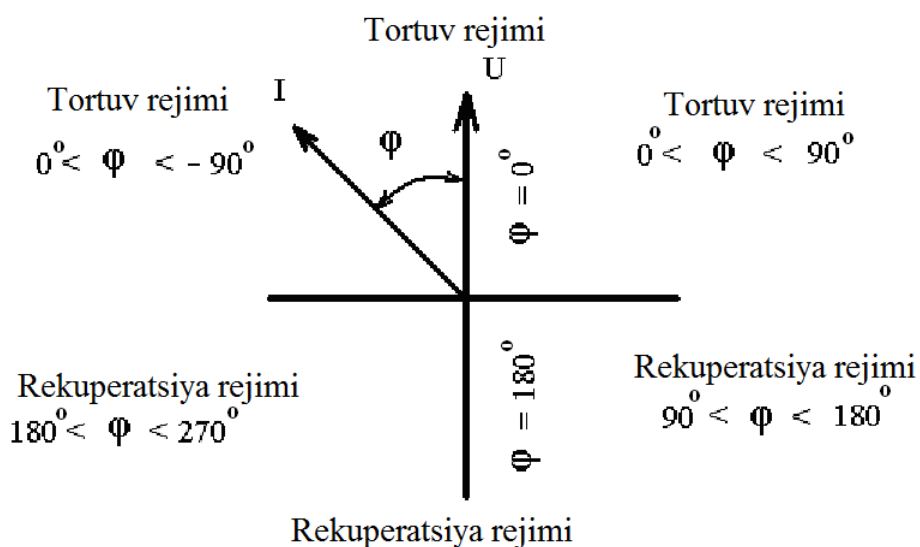
To'rt kvadrantli o'zgartgich 4qS (Vierquadrantensteller) – bir fazali ko'prik sxema tarafida kontakt tarmog'i kuchlanishi  $U_{kt}=\text{const}$  va chastotasi  $f_{kt}=\text{const}$ . Uch fazali ko'prik sxema tarafida ATM kuchlanishi  $U_{ATM}=\text{vari}$   $f_{ATM}=\text{var}$  (2.10-a, rasm).



2.10-rasm

Ushbu o'zgartgich nomi bilan uning tortuv va tormozlash rejimlarida ishlash imkoniyati borligi bilan tushuntiriladi. Tarmoqdan iste'mol qilinayotgan tok tarmoq kuchlanishidan ortda qolishi ham ilgari lab ketishi ham mumkin. Agar kuchlanish vektori haqiqiy o'qining musbat yo'nalishiga mos tushsa, tarmoq toki vektorining kompleks tekisligining ixtiyoriy to'rt kvadrantining birida

joylashishi mumkin bo'lgan o'zgartgichning ish rejimlari bo'lishi mumkin (2.11-rasm).



2.11-rasm

To'rtkvadrantli o'zgartgich ish rejimlari 2.8-jadvalda keltirilgan.

2.8-jadval

#### 4qSo'zgartgich ish rejimlari

| ATM rejimi | Ko'prik sxemalar rejimi                                                  |                                              | Modullanayotgan kuchlanish chastotasi |
|------------|--------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------|---------------------------------------|
|            | Bir fazali                                                               | Uch fazali                                   |                                       |
| Tortuv     | Tiristorlar yopiq, boshqarilmaydigan to'g'rilagich, $E_d = \text{const}$ | KIMli AKI, $f_{ATM}$ va $U_{ATM}$ rostlanadi | $f_M = f_{ATM}$                       |

|            |                                                                                                                                    |                                                                                                                    |             |
|------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------|
| Tormozlash | KIMli KI, tarmoq<br>chastotasi $f_T$ va<br>kuchlanishning ta'sir<br>etuvchi qiymati $U$<br>doimiy, $\varphi$ burchak<br>rostlanadi | Tiristorlar yopiq,<br>boshqarilmaydigan<br>to'g'rilagich. ATM<br>tezligi o'zgarishi<br>hisobiga $E_d = \text{var}$ | $f_M = f_T$ |
|------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------|

To'rtkvadrantli o'zgartgich ishlash asosini rekuperatsiya rejimi misolida ko'rib chiqish osonroq, bunda bir fazali invertorlash jarayoni ro'y beradi.

Bir fazali ko'prik sxema invertorlash rejimida kondensatorda to'plangan  $E_d$  o'zgarmas kuchlanishni  $u_a$  o'zgaruvchan kuchlanishga o'zgartirib beradi. Bunda quyidagi rejimlarning ketma-ketligi bajariladi.

1-qarama-qarshi yelkalardagi ikkita tiristor  $VS1$  va  $VS2$  ochiladi (2.10-b, rasm). Kondensator qutblarni saqlab qolgan holda  $u_a = E_d$  transformatorning ikkilamchi cho'lg'amiga razryadlanadi.  $i_a = i_d$  tok kamayadi (2.12-rasmdagi 1-2, 3-4, 5-6, 7-8, 9-10 vaqt oraliqlari).

2 -yonma-yon yelkalardagi ikkita tiristor  $VS1$  va  $VS3$  ochiq (2.12-rasmdagi 2-3, 6-7, 10-11, 14-15, 18-19 vaqt oraliqlari). Transformatorning ikkilamchi cho'lg'ami birinchi yarim davrda  $VM3$  va  $VS1$ , ikkinchi yarim davrda  $VM1$  va  $VS3$  orqali qisqa tutashtiriladi (2.10-c, rasm). Bir fazali ko'prik chiqishidagi kuchlanish  $u_a = 0$ . Kondensator bir fazali ko'priktan ajralgan holda uch fazali ko'priktan zaryadlanadi.  $i_a$  tok ortadi,  $i_d = 0$ .

3-qarama-qarshi yelkalardagi ikkita tiristor  $VS3$  va  $VS4$  ochiladi (2.10-d, rasm). Kondensator qutblarni o'zgartirgan holda  $u_a = -E_d$  transformatorning ikkilamchi cho'lg'amiga razryadlanadi.  $i_a = -i_d$  tok kamayadi (2.12-rasmdagi 11-12, 13-14, 15-16, 17-18, 19-20 vaqt oraliqlari).

4-yonma-yon yelkalardagi ikkita tiristor  $VS2$  va  $VS4$  ochiq (2.12-rasmdagi 0-1, 4-5, 8-9, 12-13, 16-17 va  $20-2\pi$  vaqt oraliqlari). Transformatorning ikkilamchi cho'lg'ami birinchi yarim davrda  $VS2$  va  $VM4$ , ikkinchi yarim davrda  $VS4$  va  $VM2$  orqali qisqa tutashtiriladi (2.10 e, -rasm). Kondensator bir fazali ko'priktan ajralgan holda uch fazali ko'priktan zaryadlanadi.  $i_a$  tok ortadi,  $i_d=0$ .

- 1) Tiristorlarni boshqarish tizimi  $u_m$  va  $u_a$  kuchlanishlarni solishtiradi.

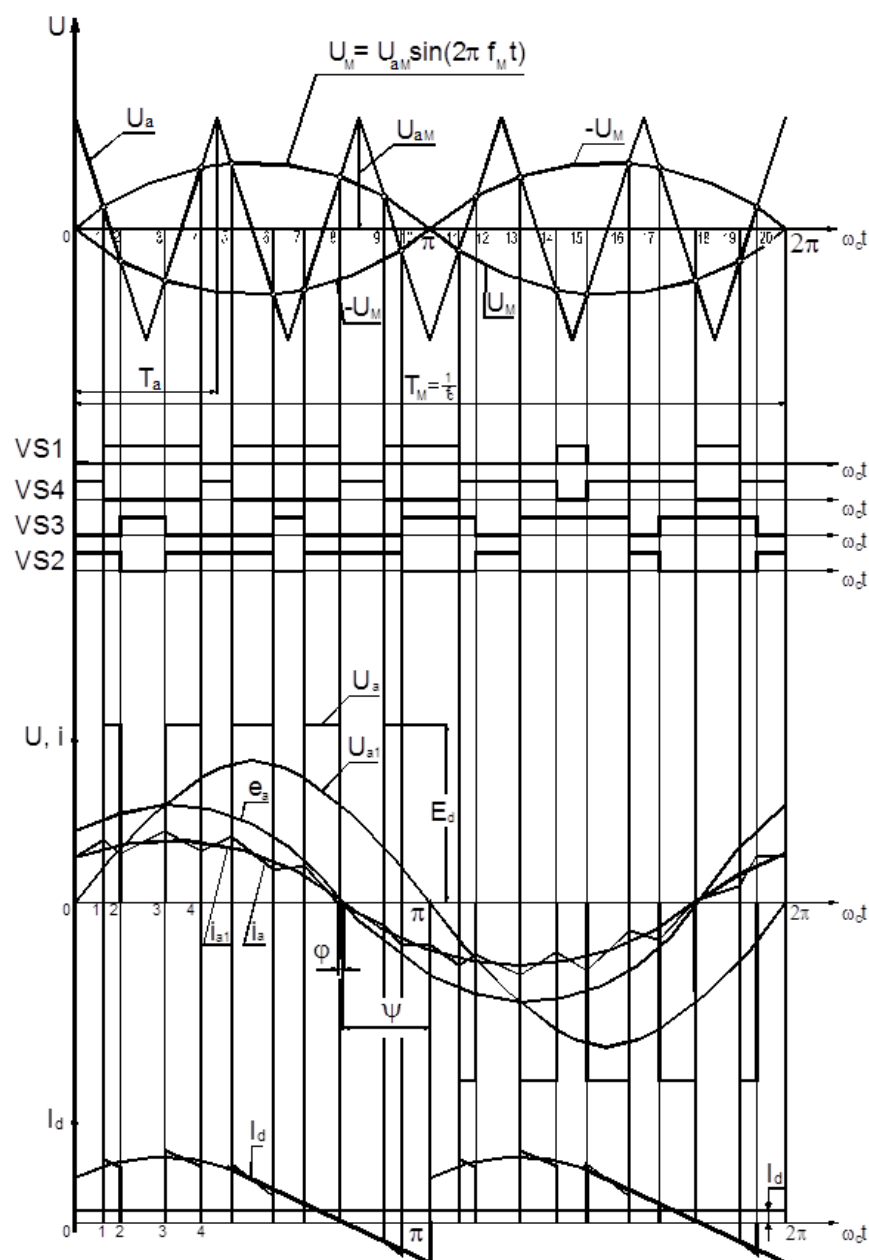
Transformator ikkilamchi cho'lg'amidagi birinchi garmonika  $e_{a1}$  ga nisbatan  $\psi$  burchakka siljigan,  $f_T$  chastotali,  $u_m$  sinusoidal modulyatsiyalovchi kuchlanish.  $u_m$  kuchlanish  $\psi$  burchakni rostlash imkoniyatini beruvchi maxsus generator yordamida ishlab chiqariladi. ( $-u_m$ ) kuchlanish -  $u_m$  kuchlanishga nisbatan  $180^\circ$  siljigan sinusoidal kuchlanish.

