

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

G.N. MUSTAFAKULOVA, O. Z. TOIROV, A. E. BEKISHEV

**MAXSUS ELEKTROMEXANIK
O‘ZGARTKICHLAR**

**5310700 – Elektrotexnika, elektromexanika, elektr texnologiyalari (elektr mashinasozlik)
yo‘nalishi bakalavr talabalari uchun darslik**

Toshkent- 2020

UO`K (УДК) 621.313.01 (075.8)
КВК (ББК) 31.261

Taqrizchilar:

A.X. Sulliyev – “Toshkent temir yo’llari muhandislik instituti, Elektr ta’minoti” kafedrası, texnika fanlari nomzodi, dotset;

M.M. Xamudxanov – “Islom Karimov nomidagi Toshkent davlat texnika universiteti, Energetika fakulteti, Elektr texnikasi va elektr texnologiyalari kafedrası, texnika fanlari doktori, professor.

G.N. Mustafakulova, O.Z. Toirov, A.E. Bekishev
Maxsus elektrmexanik o’zgartkichlar. Darslik. – T.: 2020 -230 b.

Darslikda maxsus elektromexanik o’zgartkichlar, ya’ni turli sohalarda qo’llaniladigan maxsus transformatorlar va maxsus maqsadli asinxron, sinxron va o’zgarimas tok mashinalarining tuzilishi, ishlash prinsipi, ularda bo’ladigan asosiy elektromagnit jarayonlar va ish rejimlari bayon etilgan.

Oliy oquv yurtlari talabalari, ilmiy xodimlar, maxsus maqsadli transformatorlar va maxsus maqsadli elektr mashinalarini ishlatish va ta’mirlash bilan shug’ullanuvchi korhonalarning mutaxassislari uchun.

В учебнике описаны специальные электромеханические преобразователи, а именно специальные трансформаторы, используемые в различных областях, и специальные асинхронные, синхронные электрические машины и специальные машины постоянного тока.

Для студентов вузов, научных сотрудников, трансформаторов специального назначения и специалистов по эксплуатации и ремонту электрических машин специального назначения.

The textbook describes special mechanical modifiers, namely special transformers used in various fields, and special devices of asynchronous, synchronous and direct current machines.

For university students, researchers, special-purpose transformers and specialists in the operation and repair of special-purpose electric machines.

MUNDARIJA

Kirish.....	9
1 Bob. MAXSUS MAQSADLI TRANSFORMATORLAR.....	11
1.1 Maxsus maqsadli kuch transformatorlariga oyid umumiy ma'lumotlar..	11
1.2 Elektr yoyi vositasida payvandlash uchun transformatorlar.....	13
1.3 To'g'irlagich qurilmalari uchun transformatorlar.....	16
1.4 Avtomatik qurilmalar uchun transformatorlar.....	22
1.5 Elektrlashtirilgan temir yo'l va shaxar elektr transformatorlari uchun kuch transformatorlari.....	26
1.6 Elektr o'lchash sxemalari uchun transformatorlar.....	28
1.7 Kuchlanishni to'liq rostlovchi transformatorlar.....	34
1.8 Fazalar sonini o'zgartiruvchi transformatorlar.....	39
1.9 Uch chulg'amli transformatorlar.....	41
1.10 Chulg'amlari teng ikki qismga bo'lingan transformatorlar.....	51
1.11 Chastotani o'zgartiruvchi transformatorlar.....	52
1.12 Kuchlanish stabilizatori.....	55
1.13 Avtotransformatorlar.....	58
1.14 Avtotransformatorlarda bo'ladigan elektromagnit jarayonlar.....	60
1.15 Katta quvvatli avtotransformatorning o'ziga xos xususiyatlari.....	63
Nazorat savollari.....	72
2 Bob. MAXSUS ASINXRON MASHINALAR.....	74
2.1 Bir fazali asinxron mashinlar.....	74
2.2 Kondensatorli asinxron dvigatellar.....	76
2.3 Uch fazali asinxron dvigatellarni bir fazali asinxron dvigatel sifatida ishlatish.....	80
2.4 Ximoyalangan (ekranlangan) qutbli bir fazali dvigatel.....	82
2.5 Induksion kuchlanish rostlagich (induksion regulyator).....	83
2.6 Faza rostlagich (faza regulyator).....	86
2.7 Asinxron chastota o'zgartkich.....	88
2.8 Asinxron kaskadlar.....	93
2.9 Massiv rotorli asinxron elektrmexanik o'zgartkich.....	97
2.10 Chiziqli asinxron elektrmexanik o'zgartkich.....	100
2.11 Asinxron taxogenerator.....	103
2.12 Aylanuvchi (buriluvchi) transformator.....	106
2.13 Asinxron mashinaning sinxron uzatmada ishlatilishi.....	107
2.14 Elektromagnit asinxron mufta.....	112
2.15 Ijrochi asinxron dvigatel.....	114
2.16 Sinxronlashtirilgan asinxron dvigatel.....	116
2.17 Ishga tushish xossalari yaxshilangan uch fazali qisqa tutashgan rotorli asinxron dvigatel.....	118
2.18 Uch fazali asinxron generator.....	120

2.19	O'zgaruvchan tok kollektorli asinxron mashinalar.....	127
	Nazorat savollari.....	136
3 Bob. MAXSUS SINXRON MASHINLAR.....		138
3.1	Krioturbogenerator.....	138
3.2	Magnitlanish o'qi buriladigan sinxron mashinalar.....	139
3.3	O'ta o'tkazuvchan qo'zg'atish chulg'amli sinxron mashinalar.....	142
3.4	Sinxron kompensator.....	144
3.5	Reaktiv sinxron dvigatellar.....	149
3.6	Induktorli generatorlar.....	152
3.7	Avtomobil va traktorlarda hamda temir yo'l vagonlarida keng qo'llaniladigan changaksimon qutbli sinxron generatorlar.....	156
3.8	Gisterezisli sinxron elektromexanik o'zgartkichlarning tuzilishi va ishlash prinsipi.....	159
3.9	Qadamli (impulsi) dvigatellarning tuzilishi va ishlash prinsipi.....	165
3.10	Ventilli - induktorli dvigatellar.....	168
3.11	Sinxron taxogeneratorlar.....	174
3.12	Rotori sirpanuvchi sinxron dvigatellar.....	175
3.13	Doyimiy magnitli sinxron dvigatellar.....	179
3.14	Gibrid qo'zg'atishli sinxron mashinalar.....	180
	Nazorat savollari.....	184
4 Bob. MAXSUS MAQSADLI VA ZAMONAVIY O'ZGARMAS TOK MASHINALARI AYRIMTURLARI.....		187
4.1	Kranlarda va metallurgiyada ishlatiladigan dvigatellar hamda tortuvchi dvigatellar.....	188
4.2	Elektr-mashinaviy kuchaytirgich.....	189
4.3	O'zgarmas tok taxogeneratorlari.....	197
4.4	Pazsiz, yakorli o'zgarmas tok mashinalari.....	201
4.5	Ventilli (kontaktsiz) o'zgarmas tok mashinalari.....	203
4.6	Ijrochi o'zgarmas tok dvigatellari.....	208
4.7	Bir yakorli o'zgartkichlar.....	210
4.8	Doyimiy qo'zg'atishli o'zgarmas tok mashinalari.....	215
4.9	Unipolyar o'zgarmas tok mashinalari.....	219
4.10	O'zgarmas tok mashinalarining zamonaviy turlari.....	223
4.11	Nazorat savollari.....	225
	Glossariy.....	227
	Adabiyotlar.....	229

ОГЛАВЛЕНИЕ

Введение.....	9
Глава 1. ТРАНСФОРМАТОРЫ СПЕЦИАЛЬНОГО НАЗНАЧЕНИЯ...	11
1.1 Общие сведения про силовых трансформаторов специального назначения.....	11
1.2 Сварочные трансформаторы для дуговых электро сварки	13
1.3 Трансформаторы для выпрямительных установок.....	16
1.4 Трансформаторы для автоматических устройств.....	22
1.5 Силовые трансформаторы для электрофицированных железных дорог и городских транспортов.....	26
1.6 Трансформаторы для электрических измерений.....	28
1.7 Трансформаторы для полного регулирования напряжения.....	34
1.8 Трансформаторы для изменения число фазов	39
1.9 Трёх обмоточные трансформаторы.....	41
1.10 Трансформаторы которые обмотки равномерным разделённые двух частей.....	51
1.11 Трансформаторы для изменеия частоты.....	52
1.12 Стабилизаторы напряжения.....	55
1.13 Автотрансформаторы.....	58
1.14 Электромагнитные процессы в автотрансформаторах.....	60
1.15 Особенности мощных автотрансформаторах	63
Контрольные вопросы.....	72
Глава 2. СПЕЦИАЛЬНЫЕ АСИНХРОННЫЕ МАШИНЫ.....	74
2.1 Однофазные асинхронные машины.....	74
2.2 Конденсаторные двигатели.....	76
2.3 Работа трёх фазного асинхронного двигателя в однофазном сете.....	80
2.4 Одно фазный двигатель с защищённым (экранированным) полюсами	82
2.5 Индукционный регулятор напряжения	82
2.6 Фазорегулятор.....	86
2.7 Асинхронный преобразователь частоты.....	88
2.8 Асинхронные каскады.....	93
2.9 Асинхронные электромеханические преобразователи массивным ротором.....	97
2.10 Линейные асинхронные электромеханические преобразователи.....	100
2.11 Асинхронные тахогенераторы.....	103
2.12 Вращающий (поворотный) трансформатор.....	106
2.13 Исполнования асинхронных машин в синхронном передачи.....	107
2.14 Электромагнитная асинхронная муфта.....	112
2.15 Исполнительные асинхронные двигатели.....	114
2.16 Синхронизированные асинхронные двигатели.....	116
2.17 Трёх фазные асинхронные двигатели с улученным пусковы	118

	характеристикам	
2.18	Трёхфазные асинхронные генераторы.....	120
2.19	Коллекторные асинхронные машины переменного тока.....	127
	Контрольные вопросы.....	136
III	Глава 3. СПЕЦИАЛЬНЫЕ СИНХРОННЫЕ МАШИНЫ.....	138
3.1	Криотурбогенераторы.....	138
3.2	Синхронные машины с поворотным намагничивающим осям.....	139
3.3	Синхронные машины с сверхпроводным обмотки возбуждениям	142
3.4	Синхронные компенсаторы.....	144
3.5	Реактивные синхронные двигатели	149
3.6	Индукторные генераторы.....	152
3.7	Синхронные генераторы с коктообразных полюсами которые используется в автомобилях и тракторах и вагонах железно дорожном транспорте	156
3.8	Устройство и принцип действия синхронного гистерезисного электрохимического преобразователя.....	159
3.9	Устройство и принцип действия шаговых (импульсных) двигателей....	165
3.10	Вентильно-индукторные двигатели	168
3.11	Синхронные тахогенераторы.....	174
3.12	Синхронные двигатели катящимся ротором	175
3.13	Синхронные двигатели постоянным магнитами	179
3.14	Синхронные машины с гибридным возбуждением.....	180
	Контрольные вопросы.....	184
	Глава 4. НЕКОТОРЫЕ ТИПЫ МАШИНЫ ПОСТОЯННОГО ТОКА СПЕЦИАЛЬНЫХ НАЗНАЧЕНИИ.....	187
4.1	Двигатели постоянного тока используемых в кранах и металлургия и для тяги	188
4.2	Электромашинный усилители.....	189
4.3	Тахогенераторы постоянного тока	197
4.4	Машины постоянного тока без паза	201
4.5	Вентильные (без контактные) машины постоянного тока.....	203
4.6	Исполнительные двигатели постоянного тока	208
4.7	Одноякорные преобразователи	210
4.8	Машины постоянного тока с постоянными магнитами	215
4.9	Униполярные машины постоянного тока	219
4.10	Современные типы машины постоянного тока	223
4.11	Контрольные вопросы.....	225
	Глоссарий.....	227
	Литература.....	229

CONTENTS

INTRODUCTION.....	9
Chapter 1. SPECIAL PURPOSE TRANSFORMERS.....	11
1.1 General information about special power transformers.....	11
1.2 Welding transformers for electric arc welding.....	13
1.3 Transformers for rectifier installations.....	16
1.4 Transformers for automatic devices.....	22
1.5 Power transformers for electrified railways and urban transports.....	26
1.6 Transformers for electrical measurements.....	28
1.7 Transformers for full voltage regulation.....	34
1.8 Transformers for changing the number of phases.....	39
1.9 Three winding transformers.....	41
1.10 Transformers which windinHz are evenly divided in two parts.....	51
1.11 Transformers for changing frequency.....	52
1.12 Voltage Regulatorsi.....	55
1.13 Auto transformers.....	58
1.14 Electromagnetic processes in autotransformers.....	60
1.15 Features of powerful autotransformers.....	63
Control questions	72
Chapter 2. SPECIAL ASYNCHRONOUS MACHINES.....	74
2.1 Single-phase asynchronous machines.....	74
2.2 Capacitor motors.....	76
2.3 Operation of a three-phase asynchronous motor in a single-phase network.....	80
2.4 Single phase motor with protected (shielded) poles.....	82
2.5 Induction voltage regulator.....	83
2.6 Phase regulator.....	86
2.7 Asynchronous frequency converter.....	88
2.8 Asynchronous cascades.....	93
2.9 Asynchronous electromechanical converters massive rotor.....	97
2.10 Linear asynchronous electromechanical converters.....	100
2.11 Asynchronous tachogenerators.....	103
2.12 Rotary (rotary) transformer.....	106
2.13 Using Asynchronous Machines in Synchronous Transfer.....	107
2.14 Electromagnetic asynchronous clutch.....	112
2.15 Executive Asynchronous Motors.....	114
2.16 Synchronized Induction Motors.....	116
2.17 Three-phase asynchronous motors with improved starting characteristics.....	118
2.18 Three-phase asynchronous generators.....	120
2.19 AC Collector Asynchronous Machines.....	127

	Control questions	136
Chapter 3. SPECIAL SYNCHRONOUS MACHINES.....		138
3.1	Cryoturbogenerators.....	138
3.2	Synchronous machines with rotary magnetizing axes.....	139
3.3	Synchronous machines with superconducting field winding.....	142
3.4	Synchronous Compensators.....	144
3.5	Jet Synchronous Motors.....	149
3.6	Inductor generators.....	152
3.7	Synchronous generators with cocktail poles which are used in cars and tractors and railroad cars.....	156
3.8	Device and principle of operation of a synchronous hysteretic electromechanical converter.....	159
3.9	Device and principle of action of stepper (pulse) motors.....	165
3.10	Induction motors.....	168
3.11	Synchronous tachogenerators.....	174
3.12	Synchronous motors with rolling rotor.....	175
3.13	Permanent magnet synchronous motors.....	179
3.14	Synchronous Hybrid Excitation Machines.....	180
	Control questions	184
Chapter 4. SOME TYPES OF DC MACHINES FOR SPECIAL PURPOSES.....		187
4.1	DC motors used in cranes and metallurgy and for traction.....	188
4.2	Electric machine amplifiers.....	189
4.3	DC tachogenerators.....	197
4.4	DC machines without groove.....	201
4.5	Valve (without contact) DC machines.....	203
4.6	Executive DC motors.....	208
4.7	Single-anchor converters.....	210
4.8	DC machines with permanent magnets.....	215
4.9	Unipolar DC machines.....	219
4.10	Modern types of DC machine.....	223
	Control questions	225
	Glossariy.....	227
	Referens.....	229

KIRISH

O‘zbekiston kelajagining negizi bo‘lgan yuksak malakali kadrlar tayyorlash uchun va oliy ta’limni rivojlantirish masalalarini hal qilishning asosiy yo‘nalishlardan biri bo‘lib, xalqaro standart talablari asosida ishlab chiqarilgan maxsus elektromexanik o‘zgartkichlariga oid etarli darajada ma’lumotlarni qamrab olgan darslik va o‘quv qo‘llanmalar yaratish hozirgi kunning dolzarb masalalaridan biridir.

Dunyodagi shu jumladan mamlakatimizdagi barcha elektr stansiyalarida, elektr generatorlari o‘rnatilgan bo‘lib, ular elektr energiyani ishlab chiqaradi. Ishlab chiqarilgan elektr energiyani uzoq masofalarga kam isrofdan uzatish va istemolchilarga taqsimlash uchun esa transformatorlar ishlatiladi. Bundan tashqari sanoat va transportning zamonaviy texnik holati ularni elektr energiya bilan yuksak ta’minlanganligi orqali belgilanib, bunda elektr mashinalari hal qiluvchi vazifalarni bajaradi.

Respublikamizda mahsulot ishlab chiqarayotgan yirik sanoat korxonalarini anchagina bo‘lib, ulardagi turli dastgohlarni va yuk ko‘taradigan kranlarni yuritishda hamda bu korxonalaridagi avtomatik sistemalarda elektr mashinalari va transformatorlar hal qiluvchi vazifalarni bajaradi.

Demak, maxsus elektromexanik o‘zgartkichlari va maxsus transformatorlarning rivojlanishi haqida ma’lumotlar hamda ularning energetikada va sanoatda tutgan o‘rnini yoritishda ushbu darslikning roli muhimdir.

Maxsus elektromexanik o‘zgartkichlari sanoatning turli ishlab chiqarish korxonalarida, energetikada, transportda (aviatsiya, temir yo‘l, avto-mobil, metro, tramvay, trolleybus), qishloq va suv xo‘jaligida, qurilishda, va boshqa sohalarda keng qo‘llaniladi.

Darslik texnika oliy o‘quv yurtlarining «Elektr texnikasi, elektr me-xanikasi va elektr texnologiyalari» yo‘nalishi talabalari uchun «Maxsus elektromexanik o‘zgartkichlar» fanining dasturi asosida yozilib, uning mazmuni: maxsus

transformatorlar, maxsus asinxron mashinalar, maxsus sinxron mashinalar va maxsus o'zgaras tok mashinalari ketma-ketligida berilgan. Ularning tuzilishi, ishlash prinsipi, asosiy xossalari va xarakteristikalari amaliyot nuqtai nazaridan yondashilgan holda bayon etilgan. Yangi turdagi maxsus elektromexanik o'zgartkichlarga oid umumiy ma'lumotlar ham kitobda o'z aksini topgan. Ishlash prinsipi elektromagnit induksiya hodisasiga asoslanganligi hamda ulardagi elektromagnit jarayonlar ko'p jihatdan maxsus elektromexanik o'zgartkichlarinikiga o'xshashligi sababli maxsus transformatorlar ham maxsus elektromexanik o'zgartkichlar kursida o'rganiladi.

Sanoat elektronikasining jadal ravishda rivojlanishi tufayli yarim o'tkazgich (tranzistor, tiristor)li o'zgartgichlar va kuchaytirgichlar sanoatda keng qo'llanilmoqda. Natijada elektr-mashinaviy o'zgartgichlar va kuchaytirgichlarni amalda qo'llash sohalari ancha kamaygan.

Har qaysi maxsus EMO' ekspluatatsiyaning aniq sharoitlarida (yuklaning rejimi, ruxsat berilgan o'ta yuklama, kuchlanish, o'zgaruvchan tok chastotasi, aylanish chastotasi, sovitish muhitining temperaturasi, dengiz sathidan balandligi, namlik va boshqalarda) ishlashga hisoblangan bo'ladi. Bu sharoitlarda mashina belgilangan (davriy ta'mirlashlar orasidagi) vaqt mobaynida avariyasiz va nosozliklarsiz nominal quvvatda ishlay olishi zarur.

Mashinaning ishda ishonchliligini ta'minlash maqsadida uni loyihalashda hisobga olish, ishlab chiqarishda yuksak sifatli texnologiyani qo'llash va ishlatishni to'g'ri tashkil qilish (loyihada belgilangan rejimda ishlatish va profilaktik ta'mirlarni o'z vaqtida bajarish) zarur bo'ladi.

1-BOB. MAXSUS MAQSADLI TRANSFORMATORLAR

1.1. MAXSUS MAQSADLI KUCH TRANSFORMATORLARIGA OID UMUMIY MA'LUMOTLAR

Elektrotexnologiyava o'zgartirgich qurilmalarining ish rejimlari talablaridan kelib chiqqan holda ularni elektr energiya bilan ta'minlovchi transformatorlarining konstruktsiyasi o'ziga xos xususiyatlarga ega bo'ladi. Shu sababli elektrotexnologiya va quvvatli o'zgartirgich qurilmalarida qo'llaniladigan transformatorlarni bundan keyin maxsus maqsadli kuch transformatorlari deb ataymiz. Hozirgi vaqtda o'zgaruvchan tokni o'zgarmas tokka to'g'rilash asosan statik o'zgartirgich agregatlari yordamida amalga oshiriladi. *Ularning ham asosiy tarkibiy qismini maxsus maqsadli transformatorlar tashkil qiladi.*

Quyidagi sohalardagi elektrotexnologiyalarning to'g'rilagich qurilmalarida ishlatiladigan maxsus maqsadli kuch transformatorlariga:

a) *rangli metallurgiyada* – elektroliz qurilmalari to'g'rilagichlari uchun toki 63 kA va kuchlanishi 850 V bo'lgan TCHII–80000/20 tipi;

b) *kimyo sanoatida* – toki 50 kA va kuchlanishi 850 V bo'lgan TCHII – 40000/10 tipi;

v) *qora metallurgiyada* – jo'valash mashinalarining tiristorli elektr yuritmalari uchun quvvati 2500÷3200 kV·A bo'lgan transformatorlar seriyalari qo'llaniladi.

Elektr yoyi vositasida po'lat eritish pechlari uchun (masalan, Bekobod metallurgiya kombinatida) ПББ (pereklyuchenie bez vozbujsdeniya) va ПИИ (regulirovanie pod nagruzkoy) qayta ulagich qurilmalari bilan ta'minlangan tiplari ishlatiladi (1.1-rasm).

Quvvati 100 MVA gacha bo'lgan elektr pechi transformatorlarining ikkilamchi kuchlanishi 1000 V dan oshmaydi, bundagi ikkilamchi toklar esa 100 kA va undan katta bo'ladi. Tabiiy gazni tozalashdagi elektr filtrlarini energiya

bilan ta'minlashda ishlatiladigan yuqori kuchlanishli o'zgartirgich agregatida ham maxsus maqsadli kuch transformatorlari qo'llaniladi (1.2-rasm).

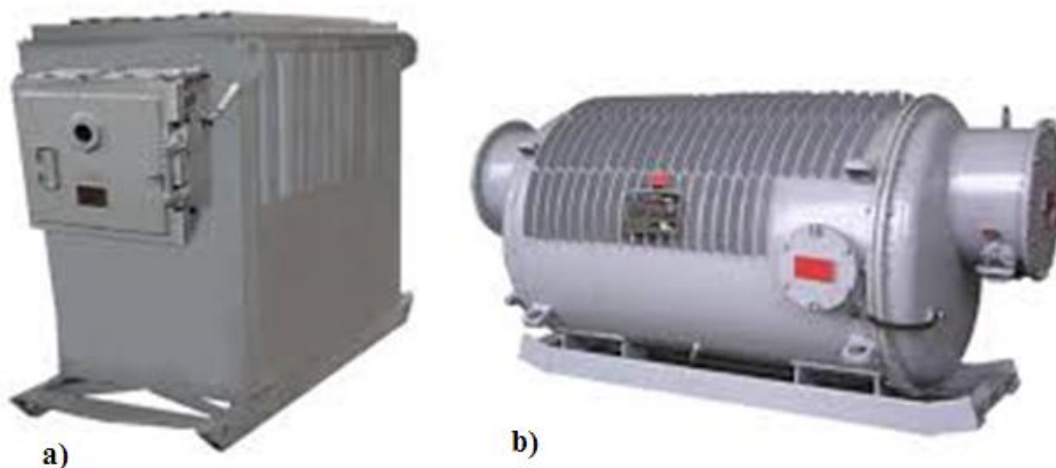


1.1-rasm. Elektr yoyi vositasida po'lat eritish pechlari uchun maxsus maqsadli kuch transformatori



1.2-rasm. Tabiiy gazni tozalashdagi elektr filtrlarini energiya bilan ta'minlashda ishlatiladigan yuqori kuchlanishli o'zgartirgich agregati

Ko'mir shaxtalaridagi elektr motorlarini energiya bilan ta'minlash uchun quvvati 160 kV·A kuchlanishi 6 kV bo'lgan TCB–160/6 tipli portlashdan himoyalangan transformator (1.1.3-rasm) hamda quvvati 250 kV·A bo'lgan TSVI–250/6 tipli transformator podstantsiyalari qo'llaniladi.



1.3-rasm. Quvvati 160 kV·A, kuchlanishi 6 kV bo'lgan TCB–160/6 tipli portlashdan himoyalangan transformator a) ko'mir koni uchun, b) mis koni uchun

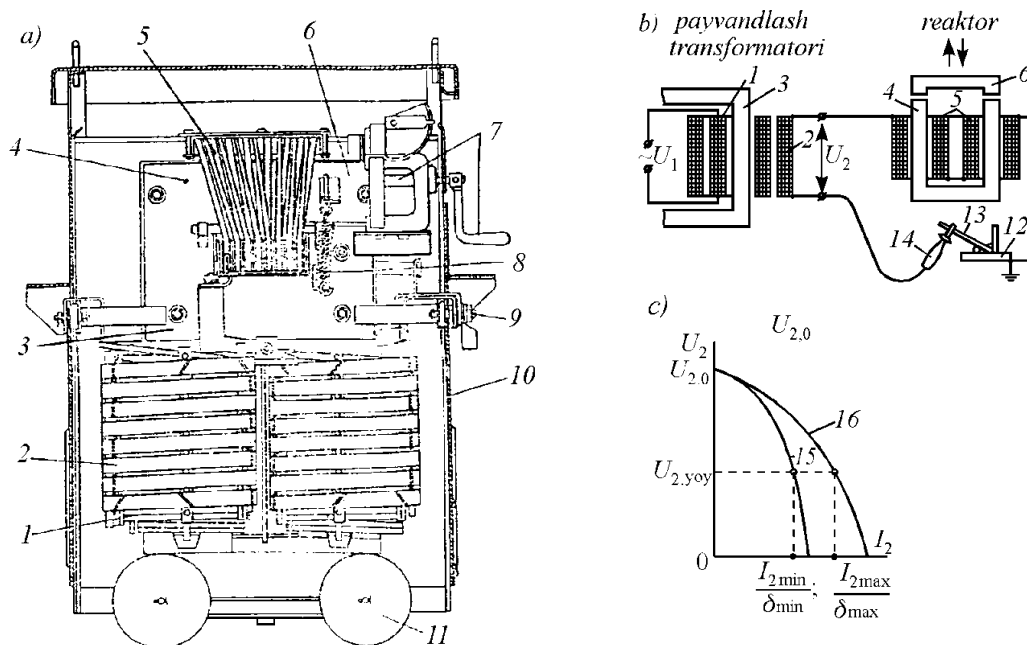
Neft olishdagi cho'ktirilgan elektr nasoslari asinxron motorlarini 380 V kuchlanishli elektr energiya bilan ta'minlashda TMPIH–160/2,05 tipli transformator qo'llaniladi.

1.2. ELEKTR YOYI VOSITASIDA PAYVANDLASH UCHUN TRANSFORMATORLAR

Elektr yoyi vositasida payvandlash uchun ishlatiladigan maxsus maqsadli transformatorlarni odatda *payvandlash transformatorlari* deb yuritiladi.

Payvandlash transformatorlari kuchlanishi 220 yoki 380 V bo'lgan elektr energiyani metalni yoyli payvandlash uchun zarur bo'lgan salt ishlashdagi kuchlanishi 60 V bo'lgan elektr energiyaga o'zgartirib beradi. Reaktor (drossel) – magnet zanjiri havo oralig'ini o'zgartirish yo'li bilan payvandlash tokini rostdashga mo'ljallangan.

Metallni payvandlashda CTH-500-1 tipli payvandlash transformatori (1.4, b-rasm) amalda ko‘p qo‘llaniladi: $U_1=380$ va 220 V, $U_{2,0}=60$ V, payvandlash toki 500 A, bu tok rostlash jarayonida 800 A gacha oshishi mumkin. Chiqishidagi quvvati 15 kW, tarmoqdan oladigan quvvati 33 kV·A.