- 2) Rekuperatsiya jarayonida modulyatsiyalanovchi kuchlanish chastotasi kontakt tarmog'idagi chastotaga teng  $f_M=f_T$ , tortuv jarayonida esa – ATM statoridagi chastotaga teng  $f_M=f_{ATM}$ .  $u_a$  kuchlanish - simmetrik

shakldagi  $f_a = \frac{2\pi}{T_a} = 5f_T$  chastotali arrasimon kuchlanish,

modulyatsiyalovchi kuchlanish nol orqali o'tganda maksimal qiymatga erishadi. Arrasimon va modulyatsiyalanovchi kuchlanish chastotalarining nisbati butun toq songa teng bo'lishi kerak. Bizning

misolda  $\frac{f_a}{f_M} = 5$ .



2.12-rasm

Tiristorlarning ochiq holati shartlari:

- VS1:  $u_M \geq u_a$ ;
- VS2:  $(-u_M) < u_a$ ;
- VS3:  $(-u_M) \geq u_a$ ;
- VS4:  $u_M < u_a$ .

Transformator ikkilamchi cho'lg'amidagi kuchlanish  $e_a$  ni Fure qatoriga yoyish mumkin. Bu qatorning birinchi garmonikasining amplitudasi

$e_{a1}$  modulyatsiyalovchi va arrasimon kuchlanishlar nisbatidan

$K_M = \frac{u_M}{u_a} < 1$  aniqlanuvchi modulyatsiya chuqurligi  $K_M$  orqali rostlanadi, bunda

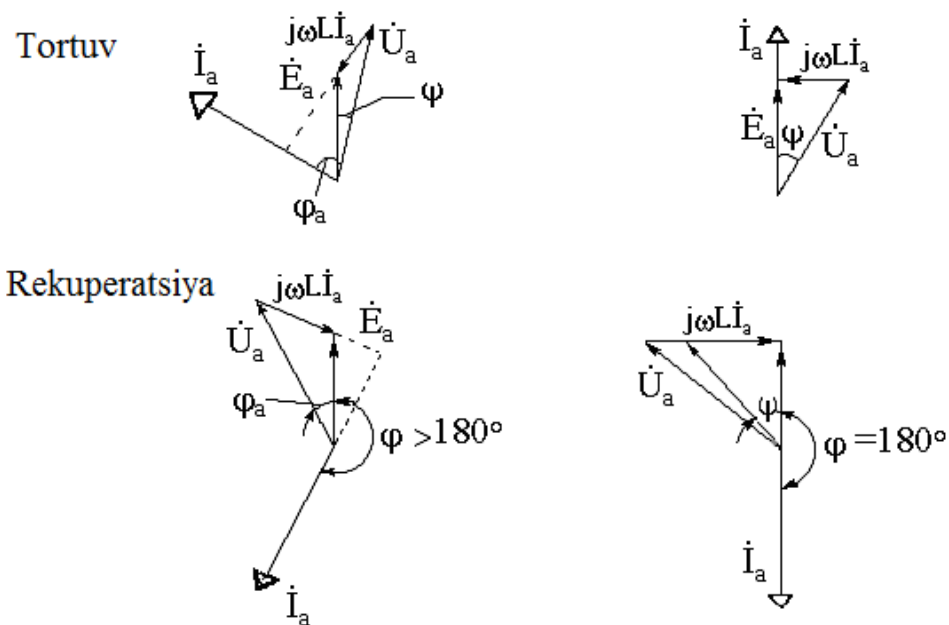
$$e_{mal} = K_M \cdot E_d.$$

Tok  $i_{a1}$  va kuchlanish  $e_{a1}$  birinchi garmonikalari orasidagi siljish burchagi

$\varphi_a$  modulyatsiyalanovchi kuchlanish  $u_M$  va transformator ikkilamchi

cho'lg'ami kuchlanishi  $e_a$  orasidagi siljish burchagi  $\psi$  ni o'zgartirish orqali rostlanadi.

Tortuv va rekuperatsiya rejimlarida  $\varphi_a$  burchakni rostlash asosi 2.13-rasmda ko'rsatilgan.



2.13-rasm

Transformator birlamchi cho'lg'amidagi kuchlanish  $E_a$  invertor chiqishidagi kuchlanish  $\dot{U}_1$  va induktivlikdagi kuchlanish pasayishi  $j\omega_a L_a \dot{I}_a$  kuchlanishlarning geometrik yig'indisiga teng.  $e_a$  va  $u_M$  orasidagi  $\psi$  siljish burchagini rostlash orqali  $\varphi_a$  burchakni tortuv

rejimida nolga tenglashtirish, rekuperatsiya rejimida  $180^\circ$  ga tenglashtirish mumkin.

2.10-rasm va 2.12-rasmlarga tavsif 4.10-jadvalda keltirilgan.

4.10-jadval

**Invertorlash rejimida tortuv o'zgartgichining bir fazali ko'prik (4 qS)  
ishlash asosi**

| Tiristorlar ochiq | O'tkazuvchi yelkalar   | Sxema        | O'zgaruvchan tok tarafi |            | O'zgarmas tok tarafi                                                         |                          | 2.12.-rasmdagi vaqt oraliqlari   |                       |
|-------------------|------------------------|--------------|-------------------------|------------|------------------------------------------------------------------------------|--------------------------|----------------------------------|-----------------------|
|                   |                        |              | $U_a$                   | $i_a$      | $E_d$                                                                        | $i_d$                    |                                  |                       |
| VS1, VS2          | Qarama-qarshi yelkalar | 2.11-rasm, b | $U_a=E_d$               | $i_a=i_d$  | Kondensator S bir fazali ko'prik sxema orqali transformator ga razryadlanadi | $i_d$ kamayadi           | 1-2, 3-4, 5-6, 7-8, 9-10         |                       |
| VS3, VS4          |                        | 2.11-rasm, g | $U_a=-E_d$              | $i_a=-i_d$ |                                                                              |                          | 11-12,13-14, 15-16, 17-18, 19-20 |                       |
| VS1, VS3          | Yonma-yon yelkalar     | 4.11-rasm, v | ning qisqa tutashuvi    | VM 3, VS 1 | $i_{\alpha}$ ortadi                                                          | Kondensator C bir fazali | $i_d=0$                          | 2-3, 6-7, 10- $\pi$ , |

|                     |  |                     |  |                               |  |                                                                                                                      |  |                                                 |
|---------------------|--|---------------------|--|-------------------------------|--|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--|-------------------------------------------------|
|                     |  |                     |  | <b>VM<br/>1,<br/>VS<br/>3</b> |  | <b>ko'prik<br/>sxemad<br/>an<br/>ajratilg<br/>an va<br/>uch<br/>fazali<br/>ko'prik<br/>dan<br/>zaryadl<br/>anadi</b> |  | <b><math>\pi</math>-11, 14-<br/>15, 18-19</b>   |
| <b>VS2,<br/>VS4</b> |  | <b>4.11-rasm, d</b> |  | <b>VS<br/>2,<br/>VM<br/>4</b> |  |                                                                                                                      |  | <b>0-1, 4-5,<br/>8-9</b>                        |
|                     |  |                     |  | <b>VS<br/>4,<br/>VM<br/>2</b> |  |                                                                                                                      |  | <b>12-13, 16-<br/>17, 20-2 <math>\pi</math></b> |

### III – BOB

#### Kollektorsiz (asinxron) tortuv motorli EHTni boshqarish tizimlari

##### 3.1. Elektr harakat tarkiblari boshqarish tizimlarining klassifikatsiyasi

**Boshqarish**—bu qo'yilgan maqsadga erishish uchun obyektga yo'naltirilgan ta'sirdir.

**Poyezdni boshqarishdan maqsad**— uning o'rnatilgan boshlang'ich stansiyadan oxirgi stansiyagacha jadvaldagi vaqt oralig'ida harakat xavfsizligini va energiya ning minimal sarfini ta'minlashdan iborat.