1.4-rasm. CTH -500-1 tipli payvandlash transformatorining tuzilishi (a) va ishiniing prinsipial sxemasi (sxemada reaktor ajratib ko‘rsatilgan) (b): [1, 2 – tegishlixa YK va PK chulg‘amlar; 3 – magnit o‘tkazgich; 4, 6 – reaktor magnit sistemasining qo‘zg‘almas (4) va qo‘zg‘aluvchi (6) qismlari; 5 – reaktor chulg‘ami; 7 – qo‘zg‘aluvchi qismni xarakatga keltirish uchun dastakli yurituvchi vint; 8 – qo‘zg‘aluvchi qismning titrashini kamaytirish uchun prujina; 9 – ikkilamchi chulg‘am va reaktor chulg‘ami qisqichi; 10– kojux; 11 – g‘ildirak; 12 – payvandlanadigan detal; 13 – elektrod; 14 – tokli simning izolyasion tutqichi]; payvandlash transformatorining tashqi xarakteristikalari (c): [minimal (1) va maksimal (2) zazorlar uchun; $U_{2,yoy}$ – elektr yoyining turg‘un yonishi uchun zaruriy kuchlanish]

Payvandlash transformatori ishlashi undagi yoyning uziluvchanligiga asoslangan: bunda qisqa tutashuv yordamida elektr yoyi xosil qilinadi va uning uzilishi salt ishlash rejimini xosil qiladi. Payvandlash transformatorning nominal ishlash rejimi, elektr yoyining turg‘un yonishi to‘g‘ri keladi. Induktiv qarshilikni oshirish orqali, payvandlash transformatoridagi tokni chegaralash choralari qabul qilingan. Ushbu maqsadda transformatorning birlamchi chulg‘ami bitta sterjenga joylashtirilsa, ikkilamchi chulg‘ami boshqa sterjenga joylashtiriladi. Bu esa magnit maydonining sochilishiga, oqibatda chulg‘amning induktivligi ko‘payadi. Yana boshqa choralardan biri transformatorning ikkilamchi zanjiriga po‘lat magnit

o‘zakga joylashtirilgan, ko‘ndalang kesim yuzasi to‘g‘ri burchakli mis o‘tkazgichdan iborat induktiv g‘altak (DR drossel) ulanadi. Drossel vint-gayka bilan ta‘minlangan bo‘lib, yarmodagi xavo oralig‘ini $\delta=0$ dan $\delta=\delta_{max}$ gacha o‘zgartirish imkonini beradi. Bunda xavo oralig‘i eng kam bo‘lganda $\delta=\delta_{min}$, drosselning induktiv qarshiligi eng katta qiymatga erishadi va payvandlash toki eng kichik qiymatga $I_2=I_{2min}$ ega bo‘ladi va aksincha xavo oralig‘i eng katta bo‘lganda $\delta=\delta_{max}$, drosselning induktiv qarshiligi eng kichik qiymatga erishadi va payvndlash toki eng katta qiymatga erishadi $I_2=I_{2max}$. Payvandlash transformatori chulg‘ami induktiv qarshiligining ko‘pligi va drosselning mavjudligi elektr yoyining turg‘un yonishi imkonini beruvchi egri chiziqli tashqi xarakteristikasiga ega. Xavo oralig‘ini o‘zgartirish orqali tashqi xarakteristika egri chizig‘ining egilish burchagini o‘zgartirish mumkin. Xavo oralig‘i eng kichik bo‘lganda egilish burchagi eng katta (1.4, b-rasm 1 chiziq) va xavo oralig‘i eng katta bo‘lganda esa egilish burchagi eng kichik (1.4, b-rasm 2 chiziq). Payvandlash transformatorning ishlash toki I_2 , elektr yoyi kuchlanishi $U_d \approx 30 V$ bo‘lganda to‘g‘ri keladi.



1.5-rasm. Payvandlash transformatori

Ayrim payvandlash transformatorlarida drossel transformatorning o‘ziga o‘rnatiladi. Payvandlash transformatorlarning induktiv qarshiligi katta bo‘lganligi sababli, uning quvvat koeffitsientining kamayishiga olib keladi va odatda $\cos\varphi=0,4\div 0,5$ dan oshmaydi.

Qo‘lda payvandlash uchun mo‘ljallangan payvandlash transformatorlarining quvvati 30 kVA gacha, avtomatik payvandlashga mo‘ljallangan payvandlash transformatorlarining quvvati 100 kVA gacha va katta quvvatli kontaktli payvandlash transformatorlarining quvvati 1000 kVA gacha ishlab chiqarilishi mumkin.

1.3. TO‘G‘RILAGICH QURILMALARI UCHUN TRANSFORMATORLAR

To‘g‘rilagich qurilmalari rangli metallurgiyada (masalan, Olmalis va Navoiy kombinalari), kimyo sanoatida (Farg‘ona, Chirchiq va Navoiy kombinalari) texnologik jarayonni, sora metallurgiyada (Bekobod metallurgiya kombinati) esa jo‘valash mashina (stan)lari elektr yuritmalarini o‘zgaras tok bilan ta‘minlashda, elektrotermiyada, elektrlashtirilgan temir yo‘l va shakar elektr transportlarida, katta quvvatli turbo- va gidrogeneratorlar qo‘zg‘atish sistemasida va boshqa ayrim sohalarda foydalaniladi.

Kam quvvatli to‘g‘rilagich qurilmalario‘zgaruvchan tok tarmog‘iga bevosita ulanadi, katta quvvatli to‘g‘rilagich qurilmalari esa elektr tarmog‘iga maxsus maqsadli kuch transformatorlari orqali ulanadi. Transformator moyi to‘ldirilgan bitta bakda yarim o‘tkazgichli asboblari va ularni elektr energiya bilan ta‘minlovchi maxsus maqsadli kuch transformatorlari joylashtirilgan qurilmani o‘zgartirgich agregati deb ataladi.

O‘zgartirgich agregati maxsus maqsadli kuch transformatorlari ikkilamchi chulg‘am fazalari soniga ko‘ra – bir, uch, olti, 12 va 24 fazali (24 fazalini bitta transformatorida faqat ko‘prik sxemasida hosil qilish mumkin) turlarga bo‘linadi. Ularning kuchlanishlari ishlatilish sohasiga qarab ПБВ (pereklyuchenie bez vozbujdeniya) va ППВ (regulirovanie pod nagruzkoy) qayta ulagich qurilmalari vositasida rostlanadi. Sovitilish usuliga ko‘ra – quruq, moyli va yonmaydigan suyuq dielektrikli turlarga bo‘linadi.

Biryarim davrli to‘g‘irlash sxemasida ishlaydigan bir fazali transformatorning ishlashini ko‘rib chiqamiz (1.6, a-rasm). Ikkilamchi chulg‘amdagi i_2 tok, pulslanuvchi bo‘lib, u yarim davrli U_2 kuchlanishidan xosil bo‘ladi (1.6, b-rasm). Ushbu tok ikki tashkil etuvchiga ega:

$$\text{doyimiy } I_d = (\sqrt{2}/\pi)(U_2/R_N) \quad (1.1)$$

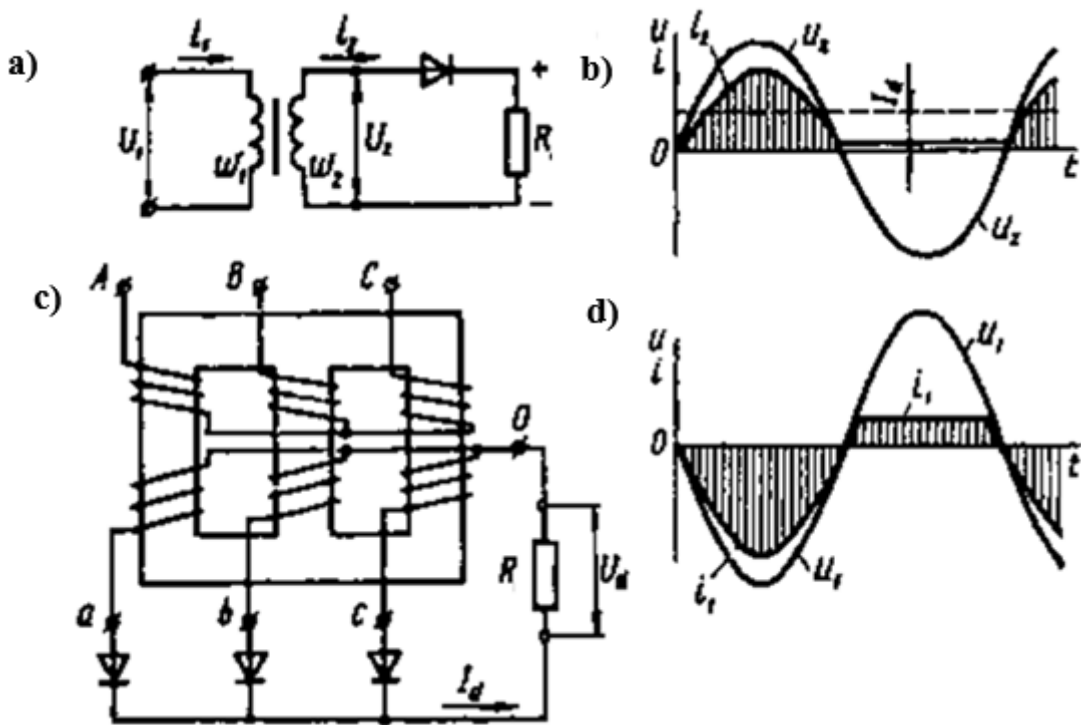
va o'zgaruvchan

$$i_{o'z} = i_2 - I_d \quad (1.2)$$

Salt ishlash tokini xisobga olmasdan va (1.2) tokini xisobga olib, transformatorning MYKni quyidagicha yozish mumkin:

$$i_1 w_1 + i_2 w_2 = i_1 w_1 + i_{o'z} w_2 + I_d w_2 = 0 \quad (1.3)$$

To'g'rilagich sxemalarida ishlatiladigan transformatorlarning ikkilamchi chulg'amiga tokni faqat bir yo'nalishda o'tkazadigan ventillar ulanadi. Bunday transformatorning o'ziga xos xususiyatlaridan biri shuki, uning turli fazalariga ulangan ventillar navbatma-navbat ishlaganligi tufayli, ayrim fazalarida yuklama qiymatining bir xil bo'lmasligidir.



1.6-rasm. To'g'irlash bire fazali (a) va uch fazali (c) sxemasi hamda ularning chiqish kuchlanish va tok grafiqlari mos ravishda (b) va (d)

Yuklamaning notekisligi birlamchi I_1 va ikkilamchi I_2 chulg'am toklarining vaqt bo'yicha o'zgarish shaklida anchagina yuqori garmonikalarning bo'lishiga va ayrim to'g'rilagich sxemalarida magnet o'tkazgichning qo'shimcha magnetlanishiga sabab bo'ladi.

Transformatorning ishlashiga quyidagi xar-xil sabablar ta'sir qiladi:

- 1) To'g'irlash sxemasi
- 2) Silliqlovchi filtrning mavjudligi
- 3) Yukmaning xarakteri.

Bunday transformator chulamlaridan nosinusoidal toklar o'tadi. Tokning yuqori garmonikalari quyidagi sabablarga ko'ra hosil bo'ladi:

1) ikkilamchi chulg'amning ayrim fazalariga ulangan ventillar tokni o'zidan davrning faqat bir qismidagina o'tkazishi;

2) to'g'rilagichning o'zgaras tok tomoniga induktivligi katta bo'lgan tekislovchi drossel ulanganligi tufayli transformator chulg'amlaridagi tokning vaqt bo'yicha o'zgarish shakli to'g'ri burchakka yaqin bo'lishi.

O'zgartirgich qurilmalari maxsus maqsadli kuch transformatorlarda, umumiy holda, I_1 va I_2 toklarning ta'sir etuvchi qiymatlari yuqori garmonikalar ta'sirida har xil bo'lishi natijasida S_{1N} va S_{2N} hisoblash quvvatlar har xil bo'ladi. Shuning uchun ventilli to'g'rilagich transformatorining "tipaviy quvvati" tushunchasi kiritiladi (tipaviy quvvat – o'zgartirgich qurilmasi transformatorining tipiga oid bo'lgan quvvat).

O'zgartirgich qurilmalarining maxsus maqsadli kuch transformatorlarining tipaviy quvvati to'g'rilash sxemasidan bog'liq holda birlamchi chulg'am (bu chulg'amni "tarmoq chulg'ami" deb ham yuritiladi) quvvati S_{1N} to'g'rilagich ulangan tomondagi bentil chulg'ami S_{2N} quvvatlarining o'rtacha qiymati orqali aniqlanadi. Masalan, 6 fazali to'g'rilash sxemasida mazkur transformatorining tipaviy quvvati:

$$S_{tip} = 0,5 (S_{1N} + S_{2N}) = 1,26 P_{dN}, \quad (1.4)$$

bunda $S_{1N} = 3I_{1N}U_{1f.N} = 1,045P_{dN}$, $S_{2N} = 6I_{2N}E_{2f.N} = 1,48P_{dN}$, $[P_{dN} = U_{dN}I_{dN}$ – to'g'rilagichning o'zgaras tok tomonidagi (chiqishidagi) quvvati].

I_{1N} va I_{2N} – tegishli tarmoq va ventilchulg'amlarining toklari;

U_{1N} va $E_{2f.N}$ – tarmoq va ventil chulg'amlarining tegishli fazaviy kuchlanishi va EYK.

Tipaviy quvvat koeffitsienti – $K_{tip} = S_{tip}/P_{dN}$. To'g'rilagich qurilmasi uchun transformator tanlashda bu koeffitsient ma'lum bo'lishi lozim.

Yuklama nominal bo'lganda transformatorning tipaviy quvvati S_{tip} , uning chiqish quvvati P_{dN} dan katta ($S_{tip} > P_{dN}$) bo'ladi. Bu quyidagicha tushuntiradi. To'g'rilagichqurilmalarida ishlayotgan transformatorlarda foydali quvvat ikkilamchi tok I_{2N} ning doimiy tashkil etuvchisi tomonidan aniqlanib, chulg'amlarining qizishi esa tarkibida yuqori garmonikalari bo'lgan birlamchi I_1 va ikkilamchi I_2 to'la toklar bilan aniqlanadi. Shuning uchun bunday transformatorning gabaritlari va og'irligi, toki sinusoidal bo'lgan xuddi shunday transformatorning nominal quvvati ($S_{tip} = mU_{2N}I_{2N}$) dan katta bo'ladi.

Tarmoq chulg'amlariga beriladigan nominal kuchlanishlari 0,4÷110 kV oralig'idagi standart kuchlanishlariga mos keladi. Ventilchulg'ami kuchlanishlari o'zgartigich qurilmalarining sxemasi va parametrlari orqali aniqlanadi.

Maxsus maqsadli kuch transformatorning quvvatiga va qo'llanish sohasiga bog'liq holda uning to'g'rilangan kuchlanishi 6 V dan bir necha ming voltgacha, to'g'rilangan tok esa 2 A dan 200 kA gacha bo'lishi mumkin.

Transformatorning tipaviy quvvati xardoyim uning chiqish quvvatidan katta bo'ladi, ya'ni $K_{tip} > 1$. Xar qanday to'g'irlovchi sxema uchun, $U_2 > U_d$ va $I_2 > I_d$ bo'ladi.

To'g'irlovchi qurilmalar uchun transformatorlarni tanlashda yoki uni loyihalashda tipaviy quvvat koeffitsienti aniq bo'lishi kerak. Transformatorning, chiqishidagi o'zgaruvchan tok kuchlanishni, to'g'irlangan U_{dN} kuchlanishi bilan aniqlanadi.

$$U_{2N} = k_U U_{dN} \quad (1.5)$$

bu erda k_U — kuchlanish koeffitsiyenti.

Ayrim to'g'irlovchi sxemalar uchun k_U kuchlanish va K_{tip} tipaviy quvvat koeffitsiyentlari quyidagi 1.3.1-jadvalda berilgan.

1.1-jadval

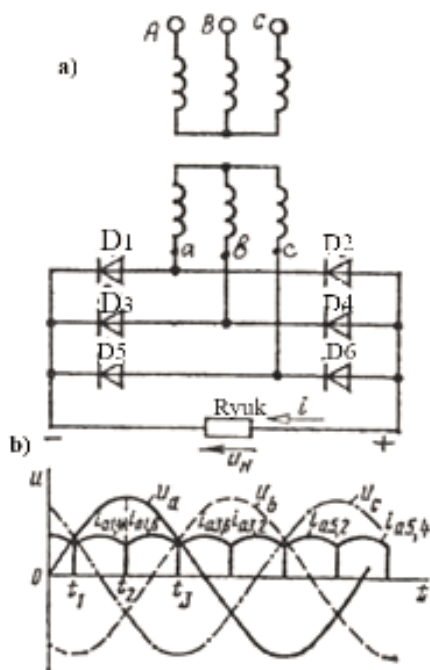
To'g'irlash sxemasi turi	k_U	K_{tip}
Bir fazali bir yarim davrli sxema	2,22	3,09
Bir fazali ikki yarim davrli ko'prik sxema	1,11	1,23
Bir fazali ikki yarim davrli nol chiqishli sxema	1,11	1,48
Uch fazali nol chiqishli	0,855	1,345
Uch fazali ko'prik sxema	0,427	1,05

To'g'irlovchi qurilmalarning xar xil turi solishtirilganda ko'prik sxemasi transformatorning quvvatini toliq ishlatish imkonini beradi.

O'zgartirgich qurilmalari uch fazali transformatorlarining tarmoq chulg'amlarini "yulduz"ga, ayrim hollarda esa "uchburchak"ka ulanadi; ventil chulg'amlari "yulduz", "qo'sh yulduz" (to'g'ri va teskari), "uchburchak-yulduz", "zigzag" sxemalarga ulanadi. Qo'sh yulduzning neytrallari tenglashtiruvchi reaktor orqali ulanadi. Bunda tarmoq chulg'ami uch fazali tarmoqqa ulanganda ventil chulg'ami tomonida to'g'rilagichning ulanish sxemasiga bog'liq holda uch, olti yoki 12 fazali to'g'rilashga imkon tug'iladi.

Olti yoki 12 fazali bo'lganda to'g'rilangan kuchlanishning pulsatsiyasi kam bo'lganligi tufayli agregat birlamchi tokining vaqt bo'yicha o'zgarish shakli yaxshilanadi. Shu sababli to'g'rilangan kuchlanishi nisbatan kam, toki esa katta bo'lgan o'zgartirgich agregatlarida transformator ventil chulg'ami (ikkilamchi fazaviy chulg'amlari)ning o'ralish yo'nalishi har xil (chap, o'ng) bo'lgan ikki qismga ajratilib, oltifazali (ikkita o'zaro teskari yulduz) sxemaga ulanadi.

To'g'rilashning olti fazali sxemalari asosan quvvati 250÷4000 kW bo'lgan o'zgartirgich agregatlarida, undan katta quvvatlarida esa 12 fazali sxemalar ishlatiladi.



1.7 - Uch fazali ko'prik sxemasi (a) va to'g'irlangan kuchlanish va tok diagrammasi (b).

1.7-rasmda neytral dan sim chiqarilgan uch fazali to'g'rilagichning sxemasi keltirilgan. Sxema chulg'amlari Y/Y shaklda ulangan uch fazali transformator, uning uchta fazasiga ulangan uchta diod va yuklama qarshiligi R_N dan tuzilgan. Diodlarning har biri davrning uchdan bir qismida galma-galdan ishlaydi (1.7, b-rasm). Diodlar qaysi bir chulg'amning bosh qisqichida musbat potensial boshqalariga qaraganda kattaroq bo'lsa, shunda ishlaydi. Yuklama qarshiligi R_N dan o'tadigan tok har bir diodning tokidan iborat bo'lib, har bir fazada to'g'rilangan toklarning yig'indisi bilan, ya'ni $i_N = i_a + i_B + i_c$ bilan aniqlanadi. Tokning pulslanishi kichkina. To'g'rilangan kuchlanishning o'rtacha qiymati $U_{No'r} \approx 1,17U_{2f}$. Har bir berk diodda teskari kuchlanishning qiymati $U_{tes.m} \approx 2,09U_{No'r}$. To'g'rilangan tokning o'rtacha va maksimal qiymati $I_{to'g'o'r} = I_{No'r} / 3$; $I_{to'g'm} = U_{2f} / R_N \approx 1,21I_{No'r}$.

Neytral dan sim chiqarilgan uch fazali to'g'rilagichda to'g'rilangan tokning o'rtacha qiymati 100 A gacha, kuchlanishning qiymati bir necha o'n kilovatgacha etadi.

Uch fazali to'g'rilagichning ko'prik sxemasida oltita diod bo'lib, D_1, D_3, D_5 lar bir guruhni; D_2, D_4, D_6 lar ikkinchi guruhni tashkil qiladi ishlaydi (1.7, a-rasm). Birinchi guruhning umumiy nuqtasi yuklama qarshiligi R_N da musbat qutbni, ikkinchi guruhning umumiy nuqtasi manfiy qutbni hosil qiladi. Bu to'g'rilagichda vaqtning har bir momentida yuklama qarshiligi va ikkita dioddan tok, shu diodlarga eng katta kuchlanish berilganda o'tadi. Masalan, t_1-t_2 vaqti orasida diod D_1 yuklama qarshiligi R_{yuk} - diod D_4 zanjiridan tok o'tadi, chunki bu diodlarga U_{ab} liniya kuchlanishi berilgan. Shu vaqt oralig'ida bu kuchlanish boshqa liniya kuchlanishlaridan katta. t_2-t_3 oralig'ida D_1 va D_6 diodlar ochiladi; ularga U_{ac} kuchlanishi berilgan va boshqalar. Yuklama qarshiligida tokning yo'nalishi bir xil bo'ladi (o'zgarmaydi). To'g'rilangan kuchlanishning pulslanishi kichkina. Pulslanish koeffitsienti 0,057. To'g'rilangan kuchlanishning o'rtacha qiymati $U_{No'r} \approx 2,3U_2$. Teskari kuchlanishning maksimal qiymati $U_{tes.m} = 1,045U_{No'r}$. Bunday to'g'rilagichning FIK oldingisiga qaraganda kattaroq.

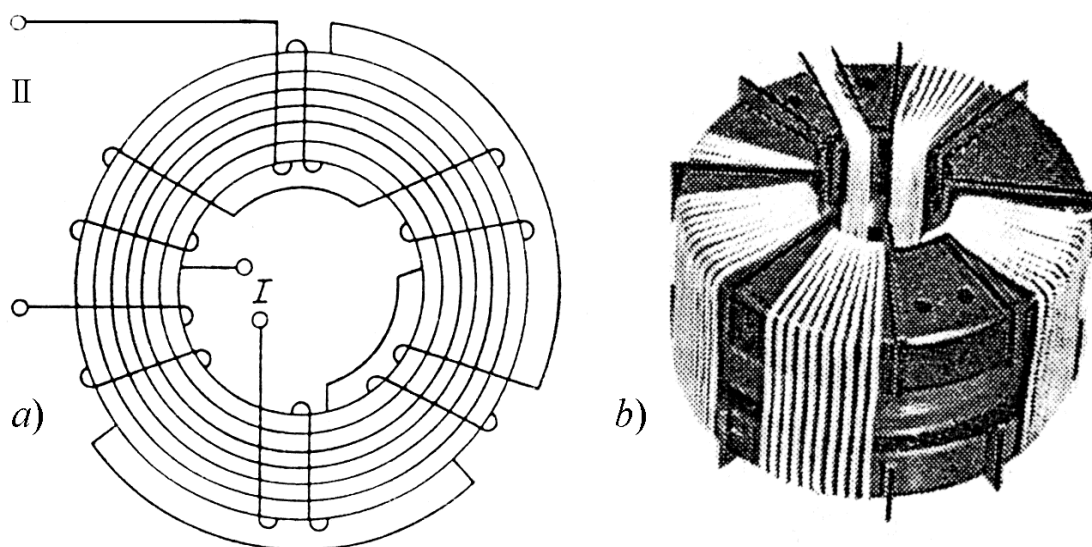
1.4. AVTOMATIKA QURILMALARI UCHUN TRANSFORMATORLAR

1. Impulsi transformatorlar. Impulslarning amplitudasini o'zgartirish, impulslarni ko'paytirish va xokazo xollar uchun impuls texnikasi qurilmalarida impulsi transformatorlar qo'llaniladi. Bunday transformatorlar impulsi texnika qurilmalarida elektr impulsi amplitudasini va qutbiyligi (ishorasi)ni o'zgartirish, yuklama zanjiri tokining doimiy tashkil etuvchisini yo'qotish kabi vazifalarni bajarish uchun qo'llaniladi. Impulsi transformatorlar tok (yoki kuchlanish) impulsining qayta magnitlanishi rejimida ishlaydi.

Bunday transformatorlarga qo'yiladigan asosiy talab—transformatsiyalangan kuchlanish impulsining shakli imkonqadar buzilmasligi kerak.

Ventil o'zgartgichlarda tiristorlarning ishonchli ulanishi uchun zarur bo'lgan impulsning oldingi fronti davomiyligi $0,5 \div 2$ mks bo'lishi kerak. Buning uchun induktivligi va sig'imi bog'lanishlari kam bo'lgan transformator qo'llashni talab qiladi. Shu maqsadda kesimi nisbatan katta bo'lgan halqasimon o'zaklar va o'ramlar soni kam bo'lgan chulg'am qo'llaniladi (1.8-rasm).

Birlamchichulg'amning o'ramlar soni kam bo'lganligidan impulsi transformatorlarning yuklamasiz toki juda katta, yani $I_0 = (0,5 \div 0,8) I_{IN}$ bo'ladi. Impulsning oxirida yuklamasiz tok maksimal qiymatga erishadi.

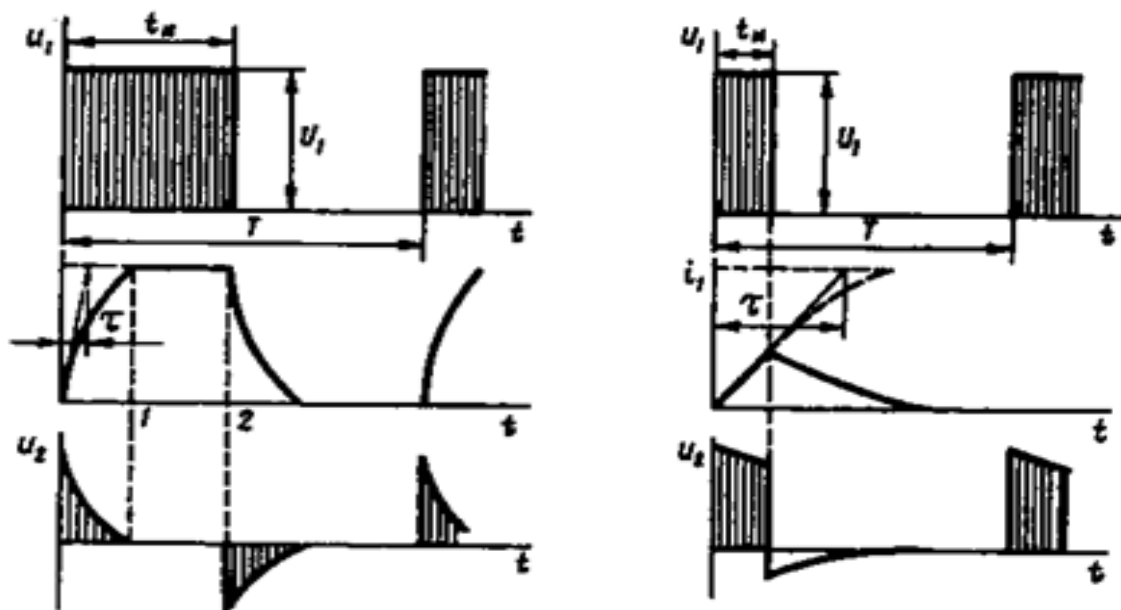


1.8-rasm. Chiqishidanisbatan qiya yo'nalgan yuqori kuchlanishli impuls hosil qiladigan transformator chulg'amlarining joylashishi (a) va uning konstruksiyasi

Ushbu transformatorning prinsipial imkoniyatlarini tushuntirish uchun bir qutbli, impulsni transformatsiya qiladigan (isrofsiz, parazit sig'imsiz), yuklamasiz ishlayotgan ideal transformatorni ko'rib chiqamiz. Bu transformatorning kirishiga birqutbli, to'g'riburchak shaklidagi, davomiyligi t_i , Tdavrli bo'lgan impuls beriladi (1.9-rasm, a). Transformatorning birlamchi konturi, induktivlik bo'lib, quyidagi elektromagnit vaqt doimiysi $\tau = L_1/r_1$ ga ega.

Vaqt doimiysi impuls doimiyligidan ancha kichik xolatni ko'rib chiqamiz, ya'ni $\tau \ll t_i$. Bunda, birlamchi tok grafigi $i_1 = f(t)$, to'g'ri burchakdan farq qiladigan egrichiziq bo'ladi. Ikkilamchi chulg'amning $i_2 = f(t)$ egri chizig'I ancha buzilgan. Bunda vaqtning 1-2 oralig'ida kuchlanish $U_2 = 0$, chunki, $t_1 = const$ EYK $e_2 = M(di/dt) = 0$, buerda M – chulg'amlar orasidagi o'zaro induktivlik. Yuqoridan kelib chiqib, $\tau \ll t_i$ bo'lganda impulsni transformatsiyalash imkoni mavjud emas.

$\tau \ll t_i$, bo'lgan boshqa xolat uchun ko'rib chiqamiz. Ushbu xolat, ancha xaqiqatga yaqin bo'lib, impulslarning davomiyligi 10-4s dan oshmaydi. Endi, impuls i_1 , birlamchi zanjirdagi o'tkinchi jarayondan oldin tugasa, transformator chiqishidagi i_2 impulsining shakli uncha o'zgarmagan bo'ladi (1.9-rasm, b). Bundagi impulsning qarshi tomondagi qismini transformatorning ikkilamchi zanjiriga diod ulash orqali engil bartaraf etiladi.



1.9- rasm. Impuls transformatoridagi kuchlanishlar grafigi

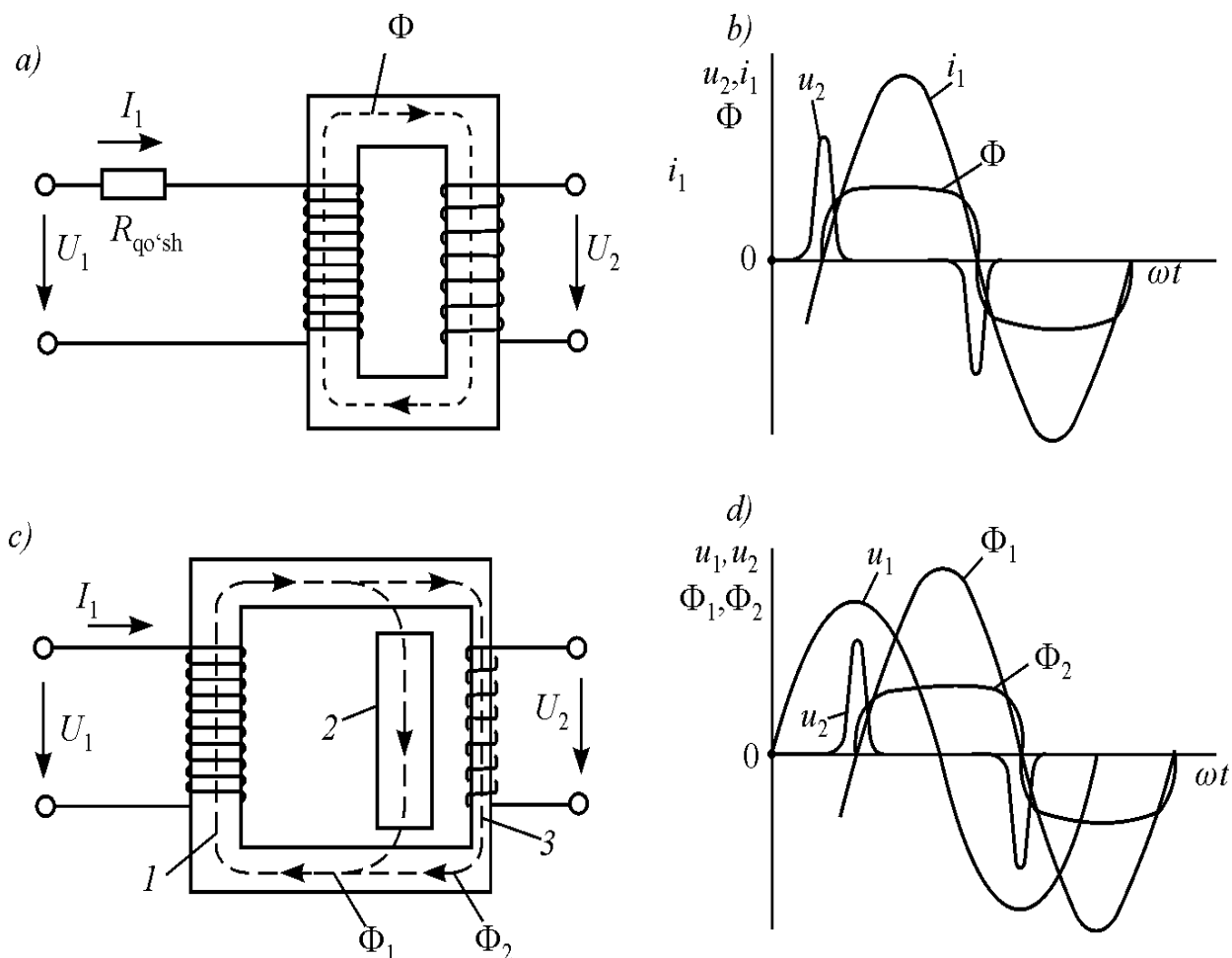
Ko'rib chiqilgan xolatlar faqat, qisqa vaqtli bir qutbli impulslarning shaklikam buzilish xolatlaridagi transformatorning prinsipial imkoniyatlarini ko'rsatib beradi. Agarda impuls transformatorning ishlashini chuqurroq o'rgansak, undagi elektromagnit jarayonlar ancha murakkab kechadi, chunki gisterezis xodisasi, uyurma toklari, parazit sig'img'lar (o'ramlar va chulg'amlararo) va chulg'amning induktiv tarqoqligi ta'sir ko'rsatadi. Yuqoridagi keltirilgan ta'sir etuvchi omillarni kamaytirish maqsadida, impuls transformatorlarini loyihalashda, ular chiziqli magnit xarakteristikasida ishlay olishi kerak, ya'ni magnit to'yinish chizig'idan past xolatdagi magnit induksiyada ishlaydi. Bundan tashqari magnit material, katta bo'lmagan qoldiq induksiyali bo'lishi kerak. Magnit o'tkazgichda qoldiq induktivlikni kamaytirish uchun, magnit o'tkazgich katta bo'lmagan xavo oralig'i bilan ta'minlanadi. Bundan tashqari ushbu maqsadda qutbi transformatsiya qilinadigan impulsning qutbiga qarama-qarshi bo'lgan o'zgarimas tok bilan transformator magnitlanadi. Ushbu tadbir impulslar oralig'ida magnit o'zakdagi magnit induksiyani kamaytiradi imkonini beradi. Impuls transformatorlarining magnit o'zagi yuqari magnit o'tkazuvchanlikga ega bo'lgan, qalinligi $0,02 \div 0,35$ mm bo'lgan magnit materiallardan tayyorlanadi (sobyq juvalangan elektrotexnik po'lat, temir nikelli va x.q.). Ayrim xollarda magnit o'tkazgich ferritdan tayyorlanadi.

Parazit sig'im va tarqoq induktivligini kamaytirish maqsadida o'ramlar sonini kamaytirib tayyorlanadi. Bunda impulslarning kam doyimiyliigi, transformator chulg'amlari ruxsat etilmagan qizishlarni keltirib chiqarmaydigan, ko'ndalang kesimini kamaytirish imkonini beradi (tokzichligini ko'paytirib qo'llash orqali). Yuqoridagilar tufayli impulsli transformatorning o'lchamlarini kamaytirish imkonini beradi.

2. Pik-transformatorlar. Elektron texnikasida boshqariladigan ventil (masalan, tiristor)ni rostlash uchun kuchlanish impulsi keskin o'tkir (piksimon) shaklda bo'lishi kerak. Bunday impulslarni sinusoidal o'zgarayotgan kuchlanish berilgan piktransformator yordamida olish mumkin.

Pik-transformator – o‘zagi magnit jihatdan kuchli to‘yingan odatdagi ikki chulg‘amli transformatoridir. Pik-transformatorlari ikki modifikatsiyali tayyorlanadi: to‘g‘ri burchak shaklidagi gisterezis xalqali po‘lat o‘zakdan tayyorlangan magnit o‘tkazgich yoki to‘yinish uchastkasiga ega bo‘lgan magnit o‘tkazgichli. Pik – transformatorlarida ikkilamchi chulg‘amidagi impuls kuchlanishi, birlamchi chulg‘amiga berilgan sinusoidal kuchlanish oqibatida paydo bo‘lgan magnit oqimining o‘zgarishi tufayli byjudga keladi.

Tokning sinusoidalligini saqlab qolish va o‘ta kuchlanishlarni kamaytirish uchun, uning birlamchi chulg‘amini o‘zgaruvchan tok tarmog‘iga katta qo‘shimcha qarshilik $R_{qo'sh}$ orqali ulanadi. Bu holda birlamchi chulg‘amdan magnitlovchi sinusoidal tok i_1 o‘tadi; bunda transformatorning magnitlanish xarakteristikasi egri chiziqli bo‘lganligidan uning magnit oqimi Φ yassi ko‘rinishdagi trapetsiotal shaklga ega bo‘ladi.



1.10-rasm. Aktiv qarshilikli (a-elekr sxemasi, b-magnit oqimi, ikkilamchi kuchlanish va birlamchi tok o‘zgarishi grafigi) va magnit shuntli (c-elekr sxemasi, d-birlamchi, ikkilamchi kuchlanish va magnit oqimi o‘zgarishi grafigi) pik-transformatorlar

Shu sababli transformatorning ikkilamchi chulg'amida pik (cho'qqi) simon shakldagi kuchlanish U_2 hosil bo'ladi (1.10-rasm). Magnit oqim Φ va tok i_1 nol qiymatidan o'tish paytida ikkilamchi kuchlanish maksimum (U_{2max}) qiymatga erishadi. Pik-transformatorlarining magnit o'tkazgichi odatda temir nikelli aralashma (permaloy)dan tayyorlanadi.

1.5. ELEKTRLASHTIRILGAN TEMIR YO'L VA SHAHAR ELEKTR TRANSPORTLARI UCHUN KUCH TRANSFORMATORLARINING O'ZIG AXOSXUSUSIYATLARI

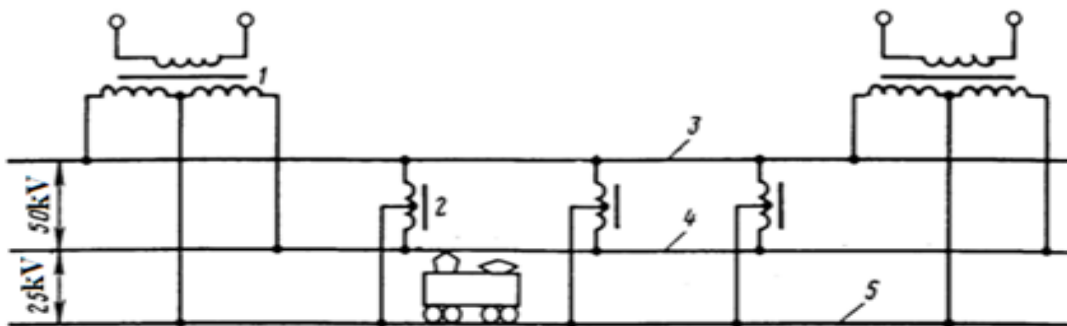
Elektrlashtirilgan temir yo'l transporti (masalan, elektrovoz) uchun kuch transformatorlari. Elektrlashtirilgan temir yo'l transportiga elektrovoz va elektropoezdlar kiradi. Ularni harakatga keltiruvchi elektr motorlariga energiyani o'zgarmas yoki o'zgaruvchan tok kontakt tarmoqlari orqali beriladi.

Elektrlashtirilgan temir yo'l transporti yuksak texnik-istisodiy ko'rsatkichlarga ega va ekologik jihatdan toza bo'lgan transportdir. Shu tufayli MDH mamlakatlarida, shu jumladan O'zbekistonda ham elektrlashtirilgan temir yo'l va shahar elektr transportlari keng rivojlanmoqda.

Elektrlashtirilgan temir yo'l transportida tortish ("asosiy ta'minlovchi") transformatorining asosiy vazifasi elektr tarmog'i kuchlanishi U ni tortish elektr motori uchun zarur bo'lgan kuchlanishga qadar kamaytirib berishdan iborat (1.11-rasm). O'zgaruvchan tok sistemasi 25 kV (yoki 2×25 kV) bo'lganda tortish transformatori podstantsiyalarining har qaysisida ikkitadan pasaytiruvchi uch fazali uch chulg'amli transformator o'rnatilgan bo'ladi.

Kuchlanishi 25 kV bo'lgan chulg'amidan alohida ta'minlash liniyalari orqali kontakt tarmog'iga kuchlanish beriladi. "Ikki sim rels (IS-R)" deb ataluvchi liniyalar bo'yicha elektrlashtirilgan temir yo'l liniyasi uchun yordamchi bo'lgan iste'molchilar energiya bilan ta'minlanadi. Bu holda transformatorlarning bir xil fazasi rels tarmog'iga, boshqafazalari esa kontakt tarmog'iga ulanadi.

2×25 kV sistemali tortish transformator podstantsiyalarida bir fazali kuch transformatorlari qoʻllaniladi. Ularning ikkilamchi chulgʻami har qaysisi 25 kV kuchlanishli ketma-ket ulangan ikkita sektsiyadan tashkil topgan (1.11-rasm). Sektsiyalar bunday ulanganda kontakt tarmogʻini 50 kV kuchlanish bilan taʼminlashga imkon beradi. Bu kuchlanish temir yoʻl boʻylab maxsus AT punktlarida joylashtirilgan liniya AT lari yordamida rostlab turiladi.



1.11-rasm. Elektrlashtirilgan temir yoʻlning 2×25 elektr taʼminoti sistemasi tortish podstantsiyasidagi ikkilamchi chulgʻami boʻlingan bir fazali maxsus maqsadli kuch transformatori: (1 –bir fazali kuch transformatori; 2 – bir fazali kuch AT; 3 – elektr energiyani taʼminlovchi maxsus liniya; 4 – kontakt tarmogʻi; 5-rels tarmogʻi

Shahar elektr transporti kuch transformatorlari. Shahar elektr tarmoqlari xususiyatidan kelib chiqqan holda bunday maxsus maqsadli kuch transformatorlarining birlamchi kuchlanishi 6; 6,3; 10 va 10,5 kV boʻladi. Tarmoq chulgʻami kuchlanishi $\pm 2 \times 2,5$ foiz oraliqda oʻzgartirish uchun qayta ulagich bilan taʼminlangan.

Tramvay-trolleybus podstantsiyasi transformatorlarining qisqa tutashuv kuchlanishi 5,8; 7 va 8,2 foizlarga teng. Tramvay-trolleybuslarni elektr energiya bilan taʼminlovchi transformatorlarning ikkilamchi chulgʻami kuchlanishi $U_2=600$ V boʻlgan TMII-800/10; TMII-1600/10 va TMII-3200/10 tiplari ishlatiladi. Ularning quvvat koeffitsientlari ($\cos\varphi$) tegishlicha 0,955; 0,95; 0,944.

Ikkilamchi chulgʻami kuchlanishi $U_2=825$ V, quvvati 3200 kV·A gacha boʻlgan TMII-1600/10, TMII-3200/10 va TC3II tipdagi quruq maxsus maqsadli kuch transformatorlari *metropolitan* elektr taʼminoti uchun ishlatiladi.

Qisqa tutashuv isroflarining yuklamasiz isroflariga nisbati $P_{qt}/P_0=4 \div 4,4$. Yuqori kuchlanishli tomoni uzluksiz chulgʻamdan tayyorlanadi.

Past kuchlanishli tomoni parallel ulangan qo'shg'altakli ko'p yo'lli vintsimon chulg'am bo'lganligidan magnit o'tkazgich o'zaklarining o'qlariaro oraliqlarni qisqartirish maqsadida uni yuqori kuchlanishlichulg'amning tashqarisiga joylashtiriladi.

O'zgartirgich qurilmalarida ishlatiladigan to'g'rilashning ko'prik sxemasi "yulduz-teskari yulduz" sxemasiga qaraganda elektr o'tkazgich va magnit materiallar hamda elektr energiyasi isroflari 15÷20 foizga kamayadi. Bunda tenglashtiruvchi reaktorning yo'qligi uning afzalligini yana ham oshiradi.

1.6. ELEKTR O'LCHASH SXEMALARI UCHUN TRANSFORMATORLAR

Bunday transformatorlar o'zgaruvchan tok zanjirlarida elektr o'lchash asboblari (voltmetr, ampermetr, vattmetrvaboshq.) ning o'lchash chegaralarini kengaytirish va yuqori kuchlanish tarmoqlarida mazkur asboblar bilan ishlash xavfsizligini ta'minlash maqsadlarida ishlatiladi. Bundan tashqari relyeli himoya asboblari ulashda ham foydalaniladi. Bunday transformatorlarni «o'lchash transformatorlari»deyiladi. Ularning quvvati $5V \cdot A$ dan bir necha yuz $V \cdot A$ gacha bo'ladi. o'lchov transformatorlari kuchlanish va toklarni o'zgartirganda xatolik mumkin qadar kam bo'lishining zarurligi ularga qo'yiladigan asosiy talabdir.

1. Kuchlanishni o'lchash sxemalari uchun transformatorlar.

Bunday transformatorlar kuchlanishi 0,38÷1150 kV bo'lgan o'zgaruvchan tok tarmoqlari kuchlanishini o'lchash sxemalarida ishlatiladi.

Shu sababdan ularni «kuchlanish transformatorlari»deyiladi. Mazkur transformator pasaytiruvchi bo'lib, birlamchi chulg'amda kuchlanish nominal (masalan, 3; 6; 10; 35; 110 kV va boshq.) bo'lganda ikkilamchi kuchlanishi 100, $100/\sqrt{3}$ yoki $100/3$ V bo'ladigan qilib bajariladi. Uning ikkilamchi zanjiriga voltmetr hamda vattmetr, chastotamer, energiya hisoblagich (schetchik) va fazometrlarning kuchlanish chulg'amlari ulanadi. Bu o'lchash asboblarining elektr

qarshiligi katta (taxminan 1000 Om) bo‘lib, kuchlanish transformatorlarining ish rejimi salt ishlash rejimiga yaqin bo‘ladi.

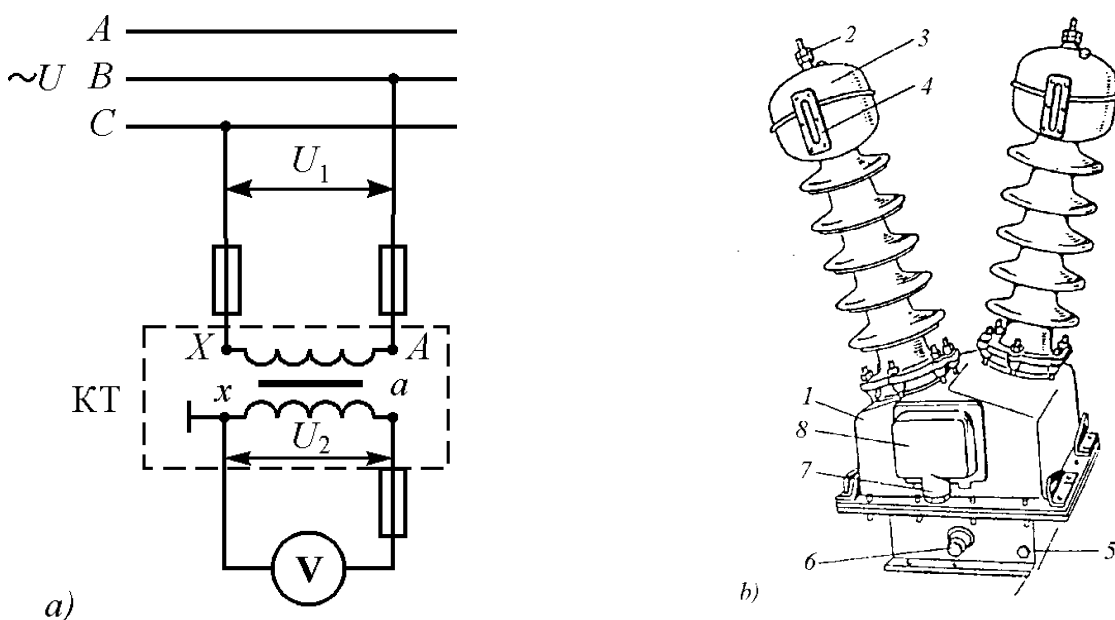
Bu holda $\underline{U}_1 = \underline{E}_1$; $U_0 = E_{2N}$, deb hisoblash mumkin bo‘ladi, lekin $E_1 = (w_1/w_2) E_2$ bo‘lgani uchun

$$U_1 = (w_1/w_2) U_2 = k U_2, \quad (1.6)$$

bunda $k = w_1/w_2$ - kuchlanish transformatorining transformatsiyalash koeffitsiyenti.

Kuchlanish transformatorlari bir fazali va uchfazali qilib tayyorlanadi. Kuchlanish $U = 3000$ V gacha quruq (havo bilan tabiiy ravishda sovitiladigan) qilinib, $U > 3000$ V bo‘lganda esa moyli (moy bilan sovitiladigan) qilinadi (moyli bo‘lishi chulg‘amlar izolyatsiyasining elektr mustahkamligi katta bo‘lishi uchun ham zarurdir). Masalan, 1.12-rasmda *HOM-35* tipli kuchlanish transformatori (b) va uni tarmoqqa ulash sxemasi (a) ko‘rsatilgan.

Elektr xavfsizligini ta‘minlash maqsadida transformator ikkilamchi chulg‘aming chiqish uchlari biri va transformator qoplamasi (kojuxi) zaminlanadi, ya‘ni yerga tutashtiriladi.



1.12-rasm. Kuchlanishi 35 kV bo‘lgan tarmoqqa mo‘ljallangan NOM-35 tipli kuchlanish transformatorini tarmoqqa ulash sxemasi (a) va uning tashqi ko‘rinishi (b): 1– korpus; 2– yuqori kuchlanishli tarmoqdan ulanadigan sim uchun qisqich; 3– o‘tish izolyatorining kengaytirgichi; 4– moy ko‘rsatkich; 5– zaminlash uchun bolt; 6– moyni to‘kish uchun tiqinli teshik; 7– ikkilamchi chulg‘am uchlari chiqarilgan izolyatsion taxtachaning qopqog‘i va 8– o‘lchash asboblarga sim ulash uchun shtutser (uchlariga rezba ochilgan biriktiruvchi qism); KT – kuchlanish transformatori

Salt ishlash toki (kam yuklama toki), transformatorida kuchlanish pasayishiga olib keladi va 1.13-rasmdagi vector diagrammasidagi U_1 va U_2 kuchlanishlar orasida faza siljishiga olibkeladi. Ushbu sababga ko'ra o'lchashda ayrim xatoliklar vjudga keladi.

Kuchlanish transformatorining xatoligi birlamchi (U_1) va ikkilamchi (U_2) chulg'am kuchlanish vektorlari orasidagi siljish fazasiga bog'liq holda o'zgaradi. Ko'chirilmaydigan (stasionar) kuchlanish transformatorlarini uchta (0,5; 1 va 3), laboratoriya kuchlanish transformatorlarini esa 4 ta (0,05; 0,1; 0,2; va 0,5) aniqlik klassga bo'ladilar.

Kuchlanish transformatorlarida ikki xil turdagi xatolik mavjud:

a) kuchlanishning nisbiy xatoligi

$$\gamma_u = [(U_2 k - U_1) / U_1] 100 \%;$$

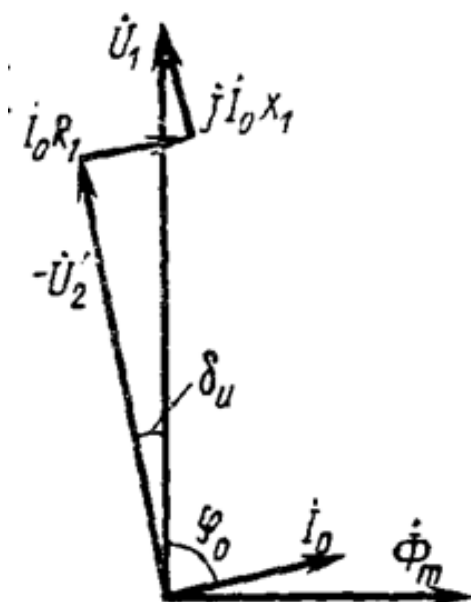
b) burchak xatolik, uning kattaligi sifatida \dot{U}_1 va \dot{U}_2 vektorlar orasidagi burchak qabul qilinadi. Burchak xatolik vattmetrlar, xisoblagichlar, fazometrlar va boshqa priborlarning o'lchash natijalariga ta'sir ko'rsatadi. Burchak xatolik qoniqarli deb xisoblanadi agarda \dot{U}_2' vektori \dot{U}_1' vektoridan oldinda kelsa.

Sanoatda ishlab chiqarilayotgan kuchlanish transformatorlari, birlamchi chulg'amga berilayotgan kuchlanish 80-120 % oralig'ida o'zgarganda aniqlik sinfini saqlab qoladi.

Kuchlanish transformatorining γ_u va δ_u xatoliklarini kamaytirish maqsadida, transformator chulg'amlari qarshiliklari Z_1 va Z_2 boricha kam qilib tayyorlanadi va magnit o'tkazgichi yuqori sifatli po'latdan tayyorlanib, nominal ish rejimida magnit o'tkazgich to'yinmasligi uchun magnit o'tkazgichning ko'ndalang kesim yuzasi katta qilib tayyorlanadi. Shu munosabat bilan salt ishlash tokining sezilarli kamayishiga erishiladi.

1.2-jadval

Aniqlik sinfi	0,5	1	3
Kuchlanish U_1 (0,8÷1,2) % bo'lganda maksimal nisbiy xatolik	±0,5	±1,0	±3,0
Burchak xatolik, min	±20	±40	Normalashtirilmagan



1.13-rasm. Kuchlanish transformatorining vektor diagrammasi

Tokni o'lchash sxemalari uchun transformatorlar

Bunday transformatorlar katta qiymatli toklarni oddiy ampermetr bilan o'lchash uchun hamda vattmetr, energiya hisoblagich (schetchik) va fazometrlarning tok chulg'amlarini ulashda ishlatiladi. Shu sababdanularni «tok transformatorlari» deyiladi. Tok transformatorining birlamchi chulg'ami kesim yuzasi nisbatan katta bo'lgan o'tkazgichdan yasilib, tarmoqqa ketma-ket ulanadi (1.14-rasm). Chulg'amlardagi o'ramlar shunday tanlanadiki, bunda birlamchi chulg'amning toki nominalga teng bo'lganda, ikkilamchi zanjirdagi tok 5 A bo'ladigan qilib bajariladi.

Tok transformatorlarining ish rejimi qisqa tutashuv rejimiga yaqin bo'ladi va ular uchun toklar tenglamasi quyidagicha yoziladi:

$$\underline{I}_1 = -\underline{I}'_2 = - (w_2/w_1) \underline{I}_2 = \underline{I}_2/k. \quad (1.7)$$

Demak, ikkilamchi tok I_2 va transformatsiyalash koeffitsiyenti k ma'lum bo'lganda birlamchi tok I_1 ni aniqlash mumkin ekan.

Tok transformatorlarini 5 ta aniqlik klassiga bo'ladilar:

Statsionar (ko'chmaydigan) turlari – 0,2; 0,5; 1; 3 va 10, laboratoriya tok transformatorlari esa – 0,01; 0,02; 0,05; 0,1 va 0,2. Bu keltirilgan raqamlar tokning nominal qiymatidagi tok xatoligidir.

Toktransformatorlarining tan narxi izolyatsiya hisobiga taxminan nominal kuchlanishining kvadratiga bog'liq holda oshib boradi. Shu sababli nominal kuchlanish $U \geq 220$ kV bo'lganda tok transformatori kaskad sxemasi bo'yicha, ya'ni ikki pog'onali qilib bajariladi (1.14, d-rasm). Bu rasmda ko'rsatilgan kaskadli tok transformatorining har bitta pog'onasini kuchlanishi 250/3 kV bo'lgan tok transformatori tashkil etadi.