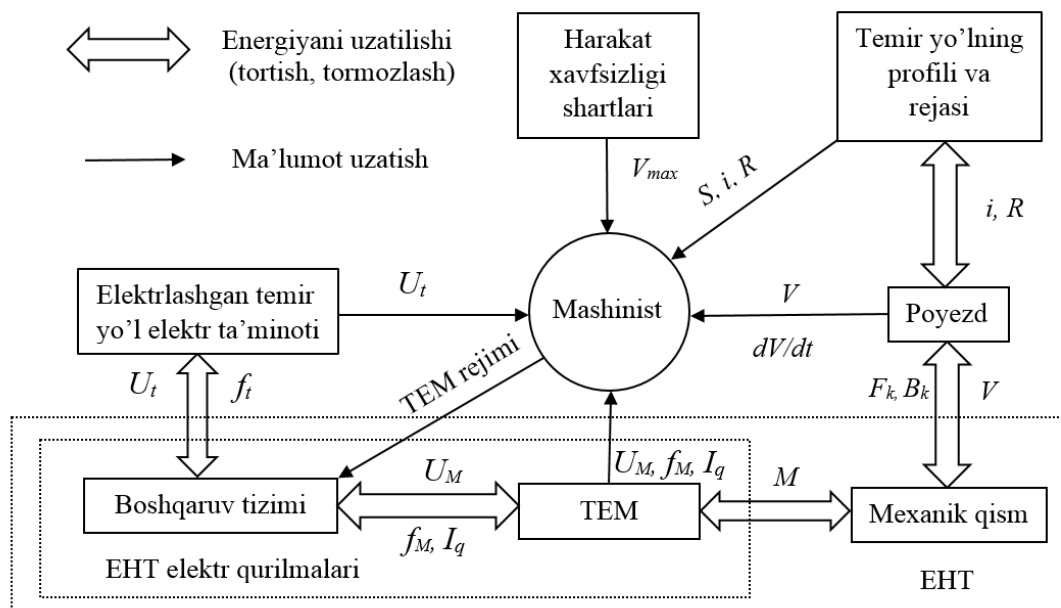
Buning uchun poyezdning tezligi  $V$ , ma'lum bosib o'tilgan yo'lga bog'liq holda o'zgarishi lozim. Belgilangan maqsadga, agar lokomotiv poyezdning harakatlanishi uchun qarshilik kuchini  $W$  yengish uchun yetarli bo'lgan va poyezdning kerakli tezlanishini  $dV/dt$  hosil qilish uchun  $F_k$  tortish kuchini hosil qilsagina erishilgan bo'ladi. Zarur bo'lganda poyezdning tezligini pasaytirish uchun ( $dV/dt < 0$ ), tezlik  $V$  vektoriga qarshi yo'naltirilgan  $B$  tormozlovchi kuchni hosil qilish talab etiladi.

Lokomotivlarning tortish va tormozlash kuchlarini hosil qilish imkoniyatlari uning tortish va tormozlash xarakteristikallari orqali, aniqlanadi, ular  $F_k(V)$  va  $B(V)$  bog'liqliklari bilan ko'rsatiladi va lokomotivlarning parametrlari bilan aniqlanadigan  $F_k$  va  $V$  kuchlari bilan chegaralanadi.

**EHT boshqarish masalasi** tortuv elektr motorining (TEM) ma'lum bir ish holatini hosil qilish bilan belgilanadi, unda kerakli bo'lgan tortish kuchini  $F_k$  (yoki tormozlovchi kuch  $B$ ) harakatning berilgan tezligida  $V$  ta'minlay olsin.

**TEMning ish holatlari** uning qismlarida (cho'lg'am uchlarida) beriladigan  $U_m$  kuchlanish, qo'zg'atish toki  $I_q$ , o'zgaruvchan tok TEMlari uchun yana tarmoq chastotasi  $f$  bilan aniqlanadi.

**TEMning ish holatlarini o'zgartirish** uchun mo'ljallangan jihozlar jamlamasi **EHTning boshqarish tizimi (EHTBT) deb ataladi.**



3.1-rasm. Elektrharakattarkibiniboshqarishtizimi.

3.1- rasmda poyezd harakatlanishida elektr energiyani mexanik energiyaga aylantirishda qatnashadigan elektrlashtirilgan temir yo'l elementlari, hamda poyezdni boshqarish uchun zarur bo'lgan elementlar orasidagi informatsion bog'lanishlar ko'rsatilgan. EHTBTning birinchi asosiy funksiyasi poyezd haraktlanish jadvaliga mosligini ta'minlash maqsadida TEMning ish holatini rostlash hisoblanadi. Elektrlashtirilgan temi ryo'llarni elektr ta'minot tizimi EHT tok qabul qilgichiga elekt renergiyasini etkazishni ta'minlashdan iborat. Ma'lumki, elektr ta'minot tizimlaridagi kapital harajatlar va undagi yillik energiya isroflarin kamaytirish uchun kontak ttarmog'ida yuqori kuchlanishdan foydalanish orqali erishish mumkin. Biroq bunda TEMni bevosita kontakt tarmog'idan elektr energiyasi bilan ta'minlash mumkin bo'lmaydi, chunki TEMdagi kuchlanish  $1500V$  dan oshmasligi lozim, TEMlarining zarur bo'lgan (parametrlariga) kattaliklariga  $U_m=700-1000$  Vda erishish mumkin.

Shuning uchun EHTBning ikkinchi asosiy funksiyasi kontakt tarmog'ining chastotasi  $f_{tarmoq}$  bilan harakatlanuvchi kuchlanishni  $U_{tarmoq}$  va undagi tok turini TEM uchun mos qiymatga o'zgartirish ( $U_m$  va  $f_m$ ) maqsadga muvofiq bo'lgan kuchlanishni va tok turini o'zgartirish hisoblanadi. Bundan tashqari EHTBTlari quyidagi qo'shimcha funksiyalarni bajarishi lozim:

-EHT parametrlariga bog'liq holda va harakat xavfsizligi talablariga ko'ra harakat tezligi, tortish kuchi va elektr tormozlashni chegaralash;

-Xavfli holatlardan va elektr jihozlarni buzilishlardan himoyalash;

-Elektr jihozlarni havo bilan sovutishni va pnevmatik yuritmalar uchun siqilgan havoni uzatishni ta'minlash;

- EHTni boshqarishni avtomatlashtirish.

Poyezdning harakatlanish shartlariga asosan EHTni boshqarish tizimlarining asosiy va qo'shimcha funksiyalarini bajarish uchun EHTBTlari ish holatlarini qayta ulash kerak bo'ladi. Bu qayta ulashlarni o'zining harakatlarida TEMlarning ish holatlarini ( $U_m$ ,  $I_m$ ,  $I_k$ ) elektr ta'minot tizimlarini ( $U_{tarmoq}$ ), poyezdning harakatlanish shartlari ( $V, dv/dt$ ,  $I$ ,  $S$ ) hamda harakatlanish xavfsizligi talablarini hisobga olish zarur.

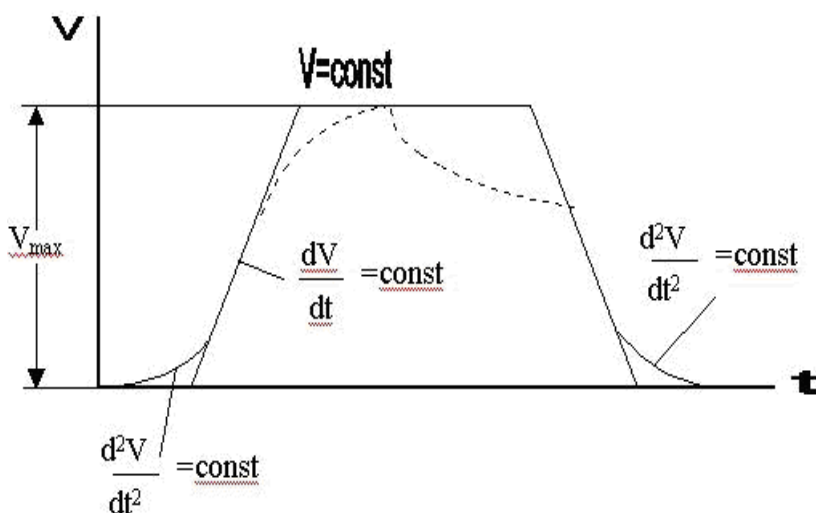
### **Xulosa**

1. EHTni BTTEMLari ish holatlarini rostlash uchun qo'llaniladi.
2. Kontakt tarmog'i va TEMlarining nominal kuchlanishlari qiymatiga qo'yiladigan talablar qarama-qarshi hisoblanadi. EHTniBtlaribuqarama-qarshiliknihisobga olishilozim.
3. EHTni Btlarini elektr ta'minot tizimlari, TEMlari va EHTdagi boshqa qurilmalar hamda elektrlashtirilgan temir yo'ldagi barcha elementlarni

ekspluatatsiya qilish harajatlari uchun umumiy kapital harajatlarni baholash asosida qabul qilinadi.