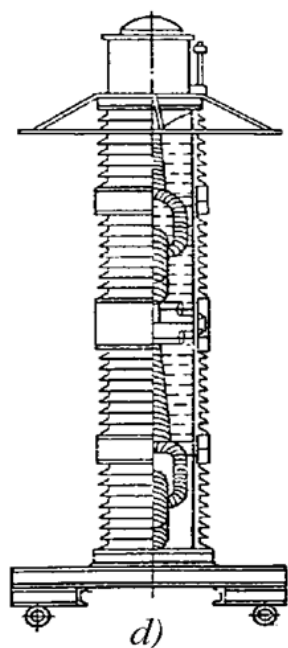
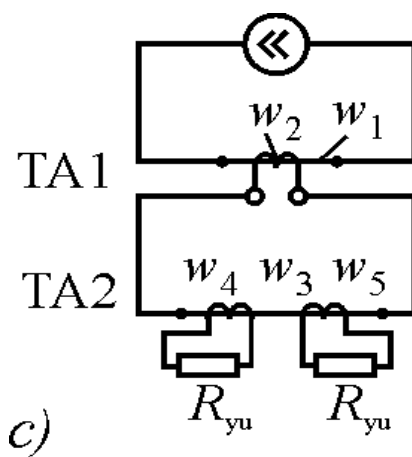
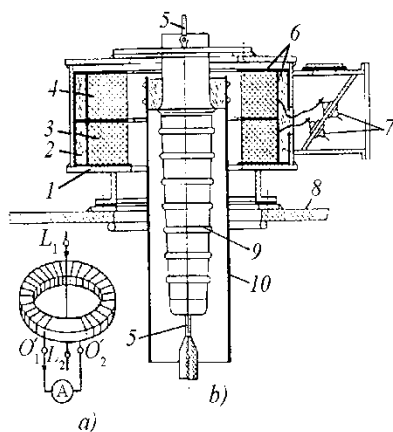
Birinchi pog'onadagi ikkilamchi chulg'am ikkinchi pog'onaning birlamchi chulg'amini tok bilan ta'minlaydi. Yuqori kuchlanishda ikki pog'onali tok transformatorining bir pog'onaliga nisbatan tannarxining taxminan 2 marta kamligi uning afzalligibol'sa, kaskad sxemada chulg'amlar qarshiliklarining oshishi tufayli tok transformatori xatoligining ko'payishi esa uning kamchiligi hisoblanadi. Tok transformatorini tarmoqqa ulashda uning qoplamasi (kojuxi) va ikkilamchi chulg'amining chiqish uchlaridan biri yerga ulanadi.

Xaqiqatda $I_0 \approx I_\mu$ bo'lgan xolda salt ishlash toki borligi uchun ko'rib chiqilayotgan transformatorida $I_1 \neq I_2$ va ushbu toklarning vektorlari orasida 180° dan farq qiluvchi ma'lum bir burchak mavjud (1.14, b-rasm). Bu esa tok bo'yichanisbiy xatolikni hamda I'_1 va $-I'_2$ vektorlari orasidagi γ_i burchak xatoligini byjudga keltiradi.

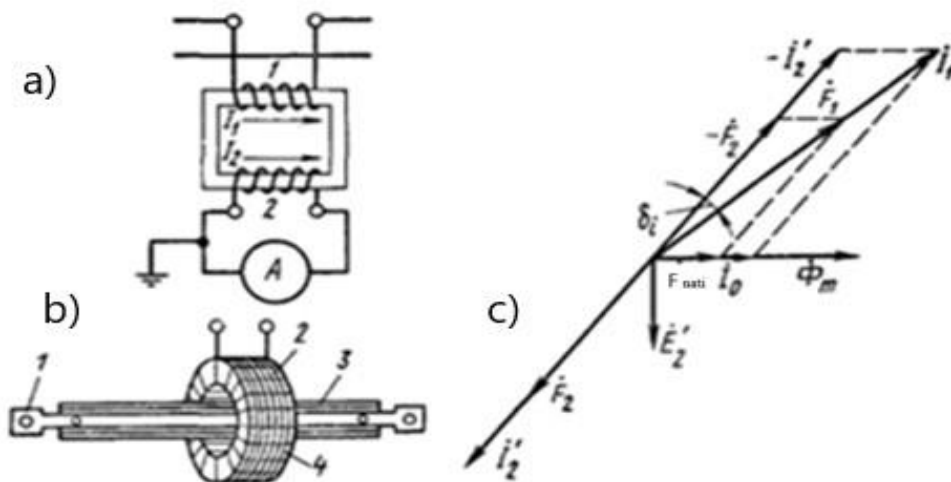
$$\gamma_i = [(I'_2 k - I_1) / I_1] 100\%$$

γ_i xatoligi yaxshi xisoblanadi, agarda I'_2 vektori I'_1 vektoridan oldin kelsa.

Tok transformatori normal ishlash jarayonida, uning ikkilamchi chulg'ami uzib qo'yilmasligi kerak, mabodo, uzib qo'yilsa ikkilamchi chulg'am toki $I_2=0$ bo'lib, birlamchi chulg'am toki I_1 esa o'zining ilgarigi katta qiymatini o'zgartirmay uning hosil qilgan magnit oqimi ikkilamchi chulg'amda katta EYK hosil qiladi. Bu esa magnit isroflarining oshib ketishiga va natijada, tok transformatorining me'yoridan ortiq qizib ketishiga olib keladi.



1.14-rasm. Kuchlanishi 110 kV bo'lgan kuch transformatori bakining ichiga o'rnatilgan tok transformatorining ulanish sxemasi (a): L_1 va L_2 – birlamchi chulg'am uchlari; $o'1$ va $o'2$ – ikkilamchi chulg'am uchlari; (b) tok transformatorining konstruksiyasi: 1– kiritgich (vvod)ning o'tish flanetsi (birlashtiruvchi qismi); 2– qora qayindan yasalgan planka; 3, 4– toktransformatorlari; 5– birlamchi chulg'am vazifasini bajaruvchi o'tkazgich; 6– elektro-karton izolyatsiya; 7– ikkilamchi chulg'am o'tish izolyatori qisqichi; 8– bak qopqog'i; 9– moy to'ldirilgan kiritgich; 10– qog'oz-bakelitli silindr. kuchlanishi 500 kV bo'lgan tarmoq tokini o'lchashda ishlatiladigan kaskadli (ikki pog'onali) tok transformatorining ulanish sxemasi (c) va qirqimi (d); w_1, w_2 – yuqori pog'onaning birlamchi va ikkilamchi chulg'amlari; w_3 – pastki pog'onaning birlamchi chulg'ami; w_4, w_5 – pastki pog'onaning ikkilamchi chulg'amlari; R_{yu} – tok transformatorining yuklamasi (ampermetr, vattmetr, himoya relyesi v.b.)



1.15-rasm. Tok transformatorining ulanish sxemasi (a) va umumiy ko'rinishi (b): 1-mis sterjen (birlamchi chulg'am); 2 – ikkilamchi chulg'am; 3 – izolyator; 4 – magnet o'tkazgich; vektor diagrammasi(c)

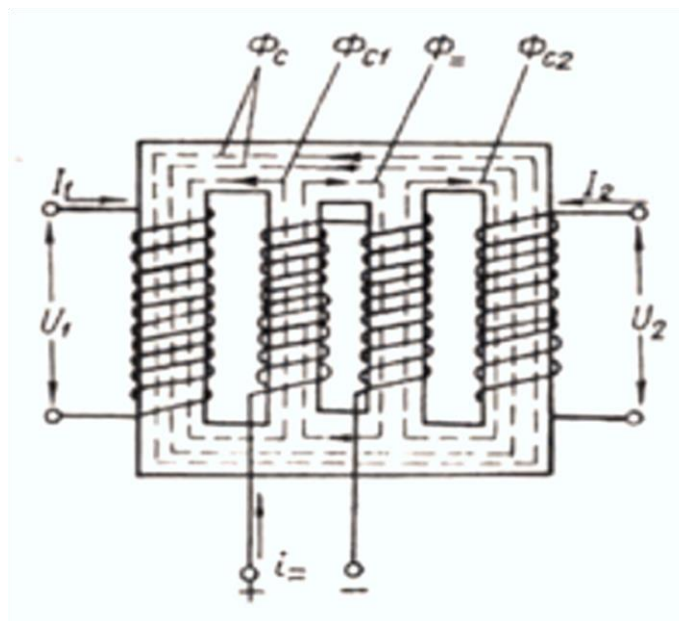
Aniqlik klassi	Nominal tokka nisbatan birlamchi tokning % da o'zgarishi	Xatolikning chegara qiymatlari		cosφ ₂ =0,8 bo'lganda ikkilamchi chulg'amdagi yuklamaning nominal tokka nisbatan % larda
		Tok bo'yicha,	Burchak bo'yicha, min	
0,2	10	±0,50	±20	25–100
	20	±0,35	±15	
	100-120	±0,20	±10	
0,5	10	±1	±60	25–100
	20	±0,75	±45	
	100-120	±0,50	±30	
1	10	±2	±120	25–100
	20	±1,5	±90	
	100-120	±0,50	±60	
3	50-120	±3	Normalashtirilmagan	50–100
10	50-120	±10	Normalashtirilmagan	50–100

Tok transformatorini tarmoqdan uzishda, dastlab uning ikkilamchi chulg'amini shunt qilib, keyin o'lchash asboblari ajratiladi.

1.7. KUCHLANISHNI SILLIQ ROSTLOVCHI TRANSFORMATORLAR

Kuch transformatorlarida kuchlanishni rostlashning qiyinligi, transformator tuzilishi murakkabligi va qayta ulash apparatlaridagipog'onalar sonining ko'p emasligi, rostlash diapozonining bor-yo'g'i ±5% oraliqda bo'lishi kuchlanishni keng diapozonda o'zgartirish imkoniyatini bermaydi.

Sirpanuvchi kontakli transformatorlar yordamida kuchlanishni ancha silliq o'zgartirilishi mumkin, lekin kuchlanish pog'onali ravishda o'zgaradi. Bunday usul laboratoriya avtotransformatorida keng qo'llaniladi. Quvvati bir muncha katta bo'lgan transformatorlar va avtotransformatorlarda, qo'shni o'ramlarga ulanishda qisqa tutashuv va tokni chegaralash maqsadida ikkita kontakli chiyotka jamlanma bilan ta'minlangan bo'lishi kerak.



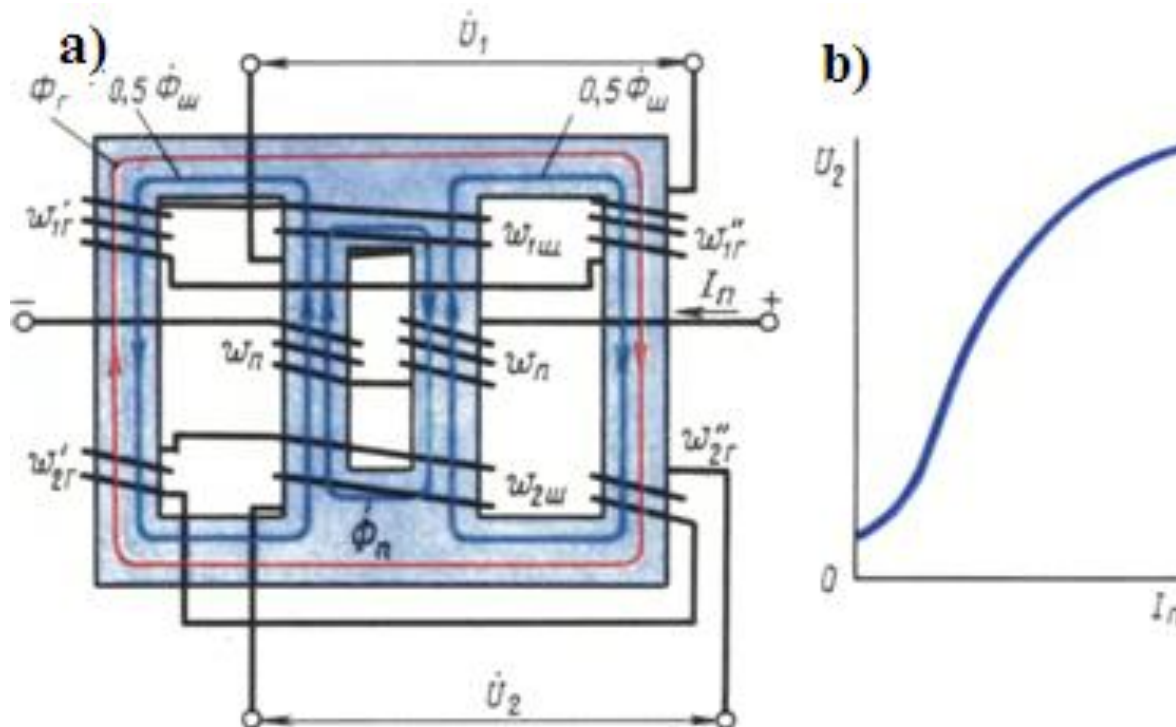
1.16-rasm. Qo'shimcha magnitlovchi chulg'amli bir fazali transformator

Past kuchlanishli kam quvvatli transformatorlar va avtotransformatorlarda, chulg'amning izolyasiyalanmagan tashqi qismi bo'ylab qo'zg'aluvchi kontakt yordamida o'ramlar sonini o'zgartirish yo'li bilan kuchlanishni ancha silliq o'zgartiriladi. Bunday transformatorlarning kuchlanishini rostlash, bitta o'ramga to'g'ri keluvchi kichik pog'onali kuchlanish o'zgarishi yordamida amalga oshiriladi, bunda rostlash diapazoni biroz kengayishi mumkin. Bunday tuzilishli transformatorlar tomoshabinlar zali va saxnasini yoritishda ishlatiladi, transformatorning quvvati 250 kVA gacha bo'lishi mumkin, kuchlanishni rostash oralig'i 0 dan 220/380 V bo'ladi.

Oxirgi vaqtlarda o'zgarmas tok bilan magnitlanuvchi transformatorlarni ishlatish kengaymoqda ularning birnecha turlari mavjud. SHunday transformatorning quyidagi turlarini ko'rib chiqamiz.

O'zagi qo'zg'aluvchi transformatorlar. Kuchlanishni silliq o'zgartiruvchi transformatorlarga chulg'ami va magnit o'zagi qo'zg'aluvchi transformatorlar xam kiradi. 1.17-rasmida, birlamchi chulg'ami parallel ulangan ikkita bo'lgan 1 va ikkilamchi chulg'ami qo'zg'aluvchan magnit o'zakka joylashtirilgan 2 transformator ko'rsatilgan. 1.17, a-rasmida ko'rsatilgandek, magnit o'zakni past

xolatida, 2 chulgʻamdagi oqim ilashimligi silliq oʻzgaradi, buning oqibatida ikkilamchi chulgʻam kuchlanishi $+U_2$ dan $-U_2$ gacha oʻzgartiriladi.

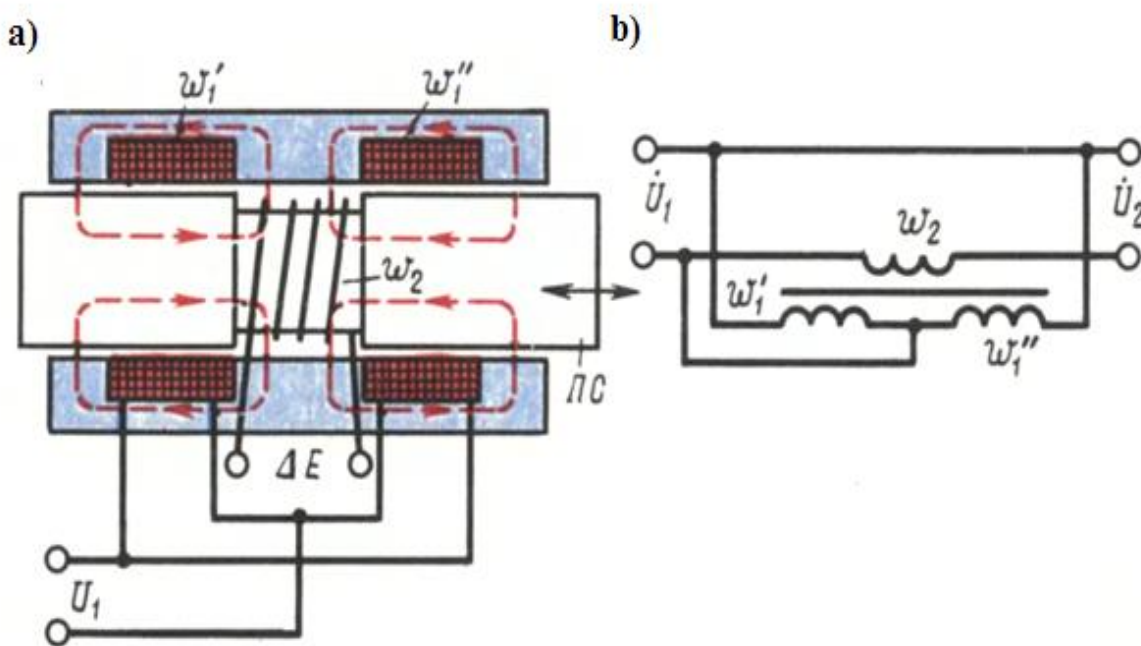


1.17-rasm. Magnitlovchi shuntli bir fazali transformator

1.17 - rasmda birlamchi va ikkilamchi chulgʻamlari bitta magnet oʻzakka joylashtirilgan va magnet oʻzaklar orasida elektrotexnik poʻlat plastinkalardan tayyorlangan, magnet shunti mavjud ikki chulgʻamli bir fazali transformator keltirilgan. Bunday konstruksiyali transformatorlarda chulgʻamlar orasida pasaygan elektromagnet aloqaga va katta sochilma magnet oqimiga ega. Foydali Φ_s magnet oqimi chetki magnet oʻzaklarda tutashadi. Agar kichik magnetlovchi tokni xisobga olmasak, I_1 va I_2 toklari faza jixatdan qarshi hamda sochilma $\Phi_{1\delta}$ va $\Phi_{2\delta}$ magnet oqimlarini xosil qiladi va magnet shunt orqali tutashadi. Sochilma qarshiliklar jx_1I_1 va jx_2I_2 kattaligi evaziga va katta sochilma magnet oqimi evaziga ikkilamchi chulgʻam kuchlanishi sezilarli darajada kamayadi.

Magnet shunt, oʻzgaras tok bilan taʼminlanuvchi va xar biri aloxida magnet oʻzakka joylashtirilgan ikki qismli chulgʻamga ega. Ushbu yarim chulgʻamlar shunday ulanganki, ular xosil qilgan magnet oqimi shunt chegaralarida tutashadi. Oʻzgaras tok qancha koʻp boʻlsa, magnet shuncha koʻp boʻladi va shunt

shunchalik kuchli to‘yinadi, oqibatda $\Phi_{1\delta}$ va $\Phi_{2\delta}$ -kamayadi. Bu esa U_2 kuchlanishning ko‘payishiga olib keladi. Shunday qilib, o‘zgarmas tokni rostdash yo‘li bilan, U_2 qiymatini rostdash mumkin. Ikkilamchi chulg‘amning bir qismini birlamchi chulg‘am joylashgan magnit o‘zakka joylashtirish mumkin. Bu esa elektromagnit aloqaning kuchayishiga, sochilma magnit oqimining kamayishiga va kuchlanish U_2 ni rostdash diapazonining kamayishiga olib keladi. Shuning uchun U_2 kuchlanishini rostdash diapozoni ikkilamchi chulg‘am o‘ramlari ikki magnit o‘zak orasida taqsimlanishi bilan aniqlanadi.



1.18-rasm. Magnit o‘zagi qo‘zg‘aluvchi transformator

Katta quvvatli yoki katta kuchlanishli transformatorlarda kuchlanishni silliq o‘zgartirish uchun, magnito‘tkazgichni o‘zgarmas tok bilan magnitlash yo‘li ishlatilishi mumkin. 1.19-rasmda o‘zgarmas tok bilan magnitlovchi, rostlanadigan transformatorning sxemasi keltirilgan. Ushbu sxemada xar xil transformatsiyalash koeffitsientiga ega $n_{21}\alpha \neq n_{21}\beta$ bo‘lgan, ikkita bir fazali transformatorlar α va β keltirilgan. Ushbu transformatorlarning xar biri chastotani ikki karra oshiruvchi sxemadagi kabi o‘zgarmas tok bilan magnitlanadigan, bo‘lingan magnit o‘tkazgichga ega (magnito‘tkazgich qismlarini magnitlaganda, magnitlovchi tokning qarama-qarshi yo‘nalishida tok sinusoidal xolatga erishadi).

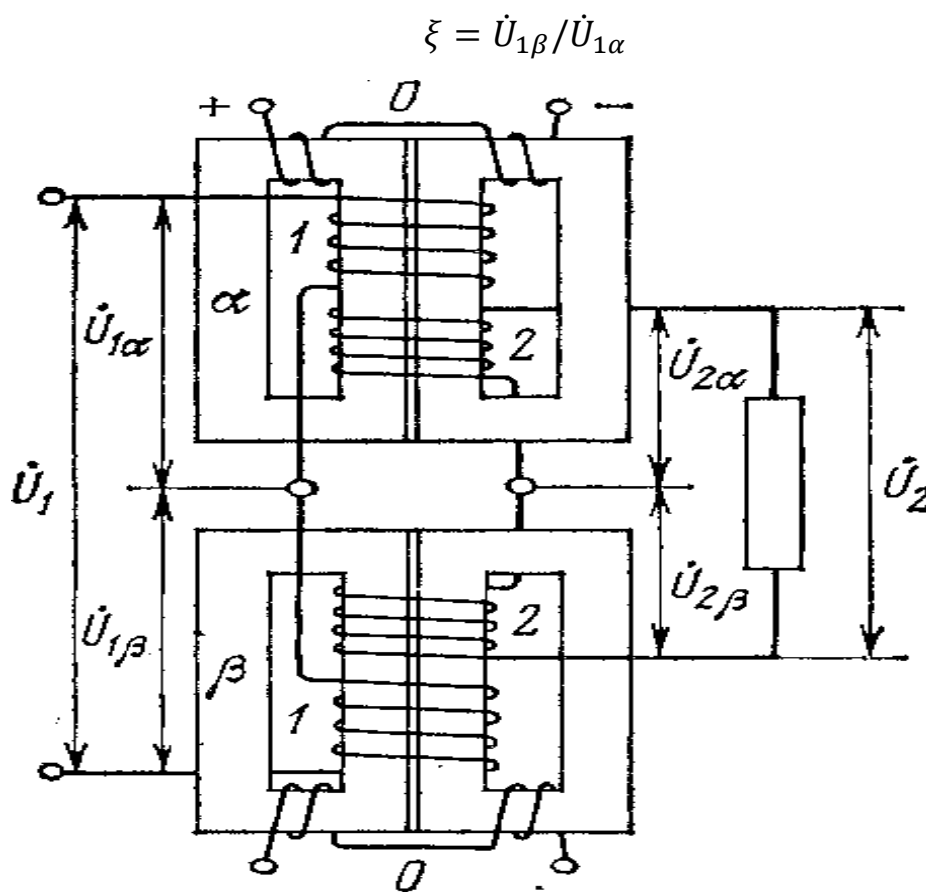
Transformatorning kuchlanishi $\dot{U}_{1\alpha}$ va $\dot{U}_{1\beta}$ birlamchi va ikkilamchi chulgʻamlari ketma-ket ulanadi va $\dot{U}_1 = \dot{U}_{1\alpha} + \dot{U}_{1\beta}$ kuchlanishli tarmoqqa ulanadi. Kuchlanishi $-\dot{U}_{2\alpha} = n_{21\alpha}\dot{U}_{1\alpha}$ va $-\dot{U}_{2\beta} = n_{21\beta}\dot{U}_{1\beta}$ boʻlgan ikkilamchi chulgʻamlari ketma-ket ulanadi hamda kuchlanishi $\dot{U}_2 = \dot{U}_{2\alpha} + \dot{U}_{2\beta}$ boʻlgan qarshilikka ulanadi. α va β transformatorlarni aloxida magnitlash paytida, transformatorning birlamchi chulgʻamidan umumiy I_1 tok oquvchi, qarshiliklari farqi boʻlishi mumkin va kuchlanishlar nisbati quyidagicha boʻladi:

(β transformatorini magnitlashni oshirish nisbat ξ kamayadi). Nisbat ξ ni oʻzgartirish ikkilamchi kuchlanish U_2 oʻzgartirishga olib keladi:

$$\dot{U}_1 = -\dot{U}_{2\alpha} - \dot{U}_{2\beta} = \dot{U}_1 \frac{n_{21\alpha} + \xi n_{21\alpha}}{1 + \xi}$$

$\beta=0$ teng boʻlganda, $-\dot{U}_2 = \dot{U}_{1n_{21\alpha}}$ teng boʻladi va $-\dot{U}_2 = \dot{U}_{1n_{21\beta}}$ $\xi=\infty$ boʻlganda ershiladi.

Bunday xolatda kuchlanish kichik pogʻonada va keng oraliqda rostlanadi.



1.19-rasm. Magnit oʻzagi oʻzgarmas tok bilan magnitlanuvchi rostlanadigan transformatorning ulanish sxemasi

1.8. FAZALAR SONINI O‘ZGARTIRUVCHI TRANSFORMATORLAR

Sanoatda 3 fazali kuchlanishlar tizimi ishlatilsa xam, bir fazali, ikki fazali, olti fazali va ko‘p fazali kuchlanishlar tizimi xam ishlatiladi. Bir fazali kuchlanishlar tizimi tortish tarmoqlarida va elektrpechlar xamda qizdiruvchi qurilmalarda keng qo‘llaniladi. Ikki fazali kuchlanishlar tizimi avtomatik boshqarish tizimlarida ishlatiladi. Olti fazali kuchlanishlar tizimi to‘g‘irlovchi qurilmalarda to‘g‘irlangan tokning pulsatsiyasini kamaytirish maqsadida qo‘llaniladi.

Uch fazali kuchlanishlar tizimini ikki fazali tizimga aylantiruvchi transformatorlar ikkita bir fazali transformatorlarni 1.20-rasmda ko‘rsatilgandek ulash orqali amalga oshirish mumkin. Kiruvchi qismi A, B, C uch fazali tizimli kuchlanishdan ta‘minot oladi.

O‘ramlar soni w_1 bo‘lgan b transformatorining birlamchi chulg‘ami liniya kuchlanishi $U_{CB}=U_{1l}$ bo‘lgan tarmoqqa ulanadi. VS chulg‘aming ikkita yarim qismidagi EYK lar o‘sha F_b magnit oqimidan xosil bo‘lganligi uchun U_{CO} va U_{OB} kuchlanishlar bir xil bo‘ladi. O‘ramlar sonining $\sqrt{3}w_1/2$ qismidagi a transformatorning kuchlanishi va b transformatoridagi O nuqta bilan A nuqta orasidagi kuchlanish $\sqrt{3}U_{1l}/2$ ga teng. Ikkilamchi kuchlanishi U_a va U_b bo‘lgan ikki fazali simmetrik tizimni tashkil etadi, chunki modul bo‘yicha bir xil va U_{AO} va U_{CB} kuchlanishlari kabi vaqt bo‘yicha $\pi/2$ siljigan

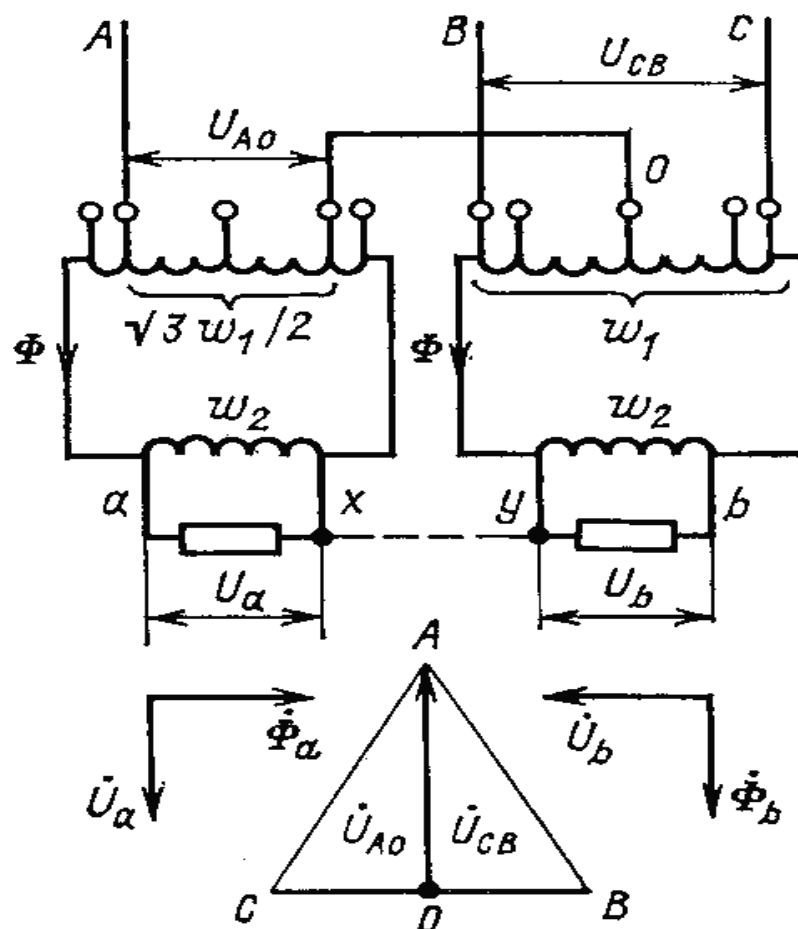
$$U_b = U_{CB} \frac{w_2}{w_1} = U_{1l} \frac{w_2}{w_1}$$

$$U_a = U_{AO} \frac{w_2}{w_1 \sqrt{3}/2} = U_{1l} \frac{w_2}{w_1}$$

$$U_a = U_b, \varphi_{ab} = 90^0$$

U_{AO} va U_{CB} kuchlanishlar orasidagi burchak 90^0 ga teng. Uchburchak AOS dan U_{AO} ni topamiz

$$U_{AO} = \sqrt{U_{1l}^2 - \left(\frac{U_{1l}}{2}\right)^2} = U_{1l} \frac{\sqrt{3}}{2}$$



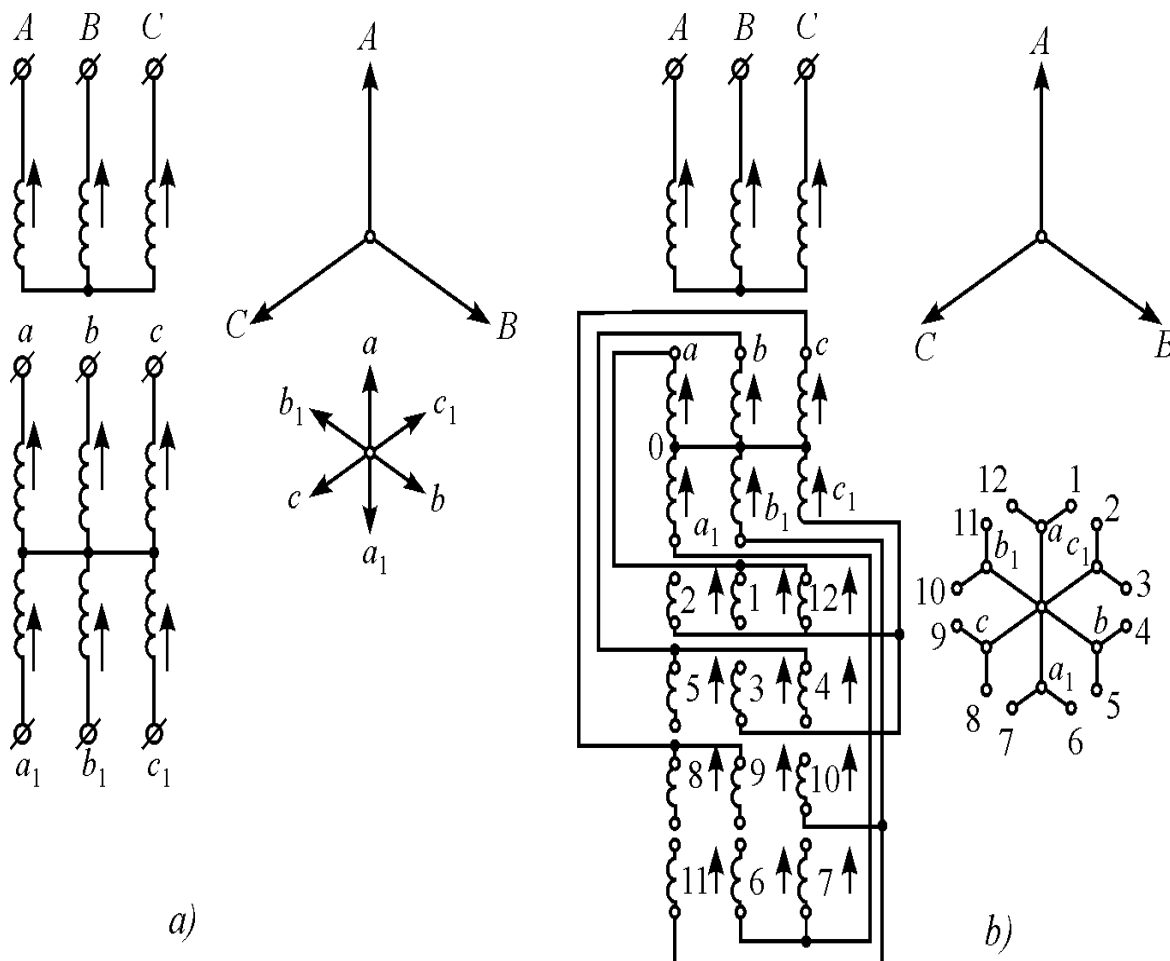
1.20-rasm. Uch fazali tizimni ikki fazali tizimga o'zgartirish sxemasi

Katta quvvatli turbogeneratorlarda stator chulg'amidagi parallel shaxobchalardagi tokning qiymatini kamaytirish maqsadida olti fazali chulg'am ishlatiladi. Olti fazali kuchlanishlar tizimini uch fazali kuchlanishlar tizimiga turbogenerator blokida joylashgan transformator yordamida o'zgartiriladi. Uch fazali tizimni olti fazali tizimga o'zgartiruvchi transformatorning elektr sxemasi 1.20-rasmda ko'rsatilgan.

Olti fazali tizim uch sterjenli transformatorning ikkilamchi chulg'ami o'rta nuqtasi orqali amalga oshiriladi.

Uch sterjenli transformatorlarda, uch fazali tizimni 12-fazali tizimga o'zgartirishda yulduz va ikki zigzag sxemasi qo'llaniladi. Boshqa turdagi sxemalardan xam foydalanish mumkin. Masalan, olti sterjenli konstruksiyali transformatorni uch fazani olti fazaga o'zgartiruvchi transformator kabi o'rta nuqta orqali 12 fazaga o'zgartirish mumkin 1.21, a- rasm. Fazalar sonini o'zgartiruvchi

transformatorlar, oddiy transformatorlar kabi energiyani birlamchi chulgʻamdan ikkilamchi chulgʻamga uzatadi. Shuning uchun fazalar sonini oʻzgartiruvchi transformatorlar, uch fazali kuchlanishni koʻp fazaga yoki koʻp fazali kuchlanishni uch fazali tizimga aylantirishi mumkin.



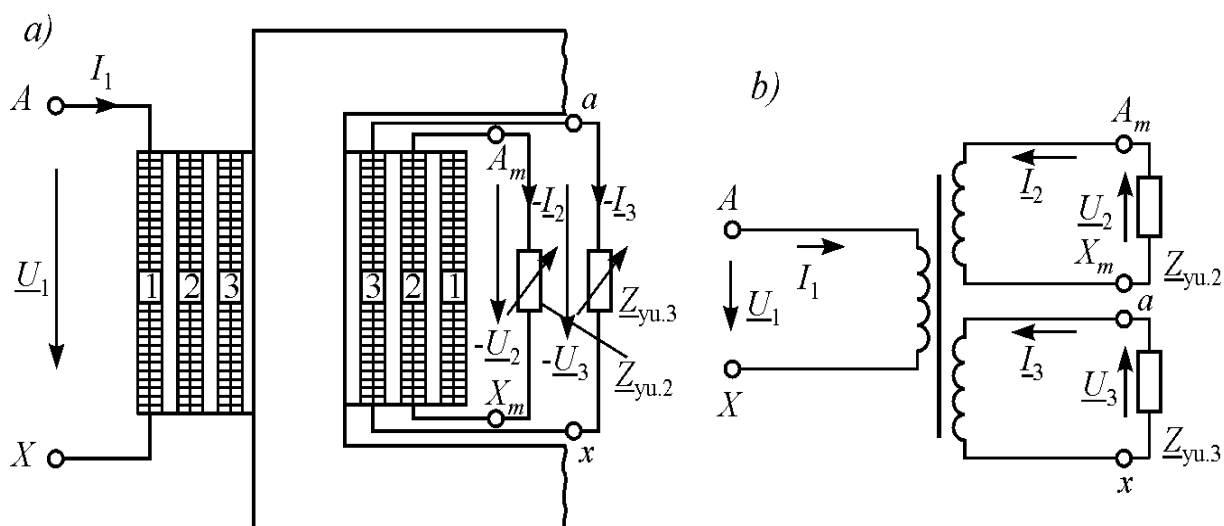
1.21-rasm. Uch fazali kuchlanishlar sistemasini olti (a) va 12 fazaliga (b) oʻzgartirish sxemalari va ularning vektor diagrammalari

1.9. UCH CHULGʻAMLI TRANSFORMATORLAR

Uch chulgʻamli transformatorlarda oʻzakka oʻrnatilgan oʻzaro elektr ravishda ulanmagan uchta chulgʻam boʻladi. Agar transformator pasaytiruvchi boʻlsa, ulardan eng yuqori kuchlanishli chulgʻam birlamchi chulgʻam boʻladi, qolgan ikkitasi esa ikkilamchi chulgʻam hisoblanadi.

Oʻrta kuchlanishli chulgʻam uchlari A_m va X_m orqali belgilanib, bularda «m» indeksi, «mittel» – (oʻrta) soʻzining 1-harfi.

Uch chulgʻamli transformatorning ishlash prinsipi ikki chulgʻamli oddiy transformatorning ishlash prinsipidan farq qilmaydi. Birlamchi chulgʻamga oʻzgaruvchan tok berilganda magnet oʻtkazgichda oʻzgaruvchan magnet oqim hosil boʻladi. Magnet oqimning kuch chiziqlari ikkinchi va uchinchi chulgʻamlarni kesib oʻtib, ularda mos ravishda E_2 va E_3 EYKlarni hosil qiladi. Ikkinchi va uchinchi chulgʻamlarga yuklama ulansa shu chulgʻamlardagi EYK lar taʼsirida ulardan mos ravishda I_2 va I_3 toklar oʻtib, chulgʻamlarning chiqish uchlari tegishli U_2 va U_3 kuchlanishlar yuzaga keladi (1.22-rasm).



1.22-rasm. Uch chulgʻamli pasaytiruvchi transformator oʻzagida chulgʻamlarning joylashtirilishi (a) va uning sxematik tarzda tasvirlanishi (b)

Uch chulgʻamli transformatorning ikkinchi va uchinchi chulgʻam lariga yuk lama ulanganda uning magnet zanjiri uchta chulgʻam magnet yurituvchi kuchlarning geometrik yigʻindisidan iborat boʻlib, transformatorning magnet yurituvchi kuchlari muvozanat tenglamasi quyidagicha yoziladi:

$$\underline{I}_0 w_1 \approx \underline{I}_1 w_1 + \underline{I}_2 w_2 + \underline{I}_3 w_3. \quad (1.8)$$

Bu tenglamaning chap va oʻng tomonini w_1 ga boʻlib, $\underline{I}_2 \cdot w_2 / w_1 = \underline{I}'_2$ va $\underline{I}_3 \cdot w_3 / w_1 = \underline{I}'_3$ belgilashlar kiritgandan keyin uch chulgʻamli transformator toklarining muvozanat tenglamasini hosil qilamiz, yaʼni

$$\underline{I}_0 \approx \underline{I}_1 + \underline{I}'_2 + \underline{I}'_3. \quad (1.9)$$

Umumiy maqsadli uch chulgʻamli kuch transformatorlari katta quvvatlar (6300÷80000 kV·A)ga va yuqori kuchlanishlar (35÷220 kV)ga moʻljallab tayyorlanadi. 1.24-rasmda shunday transformatorlardan namuna sifatida TДТ-16000/110 tipi koʻrsatilgan.

Uch chulgʻamli transformatorning afzalligi shundaki, ayrim hollarda elektr stansiyasida yoki transformator podstansiyasida kuchlanishi har xil boʻlgan ikkita ikki chulgʻamli kuch transformatori oʻrniga bitta uch chulgʻamli transformator ishlatish mumkin (1.23-rasm). Bu holda transformator oʻrnatish uchun kam joy talab qilinadi, energiya isroflari nisbatan kamayadi va podstansiya tannarxi arzonlashadi.

Bunday katta quvvatli transformatorlarda salt ishlash toki I_0 nominal tok I_{1N} ning juda ham kam qismi (0,5–1,2 %) ni tashkil qilganligidan, uni eʼtiborga olmagan ($I_0 \approx 0$) holda, uch chulgʻamli transformator toklarining muvozanat tenglamasi quyidagicha yoziladi:

$$I_1 \approx -(I'_2 + I'_3). \quad (1.10)$$

Uch chulgʻamli transformatorlarda barqaror elektromagnit jarayonlar ikki chulgʻamli transformatornikiga oʻxshash holda quyidagi tenglamalar sistemasi orqali ifodalanadi:

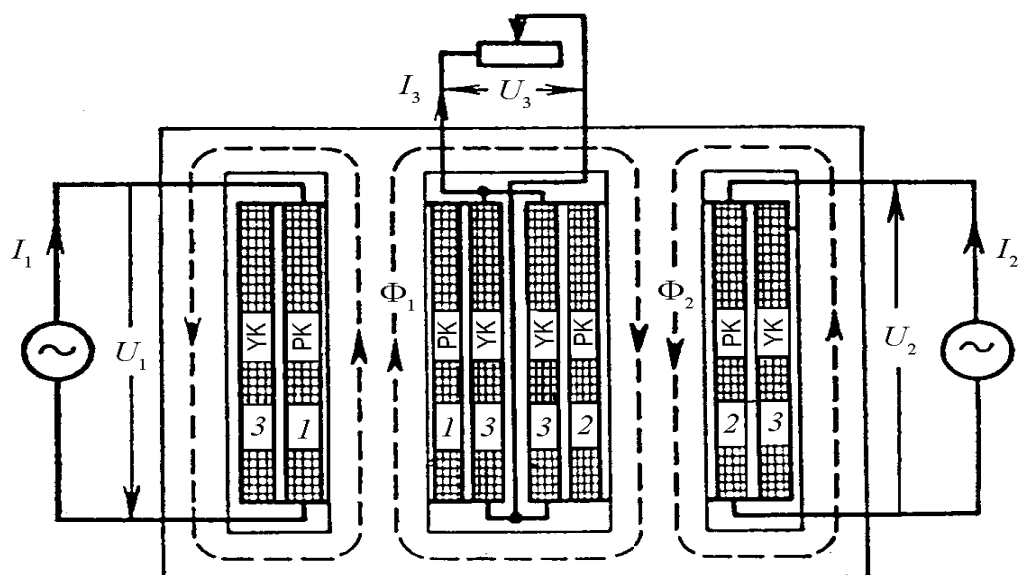
$$\left. \begin{array}{l} a) U_1 = -E_1 + I_1 Z_1; \\ b) U'_2 = E'_2 - I'_2 Z'_2; \\ c) U'_3 = E'_3 - I'_3 Z'_3; \\ d) I_0 = I_1 + I'_2 + I'_3, \end{array} \right\} \quad (1.11)$$

bu yerda: $Z_1 = r_1 + jx_1$, $Z'_2 = r'_2 + jx'_2$, $Z'_3 = r'_3 + jx'_3$ – transformator chulgʻamlarining tegishli toʻla qarshiliklari;

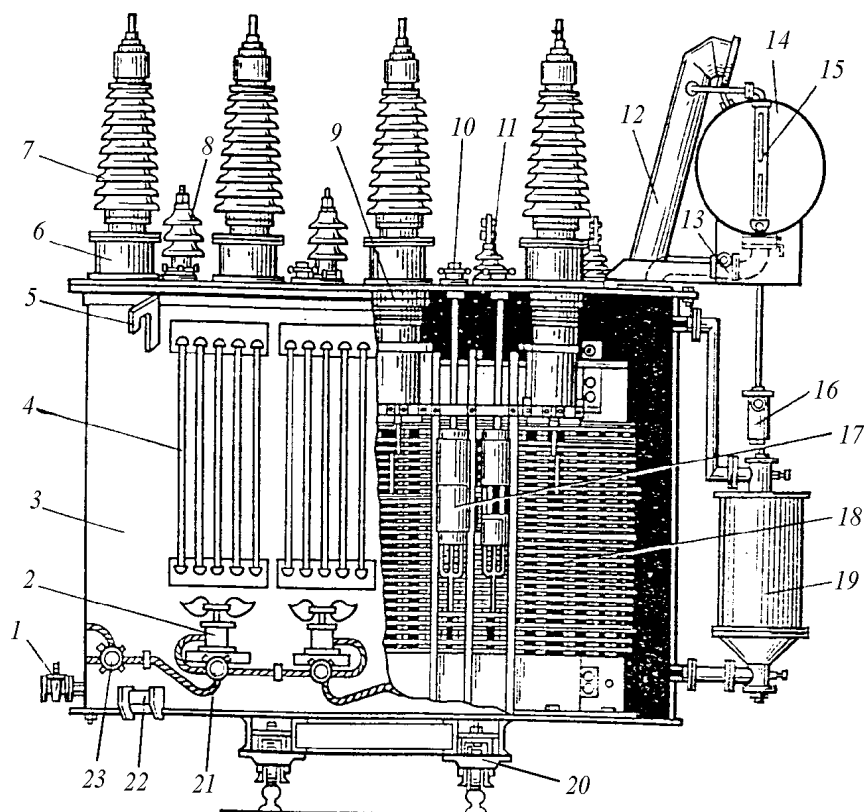
$I'_2 = I_2 \cdot w_2/w_1$ va $I'_3 = I_3 \cdot w_3/w_1$ – birlamchi chulgʻam oʻramlar soniga keltirilgan ikkinchi va uchinchi chulgʻam toklari.

Uch chulgʻamli transformator uchun quyidagi tenglikni yozish Uch chulgʻamli transformator uchun quyidagi tenglikni yozish mumkin:

$$-E_1 = -E'_2 = -E'_3. \quad (1.12)$$



1.23-rasm. Elektr stansiyada ikkita chulg‘ami alohida generatorlarga ulangan bir fazali uch chulg‘amli transformator



1.24-rasm. Quvvati 16 MV·A, kuchlanishlari 110 / 38,5 / 11 kV bo‘lgan, TDT-16000/110 tipli uch fazali uch chulg‘amli transformator: 1 – kran; 2– ventilyator; 3– bak; 4 – radiator; 5– ilgich; 6– tok transformatori bilan o‘tish flanetsi; 7 – yuqori kuchlanish o‘q o‘tkazgichli izolyatori (o‘tishizolyatori); 8– o‘rta kuchlanish (38,5 kV) o‘tish izolyatori; 9– 110 kV o‘tish izolyatorining qog‘oz – bakelit silindri; 10– ПБВ qayta ulagichi yuritmasi; 11– pastkuchlanish (11 kV) o‘tishizolyatori; 12– chiqarish trubasi; 13– gazrelesi; 14– kengaytirgich; 15– moy ko‘rsatkich; 16– havo quritgich; 17– yuqori kuchlanishli (Yk) chulg‘am qayta ulagichi; 18– YK chulg‘am (110 kV); 19– termosifonli filtr; 20– transformatorni siljitish uchun aravacha; 21– taqsimlash qutichasi; 22– domkrat o‘rnatish uchun tokcha; 23– boshquticha

(1.11) dagi tenglamalar sistemasidan EYK larning qiymatlarini aniqlab, ularni (1.12) ga qo'yilsa quyidagi muvozanat tenglikka ega bo'lamiz:

$$\underline{U}_1 - \underline{I}_1 Z_1 = -(\underline{U}'_2 + \underline{I}'_2 Z'_2) = -(\underline{U}'_3 + \underline{I}'_3 Z'_3). \quad (1.13)$$

(1.10÷1.13) tenglamalarga 1.25, a-rasmdagi almashtirish sxemasi mos keladi. Mazkur sxema transformatorning parametrlari ma'lum bo'lganda va yuklamaning qarshiliklari berilgan bo'lsa transformator chulg'amlarining toklari va kuchlanishlarini hamda ulardagi isroflarni aniqlashga imkon beradi.

Soddalashtirilgan vektor diagrammasi. Uch chulg'amli kuch transformatorining vektor diagrammasi ham ikki chulg'amli transformatorning soddalashtirilgan vektor diagrammasini qurishdagi singari salt ishlash toki I_0 ni e'tiborga olmagan ($I_0 \approx 0$) holda, kuchlanishlar va toklar muvozanat tenglamalari (1.11) ga binoan quriladi.

Ikkinchi va uchinchi chulg'am toklari ($\underline{I}'_2, \underline{I}'_3$) va ularning tegishli chulg'am kuchlanishlari ($\underline{U}'_2, \underline{U}'_3$) ga nisbatan siljish burchaklari φ_2 va φ_3 lar ma'lum bo'lgan holda (1.11) dagi toklar muvozanat tenglamasigabinoan birlamchi chulg'am toki I_1 aniqlanadi (1.25, b-rasm).

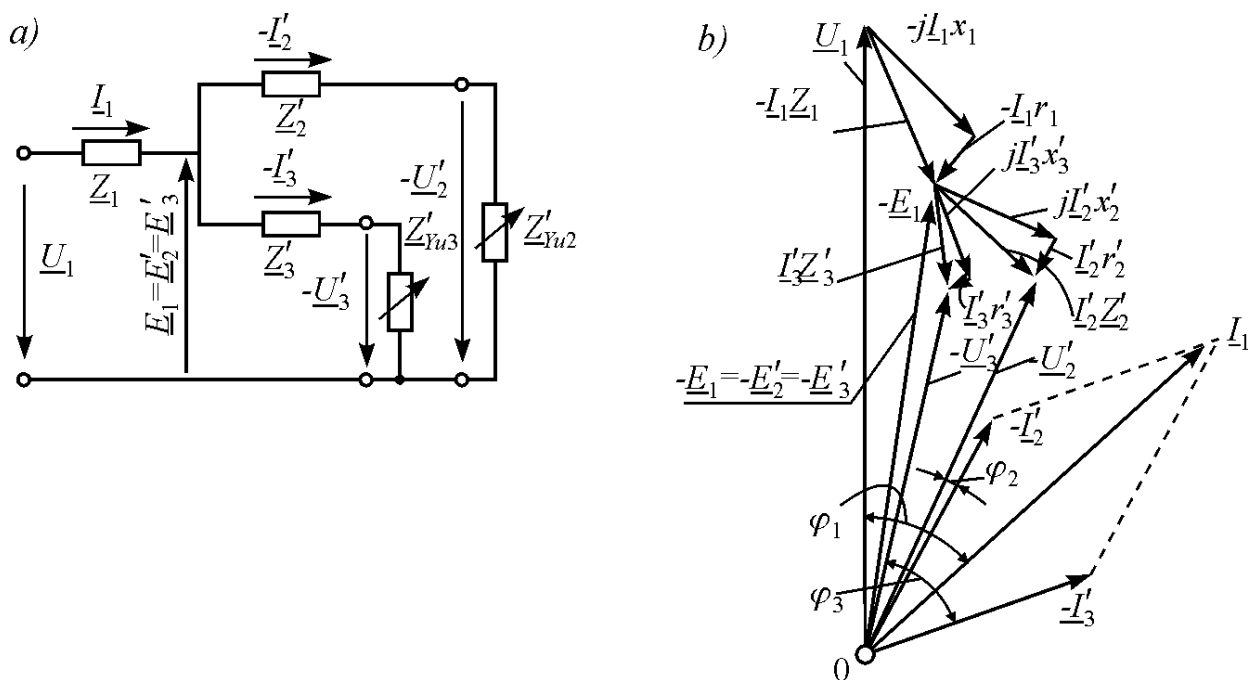
Birlamchi chulg'am kuchlanishi U_1 ni hosil qilish uchun ikkinchi va uchinchi chulg'am to'la qarshiliklaridagi kuchlanish pasayishlarini mos ravishda shu chulg'am kuchlanishlari ($-\underline{U}'_2$) va ($-\underline{U}'_3$) lar bilan geometrik qo'shish zarur bo'ladi.

Uch chulg'amli transformatorning almashtirish sxemasida ikki chulg'amli transformatornikidan farqli ravishda ikkita ikkilamchi zanjir bo'ladi.

Salt ishlash toki I_0 ning qiymati nominal tok I_{IN} ga nisbatan ancha kichik o'lganligidan magnitlanish shoxobchasini hisobga olmagan holdagi uch chulg'amli transformatorning almashtirish sxemasi 1.25, a-rasmda, soddalashtirilgan vektor diagrammasi esa 1.25, b-rasmda ko'rsatilgan.

Ikkilamchi chulg'amlari orasidagi magnit bog'lanish ularning o'zaro bir-biriga ta'sir etishiga sababchi bo'ladi. Masalan, ikkinchi chulg'am toki I_2 ning o'zgarishidan faqat uning kuchlanishi U_2 o'zgarib qolmasdan, birlamchi chulg'am

toki I_1 va birinchi chulg'am to'la qarshiligidagi kuchlanish tushishi ($I_1 Z_1$)ning o'zgarishi tufayli uchinchi chulg'am kuchlanishi U_3 ning qiymatiga ham ta'sir qiladi.



1.25-rasm. Uch chulg'amli transformatorning almashtirish sxemasi (a) va soddalashtirilgan vektor diagrammasi (b)

Uch chulg'amli transformator almashtirish sxemasining parametrlari. Bu parametrlarni: hisoblash yo'li bilan yoki salt ishlash va qisqa tutashuv tajribalaridan tegishlicha nominal kuchlanish va nominal toklarning qiymatlariga to'g'ri kelgan ma'lumotlardan aniqlash mumkin.

Pasaytiruvchi uch chulg'amli kuch transformatori almashtirish sxemasi parametrlarini tajriba yo'li bilan aniqlashni ko'rib chiqamiz. Mazkur parametrlardagi indeks (ko'rsatkich)lar: 1 – YK chulg'amga, 2– O'K chulg'amga va 3– PK chulg'amga oidligini bil diradi.

Salt ishlash tajribasi. Umumiy holda uchta salt ishlash tajribasini o'tkazish mumkin. Lekin uchta tajribadan olinadigan ma'lumotni bitta tajriba o'tkazib, ayrim ma'lumotni hisoblash yo'li bilan aniqlasa ham bo'ladi. Uch chulg'amli transformatorning salt ishlash tajribasini o'tkazish ikki chulg'amli transformatornikidan farq qilmaydi.

Salt ishlash tajribasidan olinadigan kattaliklar quyidagilardan iborat:

1) transformatsiyalash koeffitsiyentining uchta ($k_{1.2}, k_{1.3}, k_{2.3}$) qiymati

$$\left. \begin{aligned} k_{1.2} &\approx \frac{U_1}{U_2}, & k_{1.3} &\approx \frac{U_1}{U_3}, \\ k_{2.3} &\approx \frac{U_2}{U_3} = \frac{\left(\frac{U_2}{U_1}\right)}{\left(\frac{U_3}{U_1}\right)} = \frac{k_{1.3}}{k_{1.2}}, \end{aligned} \right\} \quad (1.14)$$

(bunda $k_{2.3}$ ni aniqlash uchun U_2/U_3 kasrning surat va maxrajini U_1 ga bo'lish kerak).

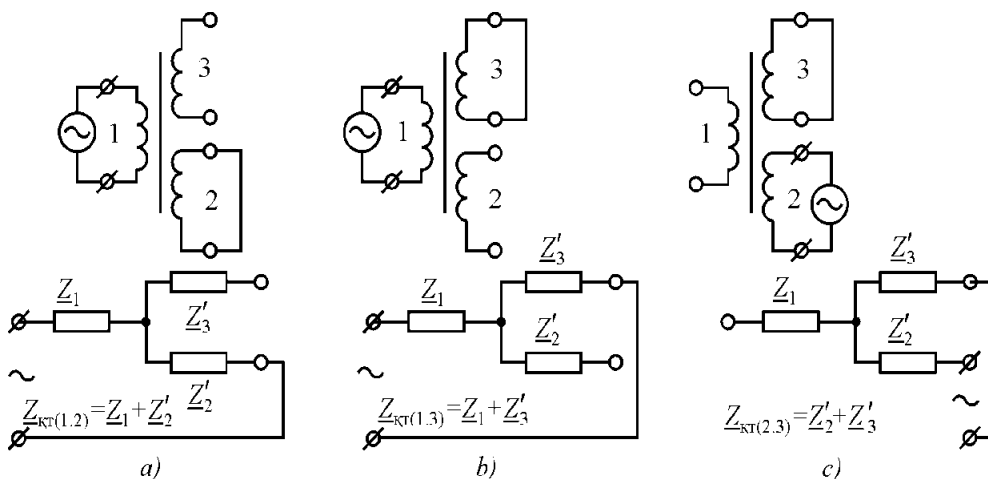
2) salt ishlash toki $I_{0.N}$ (yoki $i_{0(\%)} = I_{0.N}/I_{1.N}$);

3) salt ishlash isroflari $P'_{0.N}$ aniqlanadi (uning qiymati uchta tajriba uchun ham bir xil bo'ladi).