### EHTni boshqarishni amalga oshirish

Berilgan harakatlanish vaqti oralig'ida eng kam energiya sarfi bilan poyezdning harakat holati tezlikning  $V=const$  da ta'minlanadi. Biroq harakatlanish holati har xil oraliqda tezlikning har xil bo'lishini talab qiladi. Ko'pincha, poyezd jo'natilayotganda, hamda u to'xtatilgandan keyin  $V=0$  bo'ladi. Shuning uchun tezlikning bir turg'un holatidan boshqa holatiga o'tkazish lozim bo'ladi. Tezlikni o'zgartirish uchun bir tekisda tezlashadigan yoki bir tekisda sekinlashadigan harakatlanish  $dv/dt=const$  (3.2 – rasm) tavsiya etiladi.



3.2 – rasm. Poyezdning harakatlanish holatlari.

Shuni hisobga olish lozimki, tezlanish qiymatining birdaniga o'zgarishi urilish kabi, harakatlanuvchi tarkib konstruksiyasiga qo'shimcha yuklamani yuzaga keltiradiva poyezdda bo'lgan yo'lovchilar uchun noxush holatlarni yuzaga keltiradi. Shuning uchun tezlanish o'zgarishini doimiy saqlagan holda tezlanishni asta – sekinlik bilan o'zgartirish kerak. Tezlikni kamaytirish uchun va odatiy ishchi tormozlashda  $dv/dt=0,5m/s^2$  va  $d^2v/dt^2 = 0,25 m/s^3$ ,

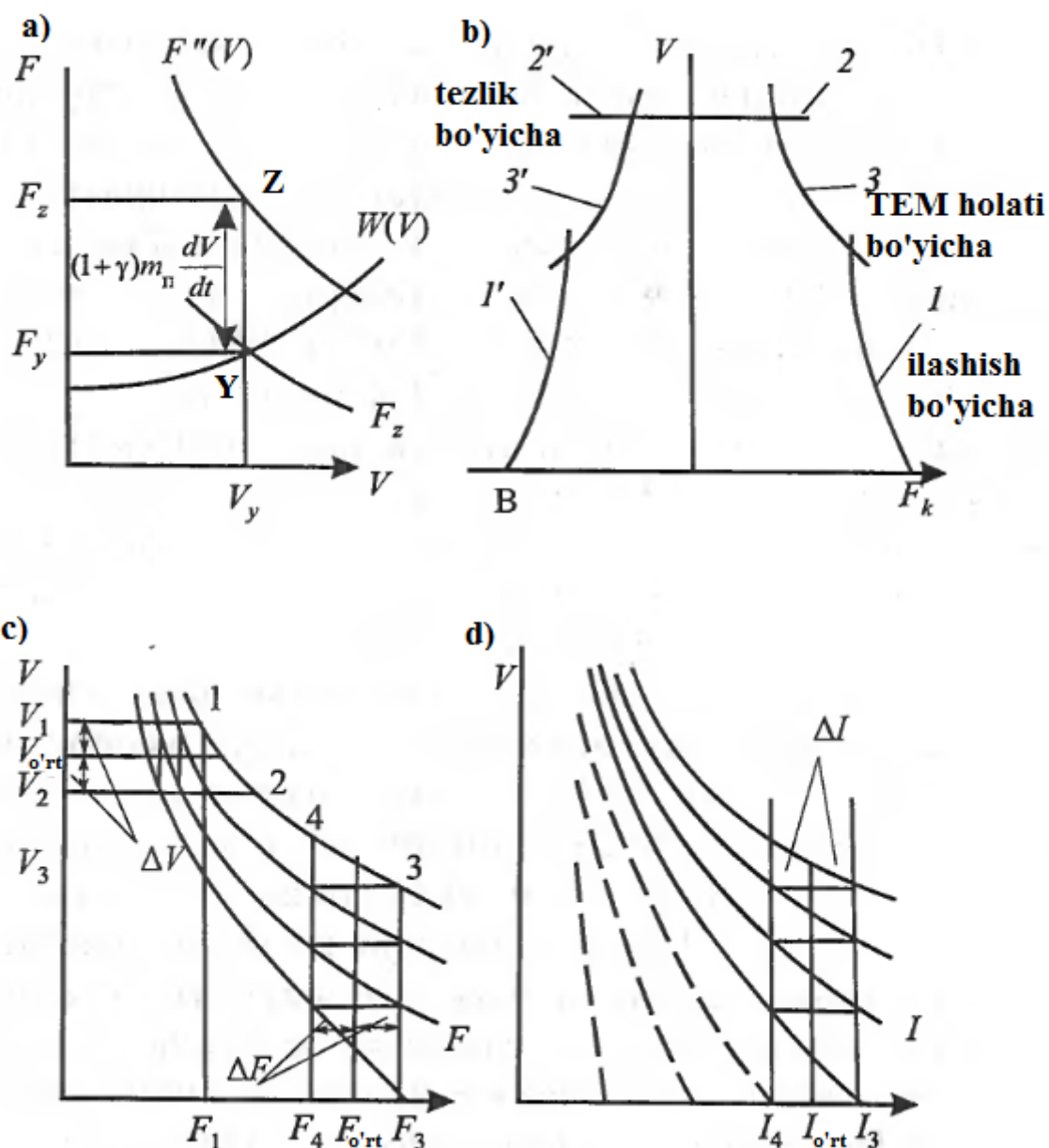
favqulotda tormozlashda esa  $dv/dt=2,2 \text{ m/s}^2$  va  $d^2v/dt^2 = 10 \text{ m/s}^3$  qabul qilinadi.

Shunday qilib boshqarish tizimi poyezdning uchta asosiy holatini ko'zda tutishi lozim:  $V=const$ ,  $dv/dt=const$   $d^2v/dt^2=const$ . Tortish xarakteristikasining real ko'rinishini hisobga olgan holda va harakatlanish bog'lanishni hisobga olganda  $V(t)$  1.2 – rasmda ko'rsatilgan uziq chiziqlar ko'rinishida bo'ladi.

Ma'lumki, poyezdning ruxsat etilgan harakat tezligi, harakatning to'liq qarshiligi  $W(V)$  va tortish xarakteristikalarining kesishgan nuqtasi (1.3, a,b,c,d– rasmdagi  $Y$  nuqta) bilan aniqlanadi. Unda poyezd belgilangan tezlik bilan  $\frac{dV}{dt}$  tezlanishga ega bo'lishi va tortish kuchi  $F_z=F_y+(1+\gamma)m_n$   $dV/dt^2$ ga teng bo'lishi kerak ( $Z$ - nuqta).

Bu yerda  $m_n$ – poyezd massasi,  $1+\gamma$  – aylanuvchi qismlar inertsiya koeffisienti.

Poyezdning talab etiladigan harakat tezligi zarur bo'lgan tezlikni yuborish harakat xavfsizligi shartlari, hamda harakatlanish qarshiligi variatsiyasiga, poyezd massasi va yo'l profili bo'yicha beriladi. Poyezd harakatlanish sharoitining xilma-xilligi EHTBTni oldiga EHTning  $F_k(V)$  (3.3, b – rasm) tortish xarakteristikasini mavjud chegaralanishlarga mos ixtiyoriy nuqtasidagi ilakish bo'yicha – 1, tezlik bo'yicha – 2 va TEMning ruxsat etilgan ishlash holati bo'yicha – 3 holatlarni amalga oshirishni talab etadi.



3.3 – rasm.

Mazkur chegaralanishlar tormozlash xarakteristikalarini  $V(V)$  uchun ham to'g'ri keladi (3.3,b – rasmdagi  $1^l$ ,  $2^l$  va  $3^l$  holatlar).

Bu talablar faqat TEMlar ish holatlarini asta-sekinlik bilan rostlagan holda to'liq bajariladi. Masalan, har xil massali poyezdlarning har xil qiyaliklarda tezligini o'zgarmas ushlash uchun  $V_1 = \text{const}$  (3.3, c – rasm) bunday tezlikda tortish kuchini  $F_1$  dan 0 gacha asta – sekin rostlash zarur bo'ladi. Tezlikning gpog'onali rostlashda harakat qarshiligi variatsiyasida bir tortish xarakteristikasidan ikkinchisiga o'tish natijasida ruxsat etilgan tezlik

$V_{rux}$  ixtiyoriy  $V_2 \leq V_{rux} < V_1$  qiymatga ega bo'lishi mumkin. Ruksat etilgan tezlikning  $V_1$  maksimal ruksat etilgandan mumkin bo'lgan og'ishi tezlikni rostlashning tenglashtirish koeffisienti bilan harakterlanadi,  $K_{nV}$ .

$$K_{nV} = \Delta V / V = (V_1 - V_2) / (V_1 + V_2)$$

$$V_{o'rt} = 0.5 (V_1 + V_2) \text{ ba } \Delta V = 0.5(V_1 - V_2)$$

Pog'onali rostlanadigan elektrovozlar uchun  $K_{nV} = 0.03 - 0.06$ , bundan kichik qiymatlar o'zgaruvchan tok elektrovozlariga mos keladi. Ravon rostlashda  $K_{nV} = 0$  bo'ladi. Poyezdning bir maromda tezlashishi ko'p hollarda ishga tushishda amalga oshadi, unda poyezd tezligi 0 dan  $V_3$  gacha ortishi lozim bo'ladi (3.3,c –rasmga qarang).

TEMning ishlash holatlarini ravon rostlash boshqarish tizimida, tezlikning o'zgarishishi oralig'ida tortish kuchining doimiyliigi  $F_3 = const$  ta'minlanishi lozim. Tortish kuchini bir tortish xarakteristikasidan ikkinchisiga o'tishda pog'onali rostlash tortish kuchi  $F$  ni  $F_4 \leq F \leq F_3$  oralig'ida o'zgartirish bilan amalga oshiriladi.