Qisqa tutashuv tajribasi. Uch chulg'amli transformatorning to'la qarshiliklari (Z_1, Z'_2, Z'_3), ularning aktiv (r_1, r'_2, r'_3) va reaktiv (x_1, x'_2, x'_3) tashkil etuvchilarini tajribada aniqlashda uchta qisqa tutashuv tajribasi o'tkaziladi va nominal tokka to'g'ri kelgan ma'lumotlar dan foydalangan holda to'la qisqa tutashuv qarshiliklari ($Z_{qt(1.2)}, Z_{qt(1.3)}, Z'_{qt(2.3)}$), ularning aktiv ($r_{qt(1.2)}, r_{qt(1.3)}, r'_{qt(2.3)}$) va reaktiv ($x_{qt(1.2)}, x_{qt(1.3)}, x'_{qt(2.3)}$) tashkil etuvchilari aniqlanadi. Bular quyidagicha amalga oshiriladi:

1. Uchinchi chulg'ami ochiq qoldirilgan holda, ikkinchi chulg'amini qisqa tutashtirib, birlamchi chulg'amga pasaytirilgan kuchlanish beriladi va to'la qisqa tutashuv qarshiligi $Z_{qt(1.2)}$, uning aktiv $r_{qt(1.2)}$ va induktiv $x_{qt(1.2)}$ tashkil etuvchilari aniqlanadi:

$$a) Z_{qt(1.2)} = Z_1 + Z'_2; \quad b) r_{qt(1.2)} = r_1 + r'_2; \quad c) x_{qt(1.2)} = x_1 + x'_2. \quad (1.15)$$



1.26-rasm. Uch chulg'amli transformatorlarda qisqa tutashuv tajribalarini o'tkazish sxemalari (a, b, c)

2. Ikkinchi chulg‘ami ochiq qoldirilgan holda, birinchi va uchinchi chulg‘amlarda tajriba o‘tkaziladi, ya’ni uchinchi chulg‘am qisqa tutashtirilib, birinchi chulg‘amga pasaytirilgan kuchlanish beriladi va to‘la qisqa tutashuv qarshiligi $Z_{qt(1.3)}$, uning aktiv $r_{qt(1.3)}$ va induktiv $x_{qt(1.3)}$ tashkil etuvchilari aniqlanadi:

$$a) Z_{qt(1.3)} = Z_1 + Z'_3; \quad b) r_{qt(1.3)} = r_1 + r'_3; \quad c) x_{qt(1.3)} = x_1 + x'_3. \quad (1.16)$$

3. Birinchi chulg‘am ochiq qoldirilgan holda, uchinchi chulg‘am qisqa tutashtirilib, ikkinchi chulg‘amga pasaytirilgan kuchlanish beriladi va to‘la qisqa tutashuv qarshiligi $Z'_{qt(2.3)}$, uning aktiv $r'_{qt(2.3)}$ va induktiv $x'_{qt(2.3)}$ tashkil etuvchilari aniqlanadi:

$$a) Z'_{qt(2.3)} = Z'_2 + Z'_3; \quad b) r'_{qt(2.3)} = r'_2 + r'_3; \quad c) x'_{qt(2.3)} = x'_2 + x'_3. \quad (1.17)$$

(1.15, a), (1.16, a) va (1.17, a) tenglamalarni birgalikda echib transformator chulg‘amlarining to‘la (Z_1, Z'_2, Z'_3) qarshiliklari quyidagicha hisoblanadi:

$$\left. \begin{aligned} Z_1 &= \left(\frac{1}{2}\right) [Z_{qt(1.2)} + Z_{qt(1.3)} - Z_{qt(2.3)}]; \\ Z'_2 &= \left(\frac{1}{2}\right) [Z_{qt(1.2)} + Z'_{qt(2.3)} - Z_{qt(1.3)}]; \\ Z'_3 &= \left(\frac{1}{2}\right) [Z_{qt(1.3)} + Z'_{qt(2.3)} - Z_{qt(1.2)}]; \end{aligned} \right\} \quad (1.18)$$

(1.15,b), (1.16,b) va (1.17,b) tenglamalarni birgalikda yechib transformator chulg‘amlarining aktiv (r_1, r'_2, r'_3) qarshiliklari, (1.15, c), (1.16, c) va (1.17, c) tenglamalarni birgalikda yechish orqali esa ularning induktiv (x_1, x'_2, x'_3) qarshiliklari (1.19) tenglamalar sistemasi bo‘yicha aniqlanadi:

$$\left. \begin{aligned} r_1 &= \frac{[r_{qt(1.2)} + r_{qt(1.3)} - r'_{qt(2.3)}]}{2}; & x_1 &= \frac{[x_{qt(1.2)} + x_{qt(1.3)} - x'_{qt(2.3)}]}{2}; \\ r'_2 &= \frac{[r_{qt(1.2)} + r'_{qt(2.3)} - r_{qt(1.3)}]}{2}; & x'_2 &= \frac{[x_{qt(1.2)} + x_{qt(2.3)} - x_{qt(1.3)}]}{2}; \\ r'_3 &= \frac{[r_{qt(1.3)} + r'_{qt(2.3)} - r_{qt(1.2)}]}{2}; & x'_3 &= \frac{[x_{qt(1.2)} + x'_{qt(2.3)} - x_{qt(1.2)}]}{2}. \end{aligned} \right\} \quad (1.19)$$

(1.19) da x_1, x'_2, x'_3 – mos ravishda YK, O‘K va PK chulg‘amlarining tarqoq oqimlari tufayli hosil bo‘ladigan ekvivalent induktiv qarshiliklar. Mazkur qarshiliklar va asosan, ularga bog‘liq holda o‘zgaradigan qisqa tutashuv kuchlanishlari $(u_{qt(1.2)}, u_{qt(1.3)}, u_{qt(2.3)})$ ham chulg‘amlarning o‘zakda o‘zaro joylashuviga bog‘liq bo‘ladi.

Ta'kidlash lozimki, uch chulg'amli transformatorlardagi induktiv (x_1, x'_2, x'_3) qarshiliklar ikki chulg'amli transformatornikidan farqli holda faqat tegishli chulg'amning tarqoq magnit oqimi tufayli byjudga kelmay, balki chulg'amlarning o'zinduktivliklari va uchta juft chulg'amlar o'zaro induktivliklarini ifodalovchi ekvivalent induktiv qarshiliklardir. o'zakka nisbatan o'rtada joylashtirilgan chulg'am tarqoq magnit maydonining o'ziga xos xususiyatidan kelib chiqqan holda, uning induktiv qarshiligi ayrim hollarda manfiy qiymatga ega bo'lishi ham mumkin.

$r_{qt(1.2)}, r_{qt(1.3)}, r'_{qt(2.3)}$ va r_1, r'_2, r'_3 aktiv qarshiliklar transformator YK, O'K va PK chulg'amlarining o'zaro joylashishiga deyarli bog'liq bo'lmaydi.

Magnitlovchi shoxobchanning qarshiligi Z_0 ning qiymati zarur bo'lgan holda, uni salt ishlash tajribasidan ikki chulg'amli transformatorniki kabi aniqlash mumkin.

Ilgari uch chulg'amli transformatorlarning YK/O'K/PK chulg'amlarining quvvatlari YK chulg'ami quvvatiga nisbatan quyidagi variantlarda:

a) 1,0 / 1,0 / 1,0; b) 1,0 / 0,667 / 1,0; c) 1,0 / 0,667 / 0,667 tayyorlangan.

Bunday kuch transformatorlarining chulg'amlarini «b» va «c» variantlarda tayyorlash uchun mis kam sarflansa ham, ularni amalda samarali ishlatish imkoniyati nisbatan cheklangan, chunki ikkilamchi chulg'amlardan bittasiga yoki ikkalasiga ham to'la quvvatning 66,7 foizini yo'naltirish mumkin bo'lar edi. Shuning uchun standart tavsiyasi bo'yicha zamonaviy uch chulg'amli kuch transformatorlarida chulg'amlarining quvvatlari faqat «a» varianti bo'yicha, ya'ni har bittasi 100 foiz quvvatga mo'ljallab tayyorlanadi. Bunda transformator 100 foiz quvvatni ikkilamchi chulg'amlardan bittasiga beradi yoki bu quvvat ikkinchi va uchinchi chulg'am quvvatlarining yig'indisiga teng bo'ladi.

Chulg'amlarning o'zakda joylashtirish ketma-ketligi transformator qisqa tutashuv kuchlanishlari qiymatiga ta'sir qiladi. Masalan, ТДТН-40000/110 tipli katta quvvatli transformatorida chulg'amlar o'zakda PK-O'K-YK ketma-ketlikda joylashtirilganda ularning qisqa tutashuv kuchlanishlari $u_{qt(1.2)}=10,5$, $u_{qt(1.3)}=17,5$ va $u_{qt(2.3)}=6,5$ foizlarga bo'lsa, O'K-PK-YK ketma-ketlikda

joylashtirilganda esa $u_{qt.(1.2)}=17,5$, $u_{qt.(1.3)}=10,5$ va $u_{qt.(2.3)}=6,5$ foizlarga teng bo'ladi.

Shuni ta'kidlash lozimki, kuchlanishi $U \geq 220$ kV bo'lgan umumiy maqsadli uch chulg'amli kuch transformatorlarida qisqa tutasuv kuchlanishlari oshadi. Masalan, TДTH–40000/220 tipli katta quvvatli transformatorida chulg'amlar o'zakda PK–O'K–YK ketma-ketlikda joylashtirilganda ularning qisqa tutashuv kuchlanishlari $u_{qt.(1.2)}=12,5$, $u_{qt.(1.3)}=22,0$ va $u_{qt.(2.3)}=9,5$ foizlarga teng bo'ladi.

Yuklama ulangan uch chulg'amli transformator ikkinchi va uchinchi chulg'am kuchlanishlarining o'zgarishi quyidagi formulalar bilan aniqlanadi:

$$\left. \begin{aligned} \Delta U_{1.2}(\%) &= \left[\frac{(U_1 - U'_2)}{U_1} \right] 100; \\ \Delta U_{1.3}(\%) &= \left[\frac{(U_1 - U'_3)}{U_1} \right] 100; \end{aligned} \right\} \quad (1.20)$$

Almashtirish sxemadan va vector diagrammadan ko'rinishicha uch chulg'amli transformator ikkilamchi kuchlanishlarining o'zgarishlari ($\Delta U_{1.2}$ va $\Delta U_{1.3}$) mos ravishda ikkinchi va uchinchi chulg'amdan o'tadigan yuklama toklari (I_2 va I_3)ga bog'liq ekan.

Foydali ish koeffitsiyenti. Uch chulg'amli transformatorida ikkinchi va uchinchi chulg'amlari to'la quvvatlarining transformator nominal quvvati bilan o'zaro bog'lanishi quyidagicha, ya'ni $S_2 = k_{yu.2} S_N$, $S_3 = k_{yu.3} S_N$ ekanligini hisobga olgan holda yuklamaning ixtiyoriy kattaligi uchun uning FIK (1.21) formula bo'yicha aniqlanadi. Bu formulada $k_{yu.1} = I_1 / I_{1N}$, $k_{yu.2} = I_2 / I_{2N}$, $k_{yu.3} = I_3 / I_{3N}$ – mos ravishda birlamchi, ikkinchi va uchinchi chulg'amlarning yuklama koeffitsiyentlari;

$$\eta_{\%} = \left[1 - \frac{P'_{0N} + mI_{1N}^2 (k_{yu.1}^2 r_1 + k_{yu.2}^2 r_2' + k_{yu.3}^2 r_3')}{S_N (k_{yu.2} \cos \varphi_2 + k_{yu.3} \cos \varphi_3) + mI_{1N}^2 (k_{yu.1}^2 r_1 + k_{yu.2}^2 r_2' + k_{yu.3}^2 r_3')} \right] 100 \quad (1.21)$$

bunda: $mI_{1N}^2 (k_{yu.1}^2 r_1 + k_{yu.2}^2 r_2' + k_{yu.3}^2 r_3')$ – elektr isroflari; P'_{0N} – transformatorga nominal kuchlanish berilgandagi salt ishlash isroflari; S_N – transformatorning to'la nominal quvvati; $\cos \varphi_2$ va $\cos \varphi_3$ – yuklamalarning quvvat koeffitsiyentlari.

Ikkinchi va uchinchi chulg'am quvvat koeffitsiyentlari $\cos\varphi_2=\cos\varphi_3=1$ bo'lganda uch chulg'amli transformatorlarning FIK $\eta=98,25\div 99,25$ foiz bo'ladi.

Standart tavsiyasi bilan uch fazali uch chulg'amli transformatorlarda Y/Y_N/Δ -0-11 yoki Y_N/Δ/Δ -11-11, bir fazali uch chulg'amli transformatorlarda esa I/I/I - 0 - 0 guruhlar ishlatiladi.

1.10. CHULG'AMLARI IKKITA TENG QISMGA BO'LINGAN TRANSFORMATORLAR

Bo'lingan chulg'am ikkita mustaqil elektr jihatdan bog'lanmagan qismlardan iborat bo'lganligi tufayli bunday transformator mohiyatiga ko'ra ko'p chulg'amli hisoblanadi. Mazkur transformatorning uch chulg'amli transformatoridan farqi shundan iboratki, unda bitta bo'lingan qismdan ikkinchisiga energiya uzatish talab qilinmaydi.

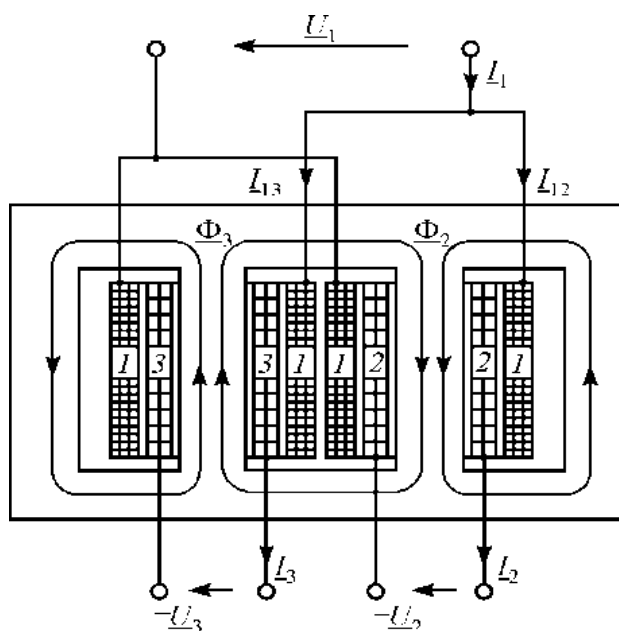
Ikkilamchi chulg'ami ikkita teng qismga (2 va 3) bo'lingan bir fazaliikki chulg'amli transformatorning tuzilishi 1.27-rasmda ko'rsatilgan. Magnit o'tkazgichi zirh – o'zakli konstruksiyadan iborat. Past kuchlanishli chulg'am qismlari har xil o'zakda joylashti riladi.

Yuqori kuchlanishli chulg'am (1) ikkita parallel shoxobchadan iborat bo'lib, ular ham har xil o'zaklarda joylashtiriladi, lekin ular o'zaro elektr jihatdan ulanganligi tufayli birlamchi chulg'am bo'lingan hisoblanmaydi.

Past kuchlanishli chulg'am qismlari bunday joylanganda ular orasida magnit bog'lanish e'tiborga olmasa ham bo'ladigan darajada kam bo'lib, 2-tarmoqdan 3-tarmoqqa magnit maydon orqali energiya uzatish deyarli amalga oshmaydi va shu sababli mazkur transformator ikkita alohida olingan transformator sifatida qaralib, ulardan bittasi 1-tarmoqni ikkinchisi bilan, ikkinchi transformator esa 1-tarmoqni 3-tarmoq bilan bog'laydi.

Past kuchlanishli chulg‘amning bir qismi (masalan, 2) ga yuklama ulanganda, faqat shu o‘zakda joylashgan yuqori kuchlanishli (1) chulg‘am parallel shoxobchasigina yuklanadi.

Bunday transformator elektr energiyani teskari yo‘nalishda ham, ya’ni past kuchlanishli chulg‘aming ikkita qismini birlamchi chulg‘am sifatida ishlatib, har bittasiga alohida ishlayotgan generatorlardan elektr energiya berilsa, bitta Yk chulg‘ami elektr uzatish liniyasiga ulangan holda ishlashi mumkin.



1.27-rasm. Past kuchlanishli chulg‘ami teng ikkiga bo‘lingan bir fazali ikkichulg‘amli transformator

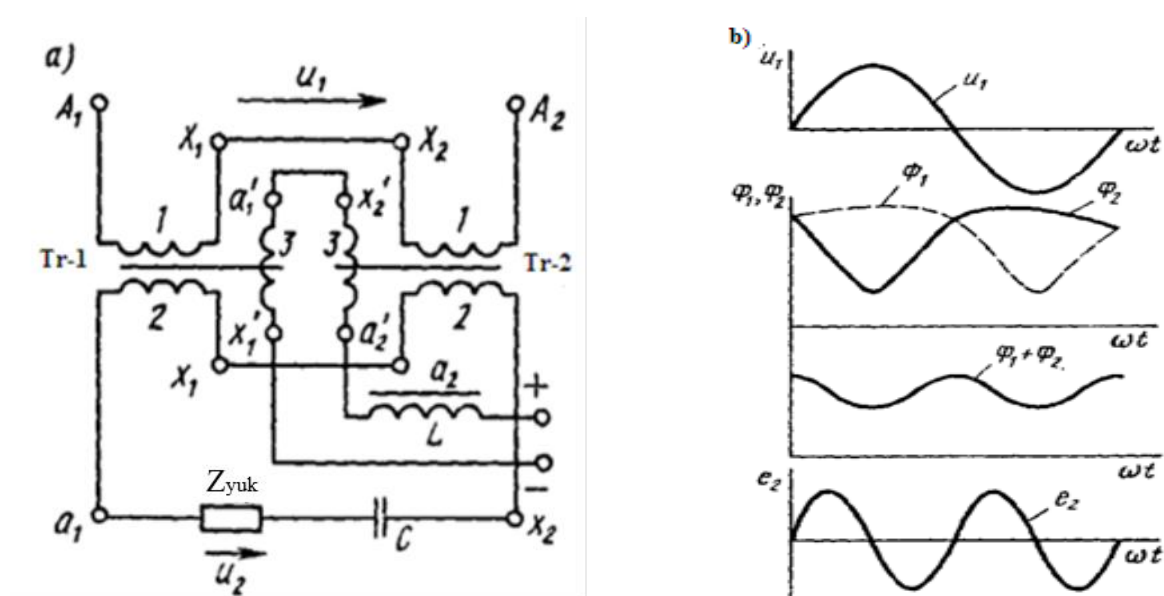
Past kuchlanishli chulg‘ami bo‘lingan transformatorning afzalligi shundaki, ikkinchi tarmoqda qisqa tutashuv bo‘lgandagi to‘la qisqa tutashuv qarshiligi $Z_{qt.(1.2)} = Z_{qt.(1.3)}$ bo‘lib, odatdagi ikki chulg‘amli kuch transformatorini ikkinchi va uchinchi tarmoqlar parallel ulanib ishlatilganga nisbatan 2 baravar katta bo‘ladi. Demak, mazkur rejimda transformator elektr tarmog‘idan 2 marta kam tok iste’mol qiladi.

1.11. CHASTOTANI O‘ZGARTIRUVCHI TRANSFORMATORLAR

Chastotani 2 va 3 marta oshiradigan transformatorlar sxemalari amalda ko‘p ishlatiladi.

Chastotani ikki marta oshirish. Bu qurilma $Tr-1$ va $Tr-2$ lardan iborat bo‘lib, har bir transformator uchtdan chulg‘amga ega, birlamchi chulg‘am 1,

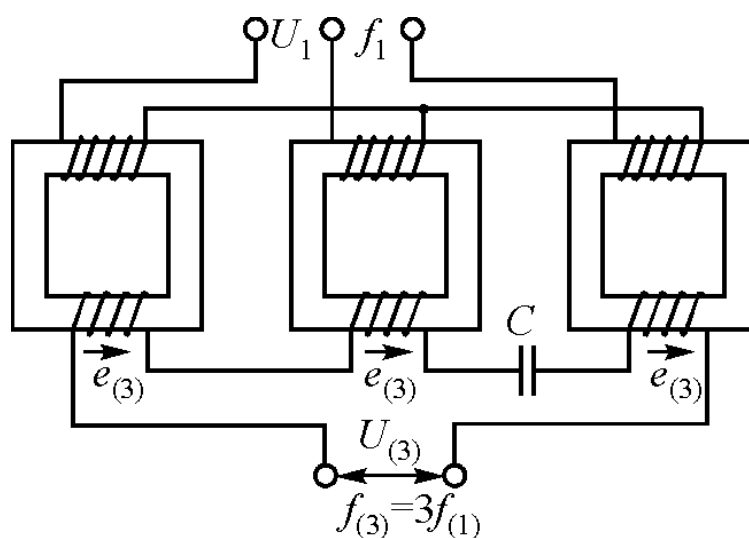
qo'shimcha magnetlovchi chulg'am 3 va 2 ikkilamchi chulg'am. Transformatorlarning birlamchi chulg'amlari teskari tartibda ketma-ket ulanadi, qo'shimcha magnetlovchi va ikkilamchi chulg'amlar to'g'ri ketma-ket ulanadi (1.11.1,a-rasm). Shuning uchun ta'minlovchi kuchlanish U_1 o'zgarishining birinchi yarim davri davomida transformatorlarning biriga $F_{um} + F_{\mu}$, boshqasiga ularning ayirmasi ($F_{um} - F_{\mu}$) ga teng bo'lgan magnetlovchi kuch ta'sir etadi. Bu erda: F_{um} va F_{μ} qo'shimcha magnetlaydigan va birlamchi chulg'amning magnetlovchi kuchlari. Natijada birinchi transformatorning o'zagi to'yingan holda bo'ladi, magnet oqimining Φ_1 , o'zgarish egri chizig'i yapaloqlashadi; ikkinchi o'zakdagi Φ_2 ning egri chizig'ida oqim kamayib ketadi. Keyingi yarim davrda F_{μ} ning yo'nalishi o'zgaradi, F_{um} ilgarigidagicha qoladi. Oqimlar Φ_1 va Φ_2 ning o'zgarishi ham almashinadi. Ular bir-biridan 180° ga siljiydi va nosimmetrik bo'ladi. Demak, ularda toq va juft garmonikalar bo'lmaydi. Birlamchi chulg'amda EYK E_1 oqimlar Φ_1 va Φ_2 ning ayirmasi bilan hosil qilinadi. Bu ayirma oqim chastota f_1 bilan o'zgaradi. Ketma-ket ulangan ikkilamchi chulg'amlarda yig'indi EYK yig'indi oqim $\Phi_1 + \Phi_2$ ta'sirida hosil qilinadi hamda bu EYK birinchi va toq garmonikalarga ega bo'lmaydi. Shuning uchun ikkilamchi chulg'am U_2 kuchlanish Φ_1 va Φ_2 oqimlarning ikkinchi garmonikasi bilan aniqlanadi, ya'ni ikki marta ortiq chastota bilan o'zgaradi (chastotasi $2f_1$ bo'ladi).



1.28-rasm. Chastotani ikki karra ko'paytiruvchi transformatorning a) sxemasi va kuchlanish, magnet oqimi va EYK lar o'zgarish grafigi b)

Qo‘shimcha magnitlaydigan chulg‘amdagi tokni rostlab, qurilmaning chiqish kuchlanishi U_2 ni o‘zgartirish mumkin bo‘ladi. Qo‘shimcha magnitlaydigan chulg‘amdan o‘zgaruvchan tok o‘tmasligi uchun, bu zanjirga drosel ulanadi. Ikkilamchi chulg‘amda kuchlanish pasayishini kompensatsiyalash uchun yuklama qarshiligi Z_N bilan ketma-ket sig‘im C ulanadi. Sig‘im qurilmaning quvvat koeffitsientini oshiradi.

Chastotani uch marta oshirish. Chastotani uch marta oshirish uch fazali tarmoqqa ulangan transformatorning po‘lat o‘zagi to‘yinganda hosil bo‘ladigan uchinchi garmonikalardan foydalanishga asoslangan. Transformatorning ikkilamchi chulg‘ami uchburchak usulida ulanganda ayrim fazalarda EYK uchinchi garmonikasining o‘zgarishi bir xil bo‘ladi va shu chulg‘amlardan chastotasi uch marta ortiq tok o‘ta boshlaydi. Demak, transformator ishlaganda uning po‘lat o‘zagini to‘yingan holda bo‘ladigan qilib tayyorlanadi (bunda uchinchi garmonika EYK katta bo‘ladi) va ikkilamchi chulg‘amlarni ochiq uchburchak usulida ulanadi (1.29-rasm), bunda ikkilamchi chulg‘amga ulangan yuklama (Z_N) ga chastotasi $2f_1$ bo‘lgan kuchlanish berilishi mumkin. Uch fazali transformator o‘rnida uchta bir fazali transformator ishlatilishi ham mumkin.



1.29-rasm. O‘zgaruvchan tok chastotasini uch karra oshirish uchun transformator sxemasi

Chastota uch marta ortganda transformatorlarda kuchlanish pasayishi ancha ko'payadi. Kuchlanish pasayishi kompensatsiyalash uchun Z_N ga ketma-ket qilib sig'im C ulanadi. Chastotani 4, 6 va 8 marta oshiruvchi apparatlar ham amalda qo'llaniladi.

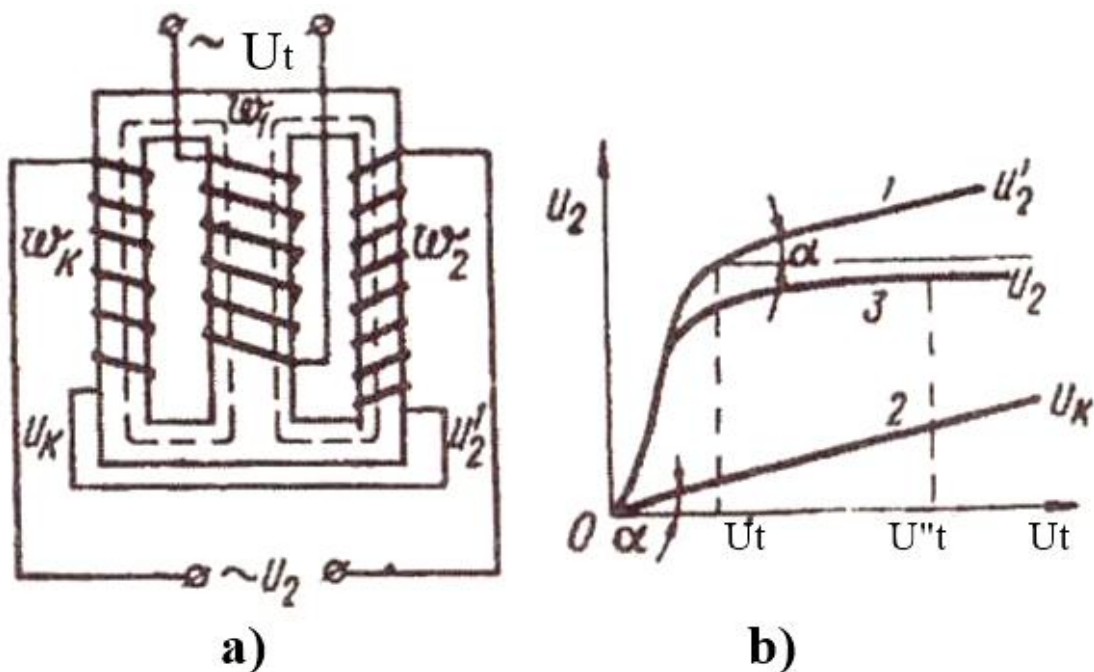
1.12. KUHLANISH STABILIZATORLARI

Ma'lumki, elektr tarmog'ida kuchlanish qiymati doimo o'zgarib turadi. Ba'zi elektrotexnik qurilmalar tarmoq kuchlanishining qiymati doim bir xil bo'lishini talab qiladi. Zanjirdagi kuchlanish qiymatini bir xilda saqlaydigan apparat kuchlanish stabilizatori deyiladi. Odatda o'rtacha quvvatli qurilmalarda turli prinsipda ishlaydigan elektromagnit stabilizatorlar ishlatiladi. Bulardan asosiylari quyidagilar:

- 1) to'yingan temir o'zakli yoki ferromagnitli stabilizator;
- 2) kuchlanish yoki toklar rezonansi asosida ishlaydigan, ya'ni ferrezonans stabilizator.

I. *To'yingan temir o'zakli stabilizatorlar.* Ferromagnit stabilizator uch o'zakli va uch chulg'amli (maxsus konstruksiyadagi) transformatoridan iborat bo'ladi, o'rtadagi sterjenda o'ramgan chulg'am (o'ramlar soni w_1) birlamchi chulg'am hisoblanadi (1.30-rasm). Bu chulg'am kuchlanishli tarmoqqa ulanadi. O'ngdagi sterjeni o'rtadagi o'zakdan ingichkaroq bo'lib, unga transformatorning ikkilamchi chulg'ami (o'ramlar soni w_2) o'raladi. Stabilizator ishlaganda bu sterjen (ingichka bo'lgani uchun) to'la to'yinadi. Chapdagi sterjeniga kompensatsiyalovchi chulg'am (o'ram soni w_k) o'raladi. Bu chulg'am ikkilamchi chulg'am bilan ketma-ket ulanadi. Ba'zida kompensatsiyalovchi chulg'ami o'radgan sterjen qo'zg'aluvchan qilib tayyorlanadi. Asosiy temir o'zak (birlamchi chulg'am) bilan bu sterjen orasidagi masofa (havo oraliq) ni o'zgartirib, kompensatsiyalovchi chulg'am o'ramlarini kesib o'tuvchi magnit oqimi qiymati o'zgartiriladi.

Tarmoq kuchlanishi o'zgarganda o'rtadagi sterjenda magnit oqimi o'zgaradi, lekin o'ngdagi sterjen to'yinganligi uchun unda magnit oqimining qiymati deyarli o'zgarmayli. Shuning uchun ham tarmoq kuchlanishi o'zgarganda ikkilamchi chulg'am kuchlanishi deyarli o'zgarmaydi (1.30-rasm, b, 1-egri chiziq).



1.30-rasm. To'yingan magnit o'zakli transformatorlar

Kompensatsiyalovchi chulg'am kuchlanishi U_k yo'nalishi ikkilamchi chulg'am kuchlanishi U'_2 yo'nalishiga qarama-qarshi bo'ladi. SHuning uchun tarmoq kuchlanishi U_t o'zgarganda U''_2 ning ozgina o'zgarishini kompensatsiyalovchi chulg'am kuchlanishi butunlay yo'qotadi. 1.30-rasm, b da kompensatsiyalovchi chulg'am kuchlanishining tarmoq kuchlanishi U_t ga bog'lanishi 2-to'g'ri chiziq bilan ko'rsatilgan.

Stabilizatoridan olinadigan kuchlanish quyidagicha aniqlanadi:

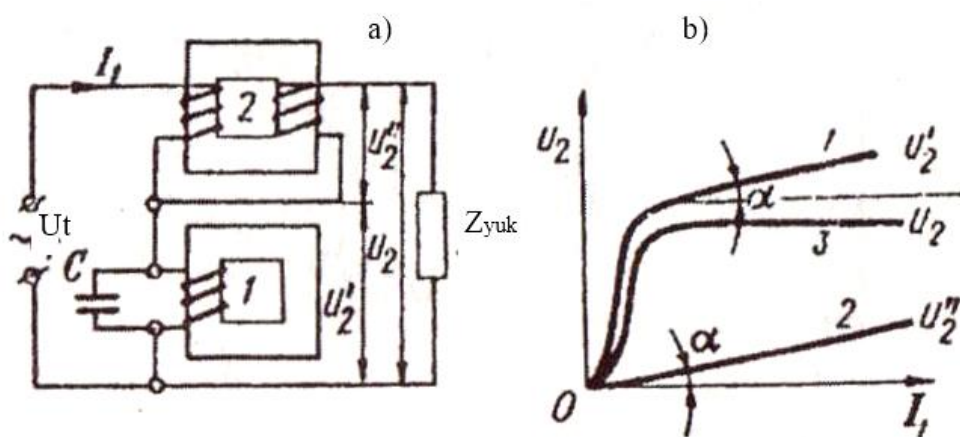
$$U_2 = U'_2 - U_k.$$

Natijada tarmoq kuchlanishi chekli diapazonda har qanday o'zgarsa ham iste'molchi oladigan kuchlanish o'zgarmay qolaveradi. Tarmoq kuchlanishi noldan maksimal qiymatigacha o'zgarganda ikkilamchi chulg'am kuchlanishi U_2 tez ortadi (3-egri chiziq), so'ngra to'yinishga yaqinlashganda uning o'sishi juda

sekinlashadi. Lekin kompensatsiyalovchi chulg'am kuchlanishi U_k tarmoq kuchlanishi U_t ga proporsional ortadi. Transformator chulg'am va o'zklari parametrlarini to'g'ri tanlash yo'li bilan egri chiziq 1 qiyaligining (U bilan gorizontaal chiziq orasidagi α burchak) egri chiziq 2 qiyaligiga (U_k va U_t orasidagi α burchakka) barobar bo'lishiga erishiladi. Faqat shundagina stabilizatoridan olingan kuchlanish U_2 kkilamchi chulg'am kuchlanishlar U'_2 va U_k ning yig'indisiga teng bo'ladi va uning qiymati tarmoq kuchlanishi qiymatiga bog'liq bo'lmaydi. SHunday qilib (qarshiligi o'zgarmas bo'lganda), tarmoq kuchlanishi nominal qiymatidan $\pm 20\%$ ga o'zgarganda stabilizatoridan iste'molchi oladigan kuchlanish qiymati faqat $\pm 3\%$ ga o'zgaradi. Bunda tarmoq kuchlanishining chastotasi ham bir xil bo'ladi.

Stabilizator konstruksiyasi oddiy, mustahkam va inersiyasiz asbob hisoblanadi. Lekin bunday stabilizatorning FIK ($40\div 60\%$) va quvvat koeffitsienti ($0,4$) kichik, undan olinadigan kuchlanish sinusoidal dan boshqacharak, shaklga ega hamda bu kuchlanishning tarmoq chastotasiga bog'liqligi kamchiliklari hisoblanadi. Shuning uchun amalda sifati ancha yaxshi ferrezonans stabilieatorlar keng ishlatiladi.

2. *Ferrezonans stabilizatorlar.* Ferrezonans stabilizator reaktiv g'altak 1, S kondensator va avtotransformator 2 dan iborat (1.31-rasm, a). Stabilizatoridan olinadigan kuchlanish U_2 reaktiv g'altak kuchlanishi U'_2 hamda avtotransformatoridan olinadigan kuchlanishlar U''_2 ning ayirmasiga teng qilib olinadi, ya'ni $U_2 = U'_2 - U''_2$.



1.31 – rasm. Ferrezonans stabilizatorlar

G'altak kuchlanishi U'_2 toklar rezonansi hodisasi sababli tarmoq toki I_1 bilan egri chizikli bog'lanishli bo'ladi (1.31-rasm, 1-egri chiziq). O'zagi to'yinmaganligi uchun avtotransformatordan olinadigan kuchlanish U''_2 tarmoq toki I_1 ga proporsional bo'ladi (2-egri chiziq). Agar avtotransformator va reaktiv g'altak parametrlari egri chiziqning magnit to'yinishi qismida egri chiziq 1 bilan absissa o'qi orasidagi burchak α , ya'ni uning qiyaligi egri chiziq 2 qiyaligiga teng qilib olinsa, stabilizatoridan olinadigan kuchlanish o'zgarmay qolaveradi, ya'ni $U'_2 - U''_2 = \text{const}$ bo'ladi.

U holda stabilizatoridan olinadigan U_2 kuchlanish qiymati I_1 tokiga va, demak, tarmoq kuchlanishiga (U_t ga) bog'liq bo'lmaydi (2 egri chiziq). Odatda stabillash diapazoni U_t kuchlanishi nominal qiymatining 30% dan oshmaydi. Bunday stabilizatorning foydali ish koeffitsienti 80 ÷ 85% ga teng bo'ladi.

Stabilizatoridan olinadigan kuchlanishning tarmoq kuchlanishi chastotasiga hamda iste'molchining quvvat koeffitsienti ($\cos\varphi$) ga bog'liq bo'lishi, shuningdek, undan olinadigan kuchlanish shaklining sinusoidadan boshqacharoq bo'lishi ferrezonans stabilizatorlarning kamchiligi hisoblanadi.

1.13. AVTOTRANSFORMATORLAR

Chulg'amlari elektromagnit bog'lanishdan tashqari elektr bog'lanishga ham ega bo'lgan transformatorning bir turiga avtotransformator deb ataladi. Katta quvvatli yuqori kuchlanishli avtotransformatorlar (1.32-rasm) elektr energetika sistemasida kuchlanishlari bir-biriga yaqin bo'lgan ikkita elektr tarmog'ini bog'lash vazifasini bajarib, elektr quvvatini biridan ikkinchisiga o'tkazishda katta iqtisodiy samaraga erishiladi.

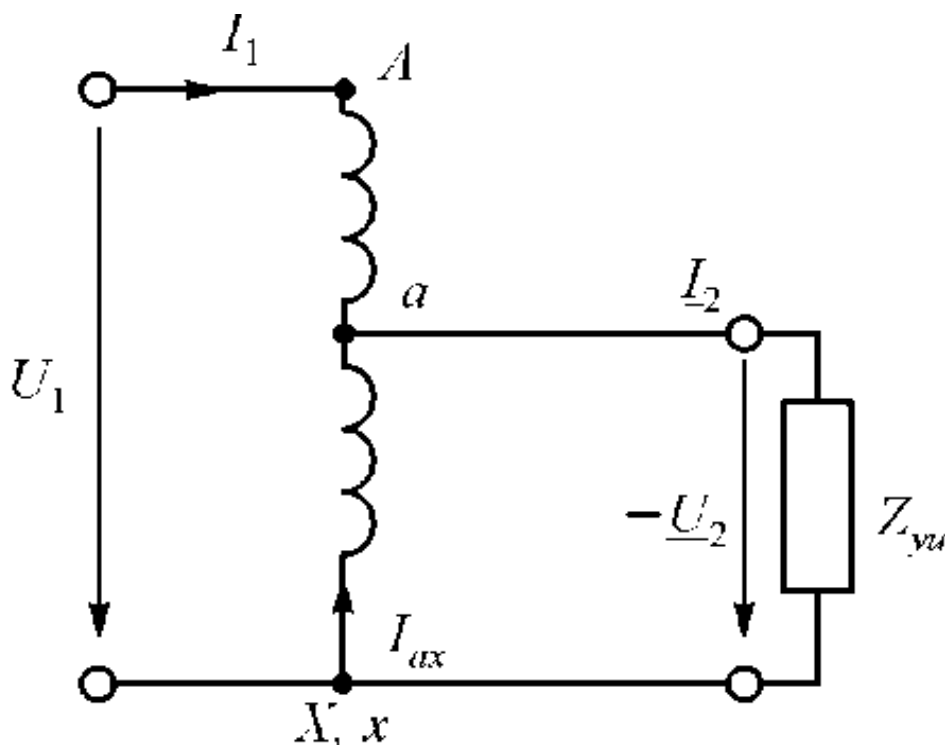
Transformatorlarda birlamchi chulg'amdan ikkilamchi chulg'amga to'la energiya elektromagnit vositasida berilsa, avtotransformatorlarda to'la energiyaning bir qismigina shu yo'l bilan uzatilib, energiyaning boshqa qismi esa uning birlamchi va ikkilamchi zanjirlari elektr jihatdan ulanganligi tufayli

bevosita beriladi. Bu avtotransformatorda elektr energiyani uzatish usulining o'ziga xos xususiyati hisoblanadi.

Avtotransformatorlar kuchlanishni pasaytiruvchi va oshiruvchi, bir fazali va uch fazali, ikki chulg'amli va uch chulg'amli turlarga bo'linadi. Agar avtotransformator chulg'amining «AX» uchlarini tarmoqqa ulab, uning «ax» qismiga iste'molchi ulansa – pasaytiruvchi avtotransformator (1.32-rasm), agarda «ax» qismini tarmoqqa ulab, «AX» uchlariga iste'molchi ulanganda – oshiruvchi avtotransformator bo'ladi.

Kam quvvatli (masalan, kuchlanishni rostlagich) avtotransformatorning bitta chulg'ami bo'lib, uning bir qismi ikkilamchi (yoki birlamchi) chulg'am vazifasini bajaradi. Bu holda chulg'am sirtidan sirpanuvchi kontaktlar yordamida ikkilamchi chulg'am o'ramlari sonini o'zgartirib kuchlanish rostlanadi.

Katta quvvatli yuqori kuchlanishli avtotransformatorlar uchun chulg'amlarning bunday konstruksiyasi to'g'ri kelmaydi, chunki kontaktlar katta tok yuklamasiga bardosh bera olmaydi. Shu sababli katta quvvatli avtotransformatordagi elektr jihatdan ulangan o'zakda bir xil balandlikda joylashtirilgan ikkita chulg'ami bo'ladi.



1.32-rasm.
Chulg'amining bir qismi ikkilamchi chulg'a vazifasini bajaradigan kam quvvatli pasaytiruvchi avtotransformatorning prinsipial sxemasi

Avtotransformatorni amaliyotda bajaradigan vazifasi nuqtai nazardan o'rganish muhim ahamiyat kasb etadi, chunki bunda ularning o'ziga xos xususiyatlari to'la ravishda namoyon bo'ladi.



1.33-rasm. Elektr energetikasi sistemasida ekspluatatsiya uchun o'rnatilgan katta quvvatli yuqori kuchlanishli bir fazali uch chulg'amli avtotransformator

1.14. AVTOTRANSFORMATORDA BO'LADIGAN ELEKTROMAGNIT JARAYONLAR

Ishlash prinsipi. Avtotransformatorning salt ishlash rejimidagi elektromagnit jarayon odatdagi transformatornikidan farq qilmaydi. Yuklama ulanmagan pasaytiruvchi avtotransformatorning (1.34-rasm) «AX» chulg'amiga (o'ramlar

soni w_{AX}) o'zgaruvchan kuchlanish U_1 berilganda undan salt ishlash toki $I_{0.A}$ o'tib, transformatoridagi singari o'zinduksiya EYK e_1 ni hosil qiladi. Salt ishlashda shu chulg'amning yuklama ulanadigan (o'ramlar soni w_{ax}) qismidagi EYK E_{ax} kelib chiqishiga ko'ra o'zinduksiya EYK bo'lib, E_{AX} ning bir qismini tashkil etadi (Izoh: Transformator ikkilamchi chulg'amida esa o'zaro induksiya EYK hosil bo'ladi).

Yuqori kuchlanishli chulg'am EYK $E_{YK}=E_1$ ni shu chulg'amning iste'molchiga ulanadigan past kuchlanishli qismi $E_{PK}=E_2$ ga bo'lib ko'rilayotgan variant uchun avtotransformatorning transformatsiyalash koeffitsiyenti k_A aniqlanadi:

$$k_A = k_W E_{YK} / E_{PK} = W_{AX} / W_{ax} \approx U_1 / U_2. \quad (1.22)$$

Salt ishlash rejimidan avtotransformatorning transformatsiyalash koeffitsiyenti k_A , salt ishlash toki $I_{0.N.A}$, isroflari $P'_{0.N.A}$ va almashtirish sxemasining parametrlarini aniqlash mumkin.

Pasaytiruvchi avtotransformatorga yuklama ulanganda chulg'aming birlamchi zanjiridan I_1 , ikkilamchi zanjiridan esa $I_2 > I_1$ tok o'tadi. Buholdagi avtotransformatorning ishi MYK va EYK muvozanat tenglamalaribilan xarakterlanadi. Avtotransformatorning MYK muvozanat tenglamasi quyidagicha yoziladi:

$$\underline{I}_1 w_1 + \underline{I}_2 w_2 = \underline{I}_0 w_1, \quad (1.23)$$

bu yerda I_0 - «A-X» chulg'amdan o'tuvchi magnitlovchi tok.

$\underline{I}_1 = \underline{I}_0 - \underline{I}_2 / k_A$ tok chulg'amning faqat «A-a» qismidan o'tib, ikkala chulg'am uchun umumiy bo'lgan «a-x» qismidan esa \underline{I}_1 va \underline{I}_2 toklarning geometrik yig'indisiga teng bo'lgan

$$\underline{I}_{ax} = \underline{I}_1 + \underline{I}_2 = \underline{I}_0 - \underline{I}_2 k_A + \underline{I}_2 = \underline{I}_0 + \underline{I}_2 (1 - 1/k_A) \quad (1.24)$$

tok o'tadi. \underline{I}_1 va \underline{I}_2 toklar faza jihatdan deyarli 180° bo'lgani tufayli ($I_0 \approx 0$) ularni algebraik ayirma ko'rinishida yozish mumkin:

$$\underline{I}_{ax} = \underline{I}_2 - \underline{I}_1. \quad (1.25)$$

Bundan ko‘rinishicha, pasaytirilgan avtotransformator chulg‘aming umumiy qismi «a – x» bo‘yicha o‘tayotgan tok \underline{I}_{ax} birlamchi zanjir toki \underline{I}_1 ga teskari, ikkilamchi zanjir toki \underline{I}_2 bilan esa mos yo‘nalgan bo‘ladi.

Ta‘kidlash lozimki, salt ishlash tokining qiymati juda ham kichik bo‘lganligidan uni hisobga olmaganda ($I_0 \approx 0$), chulg‘aming ketma-ket (A – a) va umumiy (a – x) qismlarining MYKlari miqdor jihatdan teng va faza jihatdan qarama-qarshidir:

$$\underline{I}_{Aa}W_{Aa} = \underline{I}_1(W_1 - W_2) = \underline{I}_1W_1 - \underline{I}_1W_2 = -\underline{I}_2W_2 - \underline{I}_1W_2 = -(\underline{I}_1 + \underline{I}_2)W_2 = -\underline{I}_{ax}W_{ax},$$

demak,

$$\underline{I}_{Aa}W_{Aa} = -\underline{I}_{ax}W_{ax}. \quad (1.26)$$

Chulg‘aming ketma-ket (A–a) qismi uchun EYKlar muvozanat tenglamasi quyidagi ko‘rinishga ega:

$$\underline{U}_{Aa} = -\underline{E}_{Aa} - \underline{E}_{\sigma(Aa)} + \underline{I}_1 \cdot r_{Aa}. \quad (1.27)$$

Chulg‘aming ketma-ket qismida asosiy magnit oqim hosil qiladigan EYK $E_{(Aa)}$:

$$\underline{E}_{Aa} = \underline{E}_1(W_1 - W_2) / W_1 = \underline{E}_1(1 - 1/k_A), \quad (1.28)$$

tarqoq magnit oqim hosil qiladigan EYK esa $E_{\sigma(Aa)} = -j \underline{I}_1 \cdot X_{(Aa)}$.

Chulg‘aming umumiy (a–x) qismi uchun EYKlar muvozanat tenglamasi quyidagicha yoziladi:

$$\underline{U}_{ax} = \underline{U}_2 - \underline{E}_2 - \underline{E}_{\sigma(ax)} + \underline{I}_{ax} \cdot r_{ax}. \quad (1.29)$$

Chulg‘aming umumiy qismida asosiy magnit oqim hosil qiladigan EYK:

$$\underline{E}_{ax} = \underline{E}_2 = \underline{E}_1 W_2 / W_1 = \underline{E}_1 / k_A \quad (1.30)$$

va tarqoq magnit oqim hosil qiladigan EYK $E_{\sigma(ax)} = -j \underline{I}_{ax} X_{(ax)}$.

Agar avtotransformatorning transformatsiyalash koeffitsiyenti 1 ga yaqin ($k_A > 1$) bo‘lsa, \underline{I}_1 va \underline{I}_2 toklar bir-biridan kam farq qilib, ularning ayirmasi kichik qiymatni tashkil etadi. Bu hol avtotransformator chulg‘aming umumiy (a–x) qismini kesimi kichik bo‘lgan simdan tayyorlashga imkon beradi.

Avtotransformatordagi isroflarni hisobga olmaganda uning kirishidagi ($S_1 = U_1 I_1$) va chiqishidagi ($S_2 = U_2 I_2$) quvvatlarni tenglaymiz:

$$U_1 I_1 = U_2 I_2 = S_o. \quad (1.31)$$

Chulgʻam ikkilamchi zanjirining chiqishidagi toʻla quvvat S_2 ni «oʻtuvchi quvvat ($S_{o't.}$)» deyiladi.

Bundan tashqari, avtotransformatorda birlamchi zanjirdan ikkilamchisiga magnit maydoni vositasida uzatiladigan hisobiy ($S_h=S_{em}$) quvvat ham mavjuddir. Buni hisobiy quvvat deyilishiga sabab shuki, avtotransformatorning gabarit oʻlchamlari va ogʻirligi shu quvvat kattaligiga bogʻliq boʻladi.

Demak, avtotransformatorda hisobiy quvvat oʻtuvchi quvvatning birqismini tashkil etib, qolgan qismi esa elektr bogʻlanish hisobiga chulgʻamning birlamchi zanjiridan ikkilamchi zanjiriga uzatiladi.

Buni tasdiqlash uchun oʻtuvchi quvvat ($S_{o't.}=S_2=U_2I_2$) ni tashkil etuvchilarga ajratamiz. (1.24) tenglamadan tok I_2 ni topib, uning qiymati ($I_2=I_1+I_{ax}$) ni oʻtuvchi quvvat formulasi (1.31)ga qoʻyamiz:

$$S_{o't.}=U_2I_2=U_2(I_1+I_{ax})=U_2I_1+U_2I_{ax}=S_e+S_h. \quad (1.32)$$

1.15. KATTA QUVVATLI AVTOTRANSFORMATOR ISH JARAYONINING OʻZIGA XOS XUSUSIYATLARI

Katta quvvatli avtotransformatorda elektr jihatdan ulangan ikkita (parallel va ketma-ket) chulgʻami boʻladi (1.34, a-rasm).

1.34-rasmda past kuchlanishli (U) kirish tarmogʻidan kuchlanishi oshirilgan ($U'>U$) chiqish tarmogʻiga elektr energiyani uzatishda ishlatiladigan bir fazali oshiruvchi avtotransformatorning prinsipial sxemasi ikki tasvirda (1.34, c va d-rasm) koʻrsatilgan.

Avtotransformatorda oʻramlar soni w_1 boʻlgan bitta chulgʻami (koʻrilayotgan holda past kuchlanishli) elektr tarmoqqa parallel ulanib, oʻramlar soni w_2 boʻlgan ikkinchi chulgʻami esa unga ketma-ket ulanadi.

Elektr energetika sistemalarini bogʻlovchi katta quvvatli avtotransformatordalarda chulgʻamlarni «birlamchi» va «ikkilamchi» deb atalishi shartli ravishdagi tushunchadir, chunki bunday avtotransformatordalarning qaysi

chulgʻamiga energiya kiritilishini, qaysi biridan esa uning chiqarilishini ajratib olishning iloji boʻlmaydi. Shu sababli yuqori kuchlanishli yoki past kuchlanishli tarmoq kuchlanishiga bevosita ulangan chulgʻamni «umumiy (yoki parallel)» chulgʻam deb, energiya manbaiga yoki isteʼmolchiga ketma-ket ulangan chulgʻamni esa «ketma-ket» chulgʻam deb atalsa maqsadga muvofiq boʻladi. Umumiy chulgʻam uchlarining boshi va oxirlarini «A», «X», unga tegishli kattaliklarni «1» indeksi bilan, ketma-ket chulgʻam uchlarining boshi va oxirlarini «a», «x», unga oid kattaliklarni esa «2» indeksi bilan belgilaymiz. Bu chulgʻamlar oʻzakda birining tashqarisiga ikkinchisi qurshalgan holda joylashtiriladi (1.34, a-rasm).

Ketma-ket chulgʻamda hosil boʻladigan EYK E_2 tufayli avtotransformatorning birlamchi va ikkilamchi tomonlarida har xil (U va U') kuchlanish olish mumkin boʻladi. Oshiruvchi avtotransformatorda ketma-ket chulgʻamni kirish tarmogʻining «x» uchiga shunday ulash lozimki, bunda uning kuchlanishi U_2 birlamchi tarmoq kuchlanishi U ga qoʻshilib, uni U' gacha oshirsin, yaʼni:

$$\underline{U'} = \underline{U} + \underline{U}_2. \quad (1.33)$$

Avtotransformatorning ketma-ket chulgʻami kirish va chiqish tarmoqlari bilan kontaktda boʻlgani tufayli uning izolyatsiyasi YK tarmoq kuchlanishiga (koʻrilayotgan oshiruvchi avtotransformatorda U' ga) moʻljallab hisoblanishi lozim.

Avtotransformatordagi asosiy elektromagnit jarayonlarni oydinlashtirish maqsadida undagi kam qiymatli salt ishlash isroflari, kuchlanish pasayishlari va magnitlovchi tokni eʼtiborga olmagan holda quyidagi nisbatni yozish mumkin:

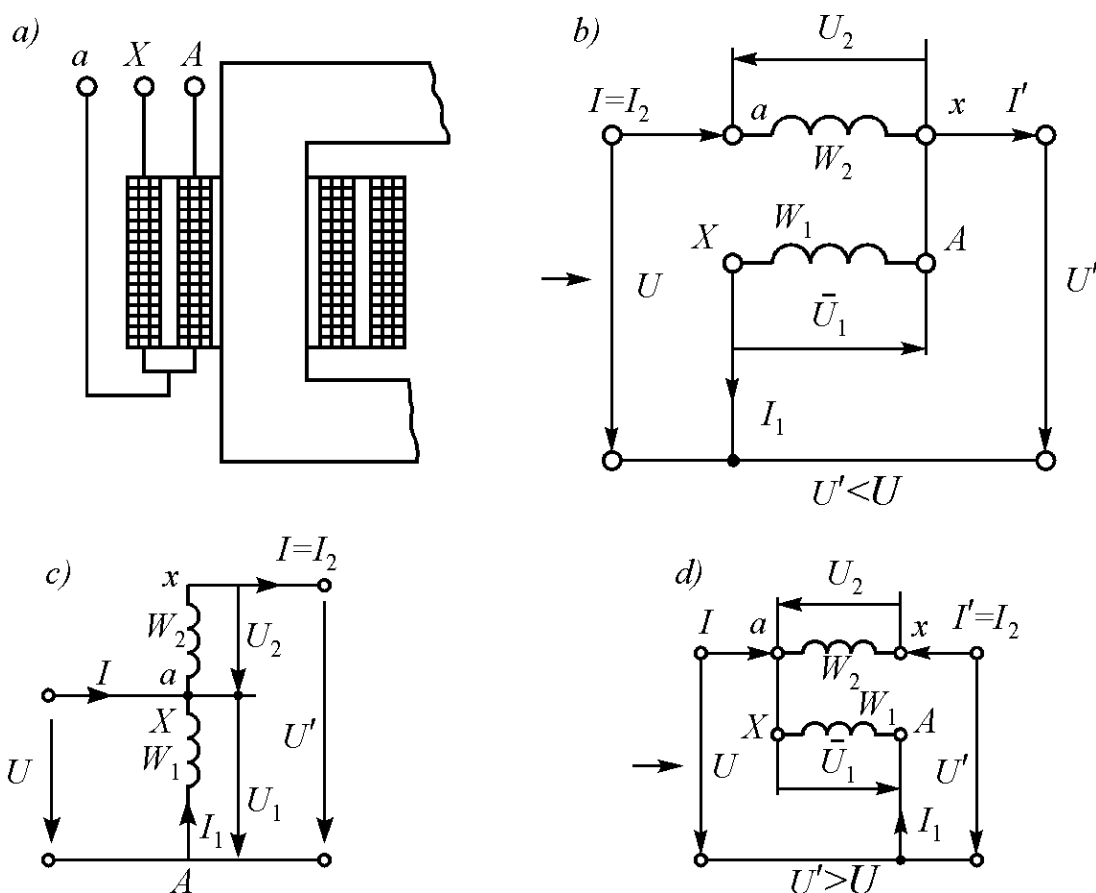
$$U / U' = E_1 / (E_1 + E_2) = 1 / (1 + 1 / k_w), \quad (1.34)$$

bu yerda

$$k_w = E_1 / E_2 = w_1 / w_2 \quad (1.35)$$

– avtotransformatorda chulgʻamlar oʻramlari sonlarining nisbati orqali ifodalangan *transformatsiyalash koeffitsiyenti*.

Shunday qilib, kuchlanishni o'zgartirish (oshirish yoki pasaytirish) xarakteri odatdagi kuch transformatorida chulg'amlar o'ramlari sonlarining nisbati orqali aniqlansa, kuch avtotransformatorida bu xarakter chulg'amlarni elektr ulash sxemasiga bog'liq bo'ladi. Albatta, U/U' nisbatga chulg'amlar o'ramlari sonlarining nisbati ham ta'sir qiladi. Shuninguchun avtotransformatorida ikkita transformatsiyalash ko'effitsiyentining farqiga borish zarur:



1.34-rasm. Katta quvvatli avtotransformator o'zagida chulg'amlarning joylashtirilishi (a) va pasaytiruvchi avtotransformatorning prinsipial sxemasi (b) hamda bir fazali oshiruvchi avtotransformator prinsipial sxemasining ikki (c, d) tasvirda ko'rsatilishi

1) (1.35) formulada ko'rsatilgan chulg'amlar o'ramlari sonlarining nisbati bilan aniqlanadigan transformatsiyalash ko'effitsiyenti k_W ;

2) salt ishlashda ($I'=I_2=0$) avtotransformatorga kirishdagi (U) va undan chiqishdagi (U') tarmoq kuchlanishlari kattaliklarining nisbati bilan aniqlanadigan transformatsiyalash ko'effitsiyenti k_U :

a) pasaytiruvchi avtotransformator uchun (1.34, b-rasm) –

$$k_U = 1 + 1/k_w > 1. \quad (1.36)$$

b) oshiruvchi avtotransformator uchun (1.15.1, c-rasm) –

$$k'_U = U/U' = k_w/(1+k_w) < 1. \quad (1.37)$$

Avtotransformatorning *qisqa tutashuv rejimi* ham an'anaviy transformatornikiga o'xshash bo'ladi, lekin uning bu rejimdagi parametrlarini bir xil quvvatdagi transformatorniki bilan taqqoslaganda avtotransformatorda $P_{qt.A} < P_{qt}$ va $u_{qt.A} \ll u_{qt}$ bo'ladi.