Pog'onali rostlashda tortish kuchining o'zgarishi ishga tushirish tortish kuchining teng taqsimlanmaganlik koeffisienti  $K_{nF}$  bilan tavsiflash mumkin.

$$K_{nF} = \Delta F / F_{o'rt} = (F_3 - F_4) / (F_3 + F_4)$$

$$\text{Bunda } F_{o'rt} = 0.5 (F_3 + F_4) \text{ ba } \Delta F = 0.5(F_3 - F_4)$$

EHTda bevosita tortish kuchini o'lchaydigan jihozlar bo'lmaganligi uchun ko'pincha uning qiymatini bilvosita ko'rsatgich – tortuv elektr motorining toki  $I$  orqali aniqlanadi, bunda tortish kuchi tok kuchi bilan  $F = SFI$  munosabat orqali bog'langan.

Buyerda  $S$  –TEMning o'lchamlariga va tortish uzatmalariga bog'liq bo'lgan o'zgaras koeffisient;  $F$  –TEMning magnit oqimi.

Amalda pog'onali ishga tushirishishga tushirish tokining teng taqsimlanmaganlik koeffisienti bilan harakterlanadi  $K_{nl}$  (3.3, d – rasm).

$$K_{nl} = \Delta I / I_{o'rt} = (I_3 - I_4) / (I_3 + I_4)$$

Bu yerda

$$\Delta I = (I_3 - I_4)$$

$$I_{o'rt} = (I_3 + I_4)$$

$K_{nl}$ ning kamayishi bilan ishga tushirish ancha ravonbo'ladi, biroqishga tushirish pog'onalari soni ko'p bo'lsa EHTni boshqarish tizimi murakkablashadi ko'p miqdorda gikommutatsiya apparatlari va o'tkazgichtalab etiladi. Ishga tushishning tezlashishi ortishi bilan ravon ishga tushirish talablari ortadi. Har xil turdagi EHT va TEM holatini rostlash usullariga bog'liq holda  $K_{nl}$  ning qiymatlari 3.1 –jadvalda keltirilgan. Ravonrostlashda  $K_{nl}=0$ .

3.1 – jadval.

Ishga tushirishning teng taqsimlanmaganlik koeffisienti

| EHT turi         | Pog'onali ishga tushirish usuli        | $K_{nl}$    |
|------------------|----------------------------------------|-------------|
| Elektrovozlar    | Reostatli                              | 0,07 – 0,08 |
|                  | Transformator seksiyalarini ulab uzish | 0,14 – 0,16 |
| Elektropoyezdlar | Reostatli                              | 0,08 – 0,10 |

|                         |                                           |             |
|-------------------------|-------------------------------------------|-------------|
|                         | Transformator seksiyalarini ulab<br>uzish | 0,10 – 0,12 |
| Metropoliten poyezdlari | Reostatli                                 | 0,04 – 0,06 |

Ishga tushirishni rostlash pog'onasining quyidagi turlari farqlanadi.

Tezlashtirilgan pog'ona maksimal ishga tushirish toki va tortish kuchini hosil qilish uchun foydalaniladi. 3.3, d – rasmda tezlashtirilgan pog'ona uzluksiz chiziqlar bilan ko'rsatilgan. Bu pog'onada ishlash ishga tushirish vaqtining asosiy qismini egallaydi.

Manyovr uchun (3.3, d – rasmda uzun chiziqli) tezlashtirilgan pog'onadan harakatlanmayotgan elektrovozlardagi TEMlarning toki maksimal qiymatidan ham kam bo'lishi bilan farq qiladi.

Bupog'onalarishga tushirish tezlanishi intensivligini rostlashga imkon beradi, va manyor uchun ishlarni va elektrovozni tarkibga ulashda ravon joyidan qo'zg'atish uchun xizmat qiladi.

Bu pog'onalarning har bir turida hisoblashning o'ziga xos xususiyati mavjud bo'lib, u harakatlanish tezligiga, poyezdni ravon yurishiga, harakatlanish xavfsizligiga hamda EHTning tortish va tormozlash xarakat tekistikalarining chegaralanish talablariga bog'liq bo'ladi.

### Xulosa

1.EHTning BT poyezdning harakatlanish holatini  $V=const$ ,  $dV/dt=const$  va  $d^2V/dt^2=const$  chegaralarida tortish va tormozlash xarakteristikalarini ta'minlashi lozim.

2. Tezlik  $V$ , tezlanish  $dV/dt$  va tezlanishning o'zgarish tezligi  $d^2V/dt^2$  larning qiymati poyezdning haraktlanish xavfsizligi va yurishini ravonligi talablari bilan belgilanadi.

3.  $V$ ,  $\frac{dV}{dt}$  va  $\frac{d^2V}{dt^2}$  larning o'zgarmasligi tortish kuchi va tormozlashni ravon rostdashda to'liq amalga oshirilishi mumkin.

4. Tortish va tormozlash kuchlarining pog'onalarini rostdashda  $V$ ,  $\frac{dV}{dt}$  va  $\frac{d^2V}{dt^2}$  larning o'rtacha qiymatlarida o'zgarmas holda ta'minlash mumkin. Bu kattaliklarining oniy qiymatlari ma'lum chegarada, ishga tushirish va tormozlashning tenglashtirish koeffisienti bilan aniqlanadi.

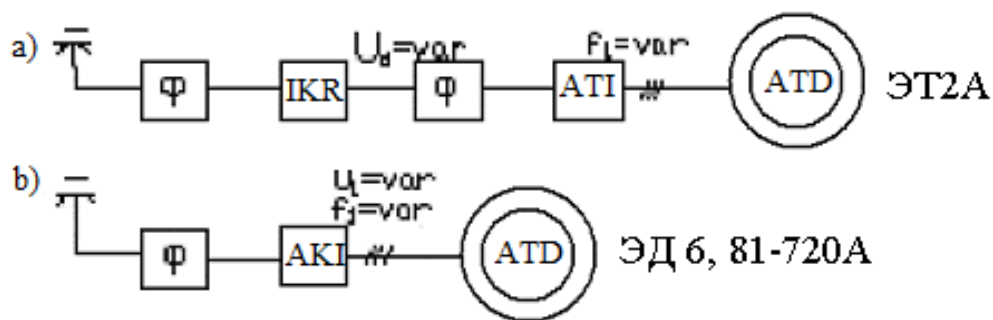
### **Asinxron tortuv yuritmasiga ega EHT kuch zanjiri tuzilmaviy sxemalari**

Asinxron tortuv yuritma (ATYu) siga ega EHT kuch zanjiri tuzilishi kontakt tarmog'i kuchlanishi va foydalanilgan yarim o'tkazgichli o'zgartirgichlar turiga bog'liq.

O'zgarmas tok EHTlari uchun ikki xil variantdagi avtonom tok invertorli (ATI) va avtonom kuchlanish invertorli (AKI) tuzilmaviy sxema bo'lishi mumkin (3.1- a, b rasm).

ATI faqat  $f_1$  chastotani rostdash imkonini beradi,  $U_1$  kuchlanishni rostdash uchun impulsli kuchlanish rostdagichi (IKR)dan foydalanish lozim. Kuchlanishni silliqdash uchun IKR kirish va chiqish qismlarida filtr (F)dan foydalaniladi.

3.1- a, rasmda ko'rsatilgan sxema ET2A elektropoyezdida qo'llanilgan. 3.1- b, rasmda ko'rsatilgan sxemada  $U_1$  kuchlanishni  $v_{f_1}$  chastotani rostdash avtonom kuchlanish invertorida amalga oshiriladi.



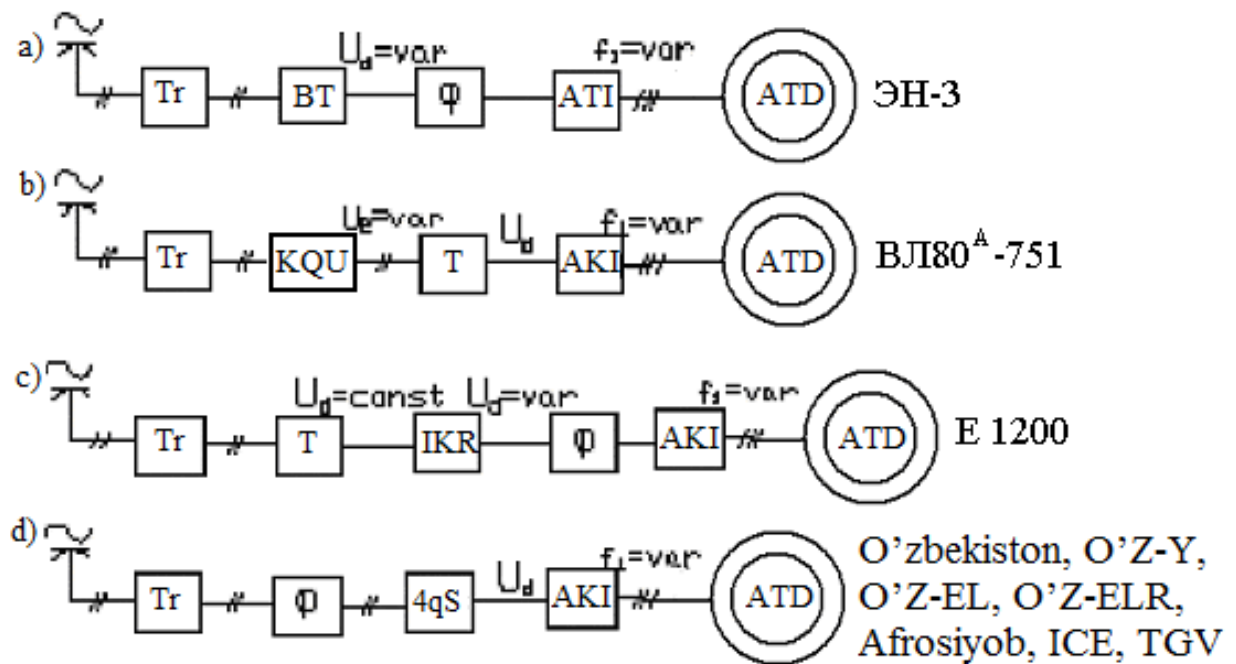
3.1-rasm

O'zgaruvchan tok EHT larida transformator  $Tr$  umumiy element hisoblanadi. ATI ga ega EHT larda kuchlanishni rostlash uchun boshqariluvchi to'g'rilagich ( $BT$ ) qo'llaniladi. EN-3 elektropoyezdida  $BT$  sifatida ikki zonali fazaviy rostlash sxemasidan foydalanilgan (3.2- a, rasm).

Tuzilmaviy sxemalarning qolgan variantlarida AKI qo'llanilgan. Birinchi asinxron motorli tajriba elektrovozi VL80A-751 da boshqarilmaydigan to'g'rilagich  $T$  kuchlanishi kontaktli qayta ulagich KQU yordamida rostlangan (3.2- b, rasm). Germaniyaning AEG firmasining E1200 elektrovozida impulsli kuchlanish rostlagichli boshqarilmaydigan to'g'rilagich qo'llanilgan (4.3-rasm, c)).

Zamonaviy EHT larda to'rt kvadrantli o'zgartirgich 4qS yordamida rostlash keng tarqalgan (3.2- d, rasm)), ular O'zbekiston, O'Z-Y, O'Z-EL, O'Z-ELR elektrovozlarida, Afrosiyob yuqori tezlikdagi elektropoyezdida, hamda boshqa zamonaviy asinxron yuritmalı EHTlarda keng qo'llanilmoqda.

4qS-o'zgartirgich ATM ga beriladigan kuchlanish va chastotani rostlash, quvvat koeffitsiyentini birga yaqin qilib ushlab turish va rekuperativ tormozlash imkonini beradi.



3.2-rasm

### 3.2. Asinxron tortuv motorli EHT boshqarishning kuch zanjirlari struktura sxemasi

EHT boshqarish tizimining asosiy vazifalaridan biri bu tortuv va tormozlash xarakteristikalarini tashkil qilish. Asinxron tortuv elektr yuritmasini tezligini rostdashning uchta kanali mavjud: statordagi chastota  $f_1$ , kuchlanish  $U_1$  ni o'zgartirish va rotordagi chastota  $f_s$  (mutlaq sirpanishdagi) ni o'zgartirish.

Yuqorida aytilganidek Kostenko qonuni quyidagi farazlarda olingan edi:

- tok va kuchlanishning sinusoidal shaklda bo'lishi;
- po'latning to'yinmaganligi, magnitlanish tokining hisobga olmasa ham bo'ladigan darajada kichikligi;
- statorning aktiv va induktiv qarshiligini juda ham kichikligi  $r_1 \ll \frac{x_2}{s}$

$$\text{va } x_1 \ll \frac{r_2}{s};$$

rotor qarshiligi  $r_2$  ning doimiyligi (qarshilik  $r_2$  temperaturaga bog'liq emasligi).

Yuqoridagi farazlarni motor nominal ish rejimi uchun qabul qilish mumkin, lekin ishga tushirishda stator cho'lg'ami qarshiligi  $r_1$  va  $x_1$  rotorning keltirilgan qarshiligi  $\frac{r_2}{s}$  ga yaqin, stator cho'lg'ami qarshiligi ta'siri hisobga olinishi zarur. Ishga tushirishda motor o'qidagi momentning doimiyligini ta'minlash uchun rotor chastotasi  $f_s$  doimiyligini ushlab turish lozim. Bunda AI tiristorlarining ulab-uzilish chastotasi orqali aniqlanuvchi stator cho'lg'ami kuchlanishi va tok chastotasi  $f_1$  quyidagi ifodadan aniqlanadi:

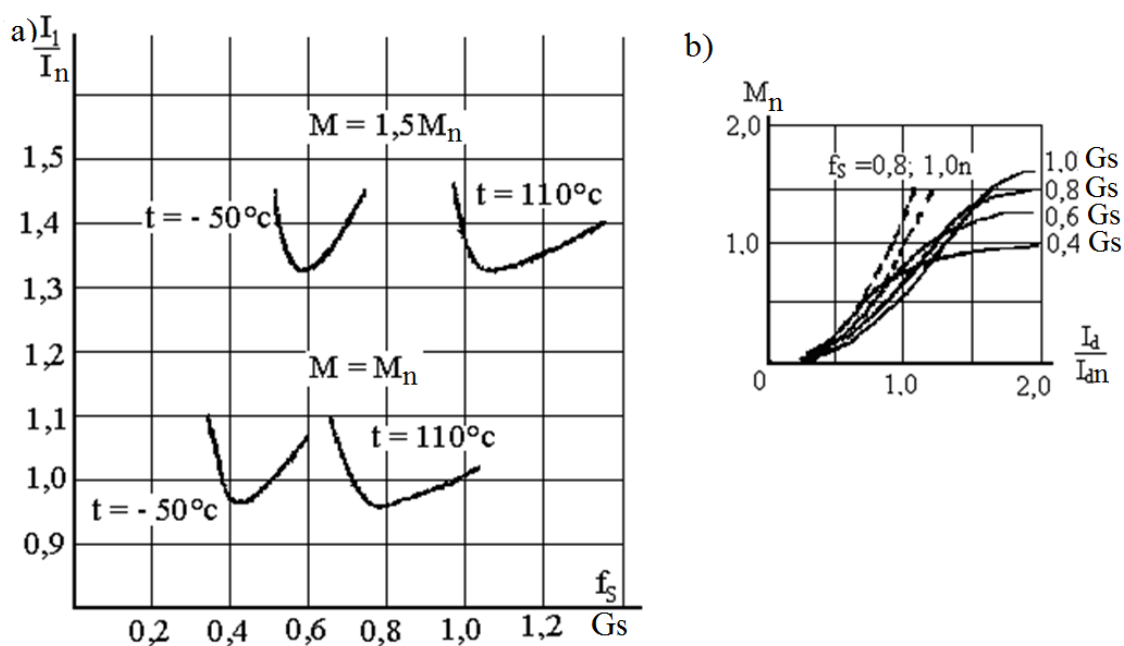
$$f_1 = \frac{p \cdot n_2}{60} + f_s = \frac{p \cdot \mu}{\pi \cdot D_k} \cdot V + f_s,$$

bu erda  $D_k$  - harakatlanayotgan g'ildirak diametri, m;  $\mu$  - reduktor uzatishlar soni;  $V$  - tezlik, m/s.

Hozirgi kunda asinxron tortuv yuritmasini boshqarishning uch asosidan foydalaniladi: sirpanishning mutlaq chastotasi bo'yicha, moment burchagi (vektor tizimi) bo'yicha va momentni to'g'ridan-to'g'ri boshqarish.

### **Mutlaq sirpanish bo'yicha rostlash**

Bu usul stator toki va aylanuvchi momentning sirpanish chastotasiga bog'liqliklariga asoslangan (3.2-rasm). Ishga tushirishda sirpanish chastotasi  $M = \text{const}$  bo'lganda  $U$  – simon xarakterga ega  $I_1(f_2)$  (3.3-a, rasm) va  $M(I_d)$  (3.3-b, rasm) bog'liqliklarni hisobga olgan holda tanlanadi.



3.3-rasm

Rasmdagi uzluksiz chiziqlar qo'zg'almas rotorga ( $n_2=0$ ) mos keladi, uziq chiziqlar aylanuvchi rotorga mos keladi. 3.3-rasmdan ko'rinib turibdiki:

- 1) har xil haroratda stator minimal toki har xil mutlaq sirpanishga mos keladi, ular harorat  $-45^{\circ}\text{S}$  dan  $+50^{\circ}\text{S}$  gacha o'zgarganda 1,5-2 martaga farq qiladi;
- 2) maksimal ishga tushish momentiga erishish uchun ishga tushish chastotasi tok qiymatiga qarab tanlanadi.

Rotor haroratining ortishi bilan stator tokining minimal qismi katta sirpanishlar qismiga siljiydi.  $I_1(f_2)$  egri chizig'i qiyaroq bo'ladi.

Kamchiliklar:

- 1) bir xil seriyadagi har xil motorlarda  $f_s(M)$  va  $I_1(M)$  bog'liqliklar bir-biridan farqlanishi mumkin;
- 2) rotorning temperaturasi bog'liq ravishda  $f_s$  signalni rostlash zaruriyati borligi;

3) bevosita qisqa tutashtirilgan rotor temperaturasi o'lchash imkoniyati yo'qligi.

Qurilmaning nisbatan soddaligi asosiy afzalligi hisoblanadi.

### **Moment burchagi (vektor tizimi) bo'yicha rostlash**

Moment burchagi  $\theta$  deb, stator toki vektori  $\bar{I}_1$  va oqim ilashishi vektori  $\bar{\psi}_2$  orasidagi burchak.

$\theta$  burchakni skalyar kattaliklar orqali ham ifodalash mumkin:

$$\theta = \arctg \frac{2}{3} \cdot \frac{M_{EM} \cdot L_2}{p_1 \cdot \psi_2^2}.$$

bu yerda  $p_1$  -ATM juft qutblar soni;  $M_{em}$  - elektromagnit moment;  $L_2$  - rotor cho'lg'ami to'la induktivligi.

Ushbu ifodadan ko'rinib turibdiki,  $\theta$  burchak rotor cho'lg'ami haroratiga bog'liq emas.

Agar  $\bar{\psi}_2$  bilan sinxron aylanayotgan motor tenglamasini  $d$ - $q$  koordinatalar sistyemasida ko'rib chiqsak:

$$\theta = \arctg \frac{I_{1q}}{I_{1d}},$$

bu erda  $I_{1d}$  va  $I_{1q}$  -  $\bar{I}_1$  vektorining  $d$  va  $q$  o'qlardagi proyeksiyasi.

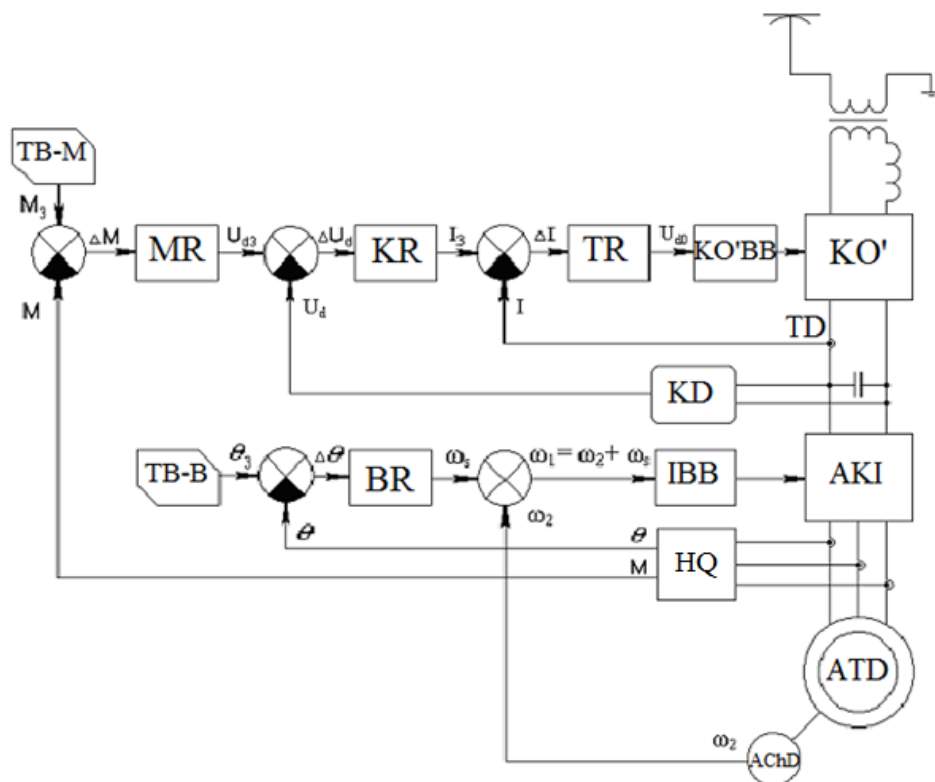
O'rnashgan rejimda

$$\theta = \arctg \frac{\omega_s \cdot L_2}{r_2}.$$

Moment burchagi bo'yicha rostlash Kostenko qonuni bo'yicha rostlashdan aniqroq natijalar beradi, sababi moment burchagi rotor cho'lg'ami harorati o'zgarishiga bog'liq emas.

$$\theta = \arctg \frac{\Psi_{1\alpha} \cdot i_{1\beta} - \Psi_{1\beta} \cdot i_{1\alpha}}{\Psi_{1\alpha} \cdot i_{1\alpha} + \Psi_{1\beta} \cdot i_{1\beta} - (L_{\sigma 1} - L_{\sigma 2}) \cdot (i_{1\alpha}^2 + i_{1\beta}^2)},$$

Moment burchagi bo'yicha ART funktsional sxemasi 3.4-rasmda keltirilgan.



Funksional sxemada quyidagi byelgilashlar keltirilgan:

TD, KD, ACHD – tok, kuchlanish va aylanish chastotasi datchigi;

TB-M, TB-B– topshiriq beruvchi-moment, topshiriq beruvchi-burchak;

KO'BB, IBB—kirish o'zgartgichi boshqaruv bloki, invertorni boshqaruv bloki;

HQ – hisoblash qurilmasi; KO' – kirish o'zgartgichi.

Moment burchagi bo'yicha boshqarish tizimi ikkita rostlash konturiga ega:

1. AKI chastotasini rostlashni bo'ysindirilgan konturli ATM moment burchagini rostlash konturi. Topshiriq beruvchi-burchak TB-B – signalni hosil qiladi va hisoblovchi qurilma HQ chiqishidagi qiymat bilan solishtiriladi, HQ bu qiymatni tok  $i_1$  va oqim ilashishi  $\psi_1$  qo'zg'almas koordinata o'qlari  $\alpha$  va  $\beta$ ga proyeksiyasiga bog'liq ravishda yuqoridagi formuladan hisoblaydi.

Burchak rostlagichi BR berilgan va amaldagi burchaklar farqini  $\Delta\theta = \theta_{\text{ber}} - \theta$  sirpanish chastotasiga  $\omega_s$  o'zgartiradi. Ushbu chastota rotor aylanish chastotasi datchigi signali  $\omega_2$  bilan qo'shilib, stator uchun invertorni boshqarish bloki IBB hosil qiluvchi zarur bo'lgan  $\omega_1 = \omega_2 + \omega_s$  chastotani aniqlaydi.

2. Kirish o'zgartgichi va inverter orasida o'zgarmas kuchlanish  $U_d$  va  $I_d$  tokni rostlovchi bo'ysindirilgan konturli momentni rostlash konturi. Topshiriq beruvchi-moment TB-M  $M_{TB}$  signalni hosil qiladi hisoblovchi qurilma chiqishidagi quyidagi formula orqali hisoblab topiluvchi qiymat  $M_D$  bilan solishtiriladi

$$M_D = \frac{3}{2} \cdot p_1 \cdot (\psi_{1\alpha} \cdot i_{1\beta} - \psi_{1\beta} \cdot i_{1\alpha}).$$

Moment rostlagichi MR rostlash xatoligini  $\Delta M = M_{\text{ber}} - M_D$  kuchlanish datchigi signali  $U_d$  bilan solishtiriluvchi o'zgarmas tok zvenosi berilgan kuchlanishi  $U_{d\text{ber}}$  ga o'zgartiradi.

Kuchlanishni rostlash xatoligi  $\Delta U_d = U_{d\text{ber}} - U_d$  tok rostlagichi  $TR$  kirish o'zgartgichi  $KO'$  kuchlanishini boshqarish signaliga o'zgartiriladi. Tok rostlagichi kirish o'zgartgichi tashqi tavsifi egilishini kompyensatsiyalaydi va o'ta yuklanish toklarini cheklaydi.

### **Momentni to'g'ridan-to'g'ri boshqarish tizimi**

Asinxron motor aylanuvchi momenti stator  $\psi_1$  va rotor  $\psi_2$  oqim ilashishlari vektor ko'paytmalariga mutanosib.  $\psi_1$  vektorining moduli AM statori kuchlanishi bilan aniqlanadi. Uch fazali AM avtonom invertordan ta'minlashda stator har bir fazasidagi kuchlanish invertorning qaysi kalitlari ulanganligiga bog'liq ravishda, qo'zg'almas koordinatalar tizimining oltita holatidan  $U1 - U6$  birida bo'lishi mumkin (3.5-a, rasm). AM aylanuvchi momentini to'g'ridan-to'g'ri boshqarish inverter kalitlarining kommutatsiyasining shunday amalga oshiriladiki, unda stator kuchlanishi vektorining bo'lishi mumkin bo'lgan holatdan boshqa holatga o'tishi stator oqim ilashishi  $\psi_1$  va rotor toki  $I_2$  vektorlari orasidagi  $\gamma$  burchagining zarur bo'lgan qiymatlarini ta'minlasin. Momentni to'g'ridan-to'g'ri boshqarish MTB 3.5-b, rasmda keltirilgan.



Mutanosib-integral tezlik rostlagichi TR va cheklash bo'limi CHB momentning  $M^*$  berilgan qiymatini hosil qiladi.

Releli moment rostlagichi MR va stator oqimi rostlagichi OR rostlanayotgan kattaliklar ( $M^*, \psi_1^*$ ) ni berilgan qiymatlarini ularning baholangan qiymatlari  $M, \psi_1$  solishtirib, AKI invertori kalitlarini statorning joriy oqim ilashish burchagi  $\psi_1$  ni hisobga olib boshqaruvchi, kuchlanish vektorini tanlash bloki KVTB uchun mantiqiy signallar hosil qiladi.

MTB tizimining muhim qismidan biri bu hisoblovchi qurilmadir, u kuchlanishni hisoblash bloki KHB, tokni hisoblash bloki THB, oqimni hisoblash bloki OHB, momentni hisoblash bloki MHB va rotor tezligini hisoblash bloki THBdan iborat. Hisoblash bloklari quyidagi formulalar

$$\psi_1 = \int (U_1 - I_1 r_1) dt$$

$$\psi_2 = \frac{L_2}{L_{12}} (\psi_1 - \sigma L_1 I_1)$$

$$\omega_2 = \omega_0 - \frac{2}{3p_1} r_2 \frac{M}{\psi_2^2}$$

yordamida hisoblaydi:

bu erda  $\omega_0$ -stator oqimining burchak aylanish chastotasi;  $L_1, L_2, L_{12}$ - mos ravishda stator, rotor va o'zaro induktivlik induktivliklari;  $\sigma$ - sochilish koeffitsienti;  $r_1$  va  $r_2$ - mos ravishda stator va rotor cho'lg'amlari aktiv qarshiliklari.

Yuqoridagi tenglamalarga kiruvchi parametrlar motorni oqimni cheklash rejimiga o'tish bilan o'zgarmas tok bilan oldindan magnitlash rejimida aniqlanadi. Bu magnit zanjirini to'yinganligini hisobga olish imkoniyatini beradi.

Momentni to'g'ridan-to'g'ri boshqarish tizimi faqat tok va kuchlanish datchigidan foydalanadi va tezlik datchigini qo'llashni talab etmaydi. O'tkinchi jarayonlarning qoniqarli sifati  $r_1$  va  $r_2$  ni baholash xatoligi 5%dan ko'p bo'lmaganda ta'minlanadi. Shuning uchun tizimda motor cho'lg'amlari qizishiga moslashuvchi algoritmlar hisobga olinishi kerak.

### Xulosa

1. EHTning BT poyezdning harakatlanish holatini  $V=const$ ,  $dV/dt=const$  va  $d^2V/dt^2=const$  chegaralarida tortish va tormozlash xarakteristikalarini ta'minlashi lozim.
2. Tezlik  $V$ , tezlanish  $dV/dt$  va tezlanishning o'zgarish tezligi  $d^2V/dt^2$  larning qiymati poyezdning haraktlanish xavfsizligi va yurishini ravonligi talablari bilan belgilanadi.
3.  $V$ ,  $\frac{dV}{dt}$  va  $\frac{d^2V}{dt^2}$  larning o'zgarmasligi tortish kuchi va tormozlashni ravon rostlashda to'liq amalga oshirilishi mumkin.
4. Tortish va tormozlash kuchlarining pog'onalarini rostlashda  $V$ ,  $\frac{dV}{dt}$  va  $\frac{d^2V}{dt^2}$  larning o'rtacha qiymatlarida o'zgarmas holda ta'minlash mumkin. Bu kattaliklarining oniy qiymatlari ma'lum chegarada, ishga tushirish va tormozlashning tenglashtirish koeffisienti bilan aniqlanadi.

### **Foydalanilgan adabiyotlar royxati**

1. Доклад Президента Республики Узбекистан Ислама Каримова на заседании правительства по итогам социально-экономического развития страны на тему: «Все наши устремления и программы – во имя дальнейшего развития родины и повышения благосостояния народа», 2011 йил 21 январь. – <http://www.senat.gov.uz/>
2. Винокуров В.А., Попов Д.А. Электрические машины железнодорожного транспорта: Учебник для вузов. — М.: Транспорт, 1986. — 511 с.
3. Горбань В. И., Донской А.Л, Шабалин Н.Г. Электронное оборудование электровоза ВЛ80Р: Ремонт и техническое обслуживание. — М.: Транспорт, 1984. — 184 с.
4. Дубровский З.М., Попов В.И., Тушканов Б. А. — Грузовые электровозы переменного тока. Справочник. — 2-е изд., пер. и доп. — М.: Транспорт, 1998. — 503 с.
5. Ротайов НА, Зачарченко Д.Д., Плакс А.В., Некрасов ВЖ., Инь- ков Ю.М. — Проектирование систем управления электроподвижным составом / Под ред. Н.А. Ротанова. — М.: Транспорт, 1986. — 327 с.
6. Смирнов В. А. Электрические схемы электропоездов ЭД9Т и ЭД9М //Локомотав. 2002. № 6. - С. 47—49.
7. Солодунов А.М., Иньков Ю.М., Коваливкер Г.Н., Литовченко В.В. — Преобразовательные устройства электропоездов с асинхронными тяговыми двигателями. — Рига: Зинатне, 1991. — 351 с.
8. Электровоз ВЛ65. Руководство по эксплуатации. Инструкция по техническому обслуживанию и техническим ремонтам ИДМБ.6611-42.003РЭ8. - Новочеркасск: ВЭЛНИИ, 1992. - 346 с.
9. Электровоз ВЛ80С. Руководство по эксплуатации / Васько Н.М., Девятков А.С., Кучеров А.Ф. и др.— 2-е изд.—М.: Транспорт, 1990. —454 с.
10. Электровоз ВЛ85: Руководство по эксплуатации / Б. А. Тушканов, КГ,

- Пушкарев, ЛА Позднякова и др. — М.: Транспорт, 1992. — 480 с.
11. «Руководство по ремонтной работе электровоза серии «Ozbekiston».
  12. «Руководство по использованию и обслуживанию электровоза «Ozbekiston».
  13. «Руководство по ремонтной работе электровоза серии «Ozbekiston-Yolovchi» ЧЧЭК (КНР).
  14. «Руководство по использованию и обслуживанию электровоза «Ozbekiston-Yolovchi» ЧЧЭК (КНР).
  15. «Инструкции по техническому обслуживанию и ремонту узлов с подшипниками качения локомотивов о МВПС».
  16. «Инструкция №НТ-36 по формированию, ремонту и содержанию колесных пар тягового подвижного состава железных дорог колеи 1520мм.
  17. «Инструкция по техническому обслуживанию, ремонту и испытанию тормозного оборудования локомотивов и МВПС» - НТ-161.
  18. Петропавлов Ю.П. Технология ремонта электроподвижного состава: Учебник для техникумов и колледжей железнодорожного транспорта - М.: Маршрут, 2006. - 432 с.
  19. Чумоватов А.И., Буткевич Х.Ю., Белый А.И. Наладка цепей рекуперации //Локомотив. 1992. № 11,12. — С. 20—23.
  20. Электровоз ВЛ65. Руководство по эксплуатации. Инструкция по техническому обслуживанию и техническим ремонтам ИДМБ.6611-42.003РЭ8. - Новочеркасск: ВЭЛНИИ, 1992. - 346 с.
  22. Электровоз ВЛ11М: Руководство по эксплуатации. — М.: Транспорт, 1994. — 416 с.
  23. Электровоз ВЛ85: Руководство по эксплуатации / Б А. Тушканов, КГ, Пушкарев, ЛА Позднякова и др. — М.: Транспорт, 1992. — 480 с.
  25. Ю.П.Петропавлов. Технология ремонта электроподвижного состава — М.:Маршрут, 2006

26. Дубровский З.М. и др. Грузовые электровозы переменного тока: Справочник. – М.: Транспорт, 1991
27. Грищенко А.В., Козаченко Е.В. Новые электрические машины локомотивов: учебное пособие для вузов ж.-д. транспорта. М.: ГОУ «Учебно-методический центр по образованию на железнодорожном транспорте», 2008. – 271 с.
28. Плакс А.В. Системы управления электрическим подвижным составом. Учебник для вузов ж.-д. транспорта. М.: Маршрут, 2005 – 360 с.
29. Федоров М.М., Ткаченко А.А. К вопросу построения систем диагностики неисправностей асинхронных электродвигателей. Журнал «Электротехника и электромеханика», №2, 2006.
30. ЖДМ-online • Информационная служба журнала <Железные дороги мира>  
- [www. GDM-online.ru](http://www.GDM-online.ru)
31. Московский институт инженеров железнодорожного транспорта (МИИТ)  
- [www. miit-inf.ru](http://www.miiit-inf.ru).
32. Российский государственный открытый технический университет путей сообщения (РГОТУПС) - [www. rgotupc.ru](http://www.rgotupc.ru)
33. Сан -Петербургский Университет инженеров путей сообщения (СПУПС – ЛИИЖТ) - [www. liigt-inf.ru](http://www.liigt-inf.ru)
34. Методика составления технологических процессов, разработанная ГИ «УЗГОСЖЕЛДОРНАДЗОР».
35. Основные условия ремонта и модернизации ТПС, узлов и агрегатов на ремонтных заводах АО “O`ZBEKISTONTEMIRYOLLARI” № НТ-47.
36. Курбасов, А.С. Проектирование тяговых электродвигателей : учеб. пособие для вузов ж.-д. транспорта / А.С. Курбасов, В.И. Седов, Л.Н. Сорин ; под. ред. А.С. Курбасова. – М. : Транспорт, 1987.

37. Магистральные электровозы. Тяговые электрические машины ; под ред. В.И. Комарова и В.П. Умова. – М. : Энергоатомиздат, 1992.
38. Тяговые электрические машины и преобразователи. – Л. : Энергия, 1977.
39. Антипов В. А., Буткевич Х.Ю., Ляпустин В.Н., Чумоватов А.Ж. Система управления рекуперативным торможением модернизированная // Локомотив. 1997. № 7. — С. 20—26. <http://railway-transport.ru/>
40. Правила технического обслуживания тормозного оборудования и управления тормозами железнодорожного подвижного состава. Ташкент-2014 .
41. Инструкция по эксплуатации тормозов подвижного состава железных дорог. Ташкент – 2000 г.