Avtotransformatorning barqaror ish rejimi elektromagnit jarayonlari quyidagi tenglamalar sistemasi bilan xarakterlanadi:

$$\left. \begin{array}{l} a) -U_1 = E_1 - I_1 Z_1; \\ b) U_2 = E_2 - I_2 Z_2; \\ c) I_1 = \frac{I_2}{k_w} = I_0; \\ d) E_1 = E_2 k_w. \end{array} \right\} \quad (1.38)$$

Avtotransformator chulg'amlarining ma'lum ulanish sxemasi (1.34-rasm) bilan aniqlanadigan konturlar («birlamchi tomon – ketma-ket chulg'am – ikkilamchi tomon») uchun kuchlanish va toklarning quyidagi tenglamalari, ya'ni: oshiruvchi avtotransformator uchun (1.34, d-rasm) –

$$\underline{U}' = \underline{U} + \underline{U}; \quad \underline{U} = -\underline{U}_1; \quad \underline{I}' = \underline{I}_2; \quad \underline{I} = -\underline{I}_1 + \underline{I}_2. \quad (1.39)$$

va pasaytiruvchi avtotransformator uchun (1.151, b-rasm) –

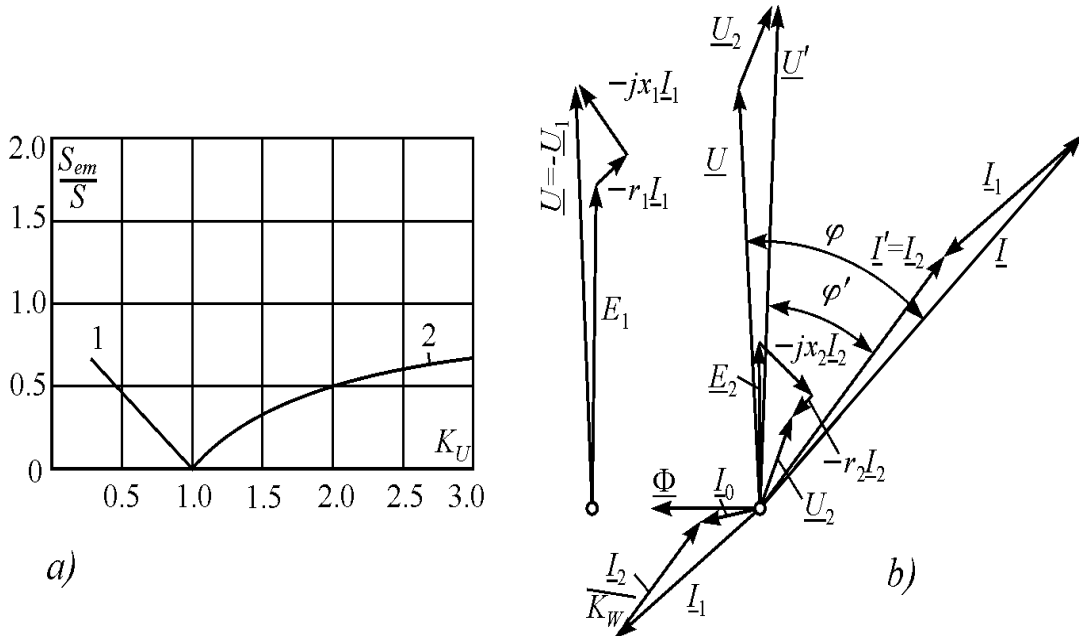
$$\underline{U} + \underline{U}_2 = -\underline{U}_1; \quad \underline{I}' = \underline{I}_2 - \underline{I}_1; \quad (1.40)$$

$\underline{I} = \underline{I}_2$ (1.38) dagi tenglamalarga qo'shiladi.

Keltirilgan tenglamalar bo'yicha avtotransformatorning normal ish rejimi uchun vektor diagrammasini kuchlanish U va tok I larning qiymatlari ma'lum bo'lganda qurish mumkin (1.35, b-rasm). Bunda kuchlanish va toklarning o'zaro bog'lanishlari yaqqol ko'rsatilgan.

Salt ishlash toki I_0 va chulg'amlardagi kuchlanish pasayishlari ($\underline{I}_1 \underline{Z}_1$ va $\underline{I}_2 \underline{Z}_2$) ancha kamligi tufayli ular e'tiborga olinmasa, bu vektor tenglamalarni ixchamlashgan algebraik ko'rinishda yozish mumkin:

$$\left. \begin{aligned} \frac{I_1}{I_2} = \frac{U_1}{U_2} = \frac{1}{k_w}; \quad U = U_1; \\ U' = U + U_2 = U_1 \left(1 + \frac{1}{k_w}\right) = \frac{U}{k'_U}; \\ I = I_1 + I_2 = I_2 \left(1 + \frac{1}{k_w}\right) = \frac{I'}{k'_U}. \end{aligned} \right\} \quad (1.41)$$



1.35-rasm. Avtotransformator uchun $S_{em}/S = f(k_U)$ bog'liqlik (a): 1 – oshiruvchi avtotransformator uchun ($k'_U < 1$); 2 – pasaytiruvchi avtotransformator uchun ($k_U > 1$) oshiruvchi avtotransformatorning aktiv-induktiv ($\varphi' > 0$) yuklama uchun vector diagrammasi (b): [$k_w = 2$; $k_U = 1/(1+1/2) = 2/3$]

Bu soddalashtirishlar qatorida aktiv va reaktiv quvvatlar isroflari ham e'tiborga olinmagan holda avtotransformatorning bitta tarmog'idan ikkinchisiga uzatiladigan to'la quvvatni ikkita tashkil etuvchidan iborat deb qarash mumkin:

$$S = U \cdot I = U_1(I_1 + I_2) = U_1I_1 + U_1I_2 = U_2I_2 + U_1I_2 = S_{em} + S_e = (U_1 + U_2)I_2 = U' \cdot I' = S', \quad (1.42)$$

bunda $U = U_1$ va $I = I_1 + I_2$ kattaliklar (1.41) dan olingan; $S_{em} = U_1I_1 \approx U_2I_2$ – elektromagnit quvvat (bu yerda $U_1 \approx E_1$ va $U_2 \approx E_2$ deb taxmin qilingan); $S_e = U_1I_2$ – elektr quvvat; $S' = U' \cdot I'$ – avtotransformatorning chiqishidagi quvvat. Avtotransformatorni ishlab chiqarish uchun materiallar sarfi, uning gabaritlari, tannarxi odatdagi transformatoridagi kabi elektromagnit quvvat semorqali aniqlanadi. haqiqatan ham, chastota $f = const$ bo'lganda

$$S_{em} = m E_1 I_1 = c F_{max}(W_1 I_1) = c (B \cdot q_{o'z}) (j_{ch} \cdot q_{ch}), \quad (1.43)$$

bunda B , $q_{o'z}$ – tegishli o'zak magnit induksiyasi va kesim yuzasi; j_{ch} , q_{ch} – chul'g'am tok zichligi va kesim yuzasi; c – sterjenlar soni.

(1.43) ifodadan, magnit induksiya B va chulgʻamdagi tok zichligi j_2 maʼlum boʻlganda oʻzak va chulgʻamlarning oʻlchamlari elektromagnit quvvat semkattaligi bilan aniqlanadi.

Avtotransformatorda elektromagnit quvvatning toʻla quvvatga nisbati quyidagiga teng:

a) oshiruvchi avtotransformator (1.35, d-rasm) uchun –

$$S_{em}/S = E_2 I_2 / (m U' \cdot I') \approx E_2 I' / [(E_2 + E_1) \cdot I'] = 1 / (1 + k_w) = 1 - k'_U, \quad (1.44)$$

bunda $I_2 = I'$; $U' = U_2 + U_1 \approx E_2 + E_1$; oshiruvchi avtotransformator transformatsiyalovchi koeffitsiyenti $[k_w = k'_U / (1 - k'_U)]$ ning qiymati (1.37) dan aniqlangan; oshiruvchi avtotransformator uchun – $k'_U < 1$.

b) pasaytiruvchi avtotransformator (1.34.1, b-rasm) uchun –

$$S_{em}/S = m E_2 I_2 / (m U \cdot I) \approx E_2 I / [(E_2 + E_1) \cdot I] = 1 / (1 + k_w) = 1 - 1/k_U, \quad (1.45)$$

bunda $I_2 = I$; pasaytiruvchi avtotransformator transformatsiyalovchi koeffitsiyenti $[k_w = 1 / (k_U - 1)]$ ning qiymati (1.37) dan aniqlangan; pasaytiruvchi avtotransformator uchun – $k_U > 1$.

1.35, a -rasmdan koʻrinishicha kirishdagi (U) va chiqishdagi (U') tarmoq kuchlanishlari nisbati $U'/U = 1,25 \div 2,5$ boʻlgan hollarda avtotransformatorni elektr energetika sistemalarida katta quvvatli elektr tarmoqlarni birlashtirishda oʻzgartirgich sifatida qoʻllanilganda katta samara beradi.

Isroflari avtotransformatorning hisobiy nominal quvvatiga va qisqa tutashuv kuchlanishining ketma-ket chulgʻami nominal kuchlanishiga nisbatlari taxminan odatdagi transformatornikiga yaqin boʻladi, lekin, agar mazkur kattaliklarni tegishli oʻtish quvvati va tarmoqning nominal kuchlanishiga nisbatlari orqali qaralganda anʼanaviy transformatornikidan S_{em}/S marta kam boʻladi. Bu quyidagicha tushuntiriladi: oʻramlar soni w boʻlgan ketma-ket chulgʻam faqat yuqori kuchlanish U' ning bir qismiga hisoblanganligi tufayli uning qarshiligi odatdagi transformator ikkilamchi chulgʻami qarshiligidan kam, oʻramlar soni w_1 boʻlgan «parallel» chulgʻamidan esa tok I ning bir qismi oʻtadi.

Avtotransformatorning ikkilamchi tomonidagi kuchlanish oʻzgarishi ikki chulgʻamli transformator uchun ishlatilgan formulalar boʻyicha hisoblanadi,

chunki avtotransformatorning almashtirish sxemasi transformatornikiga o'xshash bo'lib, faqat parametrlarining kichikligi bilan farqlanadi.

Avtotransformatorning qisqa tutashuv kuchlanishi $u_{qt.A}$ va uning tashkil etuvchilari quvvati bir xil bo'lgan transformatornikidan kam bo'lganligidan avtotransformatordagi kuchlanish o'zgarishi ΔU_A ning qiymati ham kam bo'ladi. Chulg'amdagi isroflar yig'indisi $\Sigma P'$ ham nisbatan kam bo'lganligidan avtotransformatorning FIK quvvati bir xil bo'lgan an'anaviy transformatornikidan kattaroq bo'ladi. katta quvvatli avtotransformatordalarda $\eta=99,5-99,7$ foizga teng.

Uch fazali ikki chulg'amli avtotransformatorning fazaviy chulg'amlari «yulduz» sxemasi bo'yicha ulanadi. Uch fazali uch chulg'amli katta quvvatli avtotransformatorning YK va O'K chulg'amlari «yulduz» sxemasi bo'yicha, PK chulg'ami esa «uchburchak» sxemasi bo'yicha ulanadi (1.36, d-rasm).

Uch chulg'amli avtotransformatorda PK chulg'amning asosiy vazifasi elektr uzatish liniyasini tokning yuqori (uchinchi) garmonikasidan himoya qilishdan iborat. Uni alohida tarmoqqa ulab manba sifatida ishlatib bo'lmaydi; faqat ayrim hollarda elektr ta'minoti sistemasi quvvat koeffitsiyenti $\cos\varphi$ ni oshirish maqsadida sinxron kompensator ulash yoki zarur bo'lganda reaktor ulash mumkin, xolos.

Uzatiladigan quvvatni ko'paytirish uchun elektr uzatish liniyasi kuchlanishini oshirish va har bitta transformator quvvatini ko'paytirish talab qilinadi.

Avtotransformatorning ijobiy xususiyatlari quyidagicha asoslanadi. Nominal kuchlanish va quvvatlarning o'sishi bilan transformatorlarda chulg'amlarning massasi, izolyatsion oraliqlari va o'lchamlari ko'payadi. Shu sababli har bitta transformator quvvatini ko'paytirish imkoniyati ularni transformatorsozlik zavodidan ekspluatatsiya qilish uchun o'rnatiladigan joygacha transportda tashish (gabarit o'lchamlari va massasi) bo'yicha cheklangandir. Agar bunday hollarda teng kuch transformatorlari o'rniga kuch avtotransformatorelari qo'llanilsa, avtotransformatorda hisobiy quvvat $S_h=U_2I_{ax}$ o'tuvchi quvvat $S_{o\tau}$ ning faqat bir qismini tashkil etishi avtotransformator tayyorlash uchun teng quvvatli odatdagi transformator magnit o'tkazgichiga nisbatan kesimyuzasi kichik bo'lgan magnit

oʻtkazgichdan foydalanishga imkon beradi. Bunda chulgʻam oʻramining oʻrtacha uzunligi ham nisbatan kam boʻlib chulgʻamni tayyorlashda sim va izolyatsiyalar kam sarflanadi.

Shunday qilib, *avtotransformatorlarning afzalliklari* quyidagilardan iborat boʻladi:

1) aktiv (mis, elektrotexnik poʻlat) va izolyatsion materiallar kam sarflanadi;
2) gabarit oʻlchamlari nisbatan kichik boʻladi; bu quyidagicha tushuntiriladi, yaʼni transformator (avtotransformator)ning oʻlchamlari $\sqrt{S_{em}}$ ga mutanosib ravishda oʻzgaradi. Odatdagi transformatorida $S_{em}=S$, avtotransformatorida esa $S_{em.A}=[1-(1/k_w)]\cdot S$. Bunda transformatsiyalash koeffitsiyentining samarali qiymati $1 < k_w < 2,5$ oraligʻida boʻlganligidan hisobiy quvvat $S_h=S_{em}$ kamayadi; bu esa avtotransformator gabarit oʻlchamlarini kamaytirishga imkon yaratadi;

3) FIK nisbatan katta, tannarxi esa arzon boʻladi. Kuch avtotransformatorlari katta quvvatli sinxron va asinxron motorlarni ishga tushirishda hamda yuqori va oʻta yuqori kuchlanishli elektr uzatish liniyalarida birbiriga yaqin, masalan, 110 va 220 kV; 220 va 500 kV kuchlanishli elektr sistemalarini bogʻlashda qoʻllaniladi.

Tiristorli oʻzgartirgichlarning kuchlanishlari PIIH usulida guruhli rostlanib, bunda oʻtish quvvati 2500–10000 kV·A boʻlgan kuch avtotransformatorlari ishlatiladi.

Zaporojyeda (Ukraina) ishlab chiqarilgan katta quvvatli oʻta yuqorikuchlanishli bir fazali uch chulgʻamli AODST–667000/1150/500 tipli avtotransformatorning texnik maʼlumotlari:

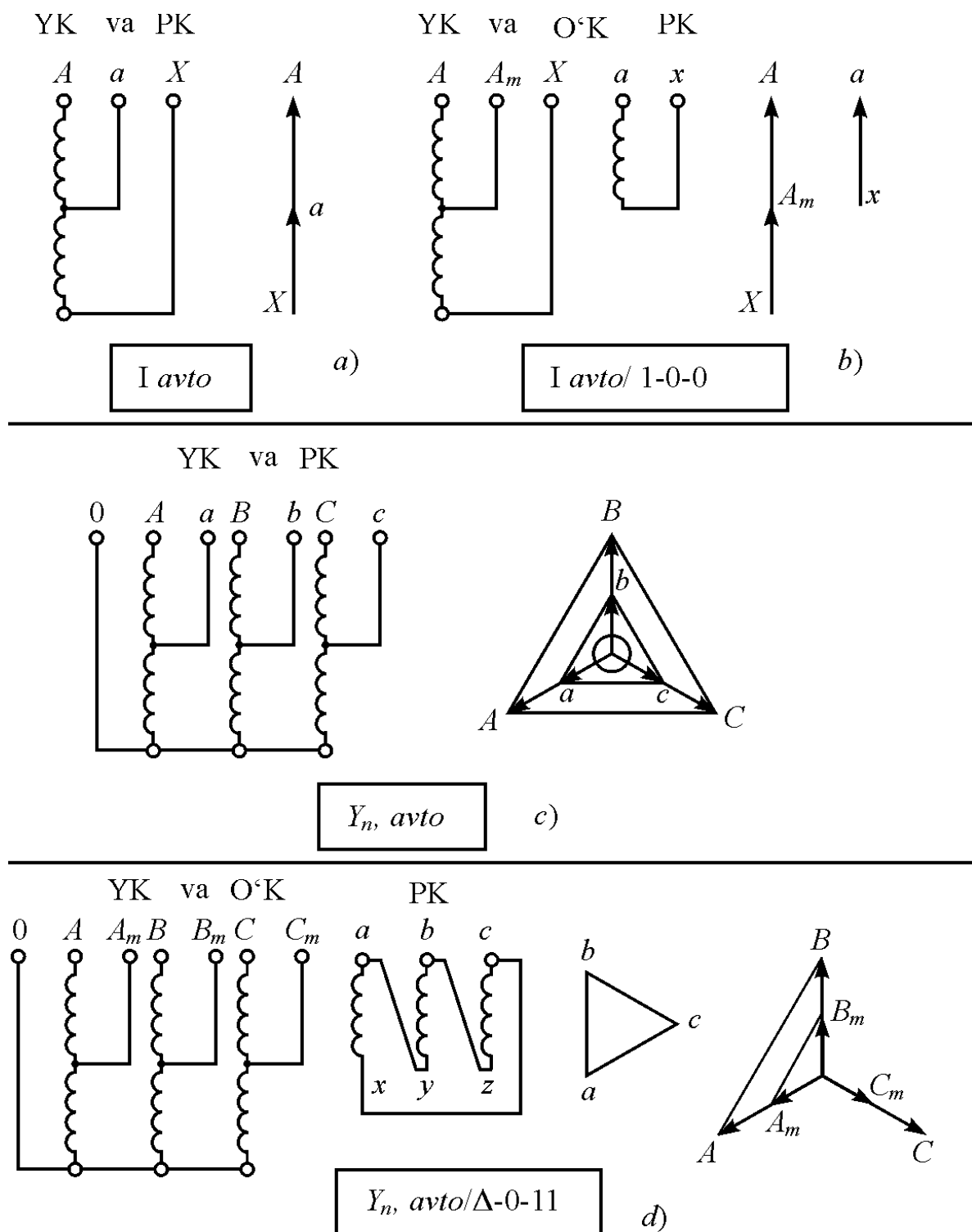
yuqori va oʻrta kuchlanishli chulgʻamlarining nominal quvvati $S_N= 667000$ kV·A, past kuchlanishli chulgʻaming nominal quvvati $S_N= 180000$ kV·A;

nominal kuchlanishlari: $U_{YK}=1150/ 3$; $U_{O'K}=500 / 3$; $U_{PK}=20$ kV; qisqa tutashuv kuchlanishi $u_{qt}= 11,5$ %; salt ishlash toki $i_0 = 0,35$ %; massasi 580 t.

Avtotransformatorning kamchiliklari. Avtotransformatorning transformatsiyalash koeffitsiyentik $_w > 2,5$ boʻlsa, hal qiluvchi hisoblanadigan quyidagi kamchiliklarga ega boʻladi:

1) pasaytiruvchi avtotransformatorlarda qisqa tutashuv tokining katta boʻlishi;

2) uqori kuchlanish tomonining past kuchlanish tomoni bilan elektr jihatdan ulanganligi sababli, butun chulg'am izolyatsiyasining juda katta elektr mustahkamlikka ega bo'lishini talab etadi;



1.36-rasm. Avtotransformatorlar chulg'amlarining ulanish sxemalari va guruhleri

3) pasaytiruvchi katta quvvatli avtotransformatorlarda past kuchlanish tarmog'ining simlari bilan yer orasida xavfsiz ishlatish shartlariga aslo to'g'ri

kelmaydigan katta kuchlanish paydo bo‘ladi. Masalan, past kuchlanishli tarmoq simlari va yer orasida zaminlanish bo‘lmagan holda avtotransformatorning PK chulg‘amiga yuqori kuchlanishli tarmoq simlarining yer bilan hosil qilgan sig‘imiy bog‘lanishlar hisobiga byjudga kelib, qiymati $U/2$ bo‘lgan katta kuchlanish tashkil qiladi. Agar avtotransformator elektr tarmog‘i kuchlanishini 3000 V dan 220 V gacha pasaytirganda YK tarmoq simlari bilan yer orasida $3000/2=1500$ V kuchlanish paydo bo‘lar edi.

Transformatsiyalash koeffitsiyenti o‘zgartirilib turiladigan kam quvvatli avtotransformatarlarni kuchlanish rostlagichlari deyiladi. Ular bir fazali (IIHO turi) va uch fazali (IIHT turi) bo‘lishi mumkin.

NAZORAT SAVOLLARI

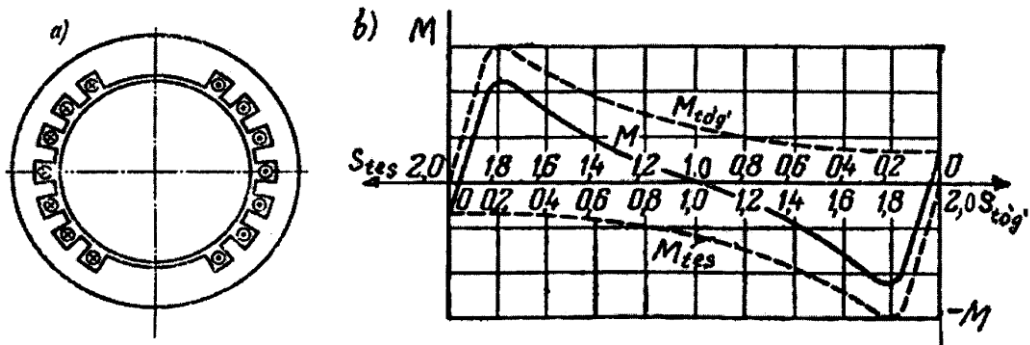
1. Avtotransformatorning o‘ziga xos xususiyatlari nimalardan iborat?
2. Avtotransformatorning afzalliklari nimalardan iborat?
3. Uch chulg‘amli avtotransformatorda past kuchlanishli chulg‘am qanday sxemaga ulangan bo‘ladi va bu chulg‘am qanday vazifani bajaradi?
4. Avtotransformatorning kamchiliklari nimalardan iborat?
5. Elektr o‘lchash sxemalari uchun transformatorning ahamiyati nimada?
6. Uch chulg‘amli transformatorning afzalliklari nimada?
7. Avtotransformatarlarning afzalliklari va kamchiliklari nimada?
8. Avtotransformatarlarning afzalliklari transformatsiyalash koeffitsientiga bog‘liqmi? Tushuntiring, nima uchun?
9. Transformatsiyalash koeffitsienti o‘zgaruvchan avtotransformatorning ishlash prinsipini tushuntiring.
10. Payvandlash transformatorining tuzilishi va ishlash prinsipiga oid ma‘lumot bering.
11. «Tipaviy quvvat» nima va u qanday aniqlanadi?
12. Qanday hollarda uch fazali kuchlanishlar sistemasini 6 va 12 fazaliga o‘zgartirish zarur bo‘ladi?

13. Elektrlashtirilgan temir yo‘l transporti kuch transformatorlariga oid ma’lumot bering.
14. Elektr o‘lchash sxemalarida ishlatiladigan transformatorlarning ahamiyati nimadan iborat?
15. Kaskadli tok transformatori qanday ishlaydi?
16. Nima uchun tok transformatorining ikkilamchi chulg‘ami normal ish jarayonida uzib qo‘yilmasligi kerak?
17. Impulsli va pik-transformatorlar qanday vazifani bajaradilar?
18. Transformator yordamida qanday qilib chastotani ko‘paytirish mumkin?
19. Uch chulg‘amli transformator qanday ishlaydi?
29. Uch chulg‘amli transformatorning afzalliklari?
30. Chastota o‘zgartiruvchi transformatorlarning ishlash printsiplarini tushuntiring?
31. Chastota transformator yordamida qanday qilib ikki karra oshiriladi?
32. Chastota transformator yordamida qanday qilib uch karra oshiriladi?
33. To‘g‘irlagich qurilmalari uchun transformatorlar turlari to‘g‘risida tushuntirish bering?
34. Avtomatik qurilmalar uchun transformatorlar turlari?
35. Elektrlashtirilgan temir yo‘l va shaxar elektr transformatorlari uchun kuch transformatorlari to‘g‘risida ma’lumot bering.
36. Elektr o‘lchash sxemalari uchun transformatorlar turlari?
37. Kuchlanishni to‘liq rostlovchi transformator turlari?
38. Fazalar sonini o‘zgartiruvchi transformatorlar to‘g‘risida ma’lumot bering?
39. Kuchlanish stabilizatori to‘g‘risida ma’lumot bering?

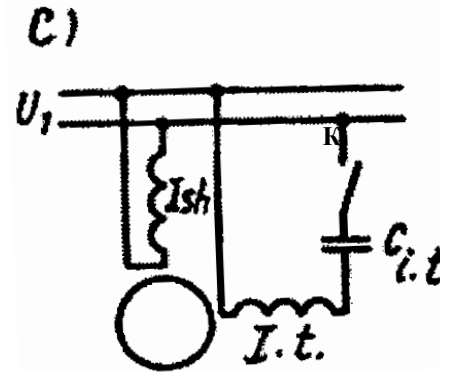
II BOB. MAXSUS ASINXRON MASHINALAR

2.1. BIR FAZALI ASINXRON MASHINALAR

Bir fazali asinxron dvigatellar ($P_2 \leq 600 \text{ W}$) avtomatik qurilmalarda va uy xo'jaligi elektr asboblarida (ventilyator, sobytgich, kir yuvish mashinasi, elektr ustara va boshqalar) ishlatiladi. Bir fazali asinxron dvigatelning statorida bir fazali chulg'am bo'lib, rotorida esa qisqa tutashtirilgan chulg'am bo'ladi (2.1-rasm). Stator chulg'ami o'zak pazlarining $2/3$ qismida joylashgan bo'ladi. Chulg'amning pazlarda bunday joylashishi havo bo'shlig'ida magnet induksiyasi shaklining sinusoidalga yaqin bo'lishini ta'minlaydi.



2.1-rasm. Bir fazali asinxron motor statorining ko'ndalang qirgimi (a) va motorning mexanik xarakteristiklari (b); ishga tushirish chulg'ami bilan ta'minlangan bir fazali asinxron motorni kondensatorli ishga tushirish sxemasi (c); K – kalit



Bir fazali asinxron dvigatelning stator chulg'amiga bir fazali o'zgaruvchan tok berilganda pulslanuvchi magnet maydon hosil bo'ladi. Bu maydonni amplitudalari teng va bir-biriga nisbatan teskari birxil aylanish chastotada aylanuvchi ikkita tashkil etuvchiga ajratish mumkin.

Bir fazali asinxron dvigatellar boshlang'ich ishga tushirish momentiga ega emas (2.1 b-rasm) va stator chulg'ami tarmoqqa ulanganda uning rotori aylanmaydi. Shuning uchun bunday dvigatellar ishga tushirish chulg'ami bilan

ta'minlanadi (2.1, c-rasm). Aylanish yo'nalishi rotorning aylanish yo'nalishi bilan mos bo'lgan oqimni *to'g'ri* oqim $\Phi_{to'g'}$, rotorning aylanishiga nisbatan teskari aylanadigan oqimni *teskari* Φ_{tes} oqim deyiladi. Bu oqimlar *to'g'ri* $M_{to'g'}$ va teskari aylantiruvchi moment M_{tes} larni hosil qiladi. Bu momentlar bir-biriga nisbatan teskari yo'nalishda bo'ladi. Natijaviy aylantiruvchi moment *to'g'ri* va teskari momentlarning yig'indisi bilan topiladi:

$$M_{nat} = M_{to'g'} - M_{tes}.$$

To'g'ri oqimga nisbatan rotorning sirpanishi:

$$s_{to'g'} = (n_{I(to'g')} - n) / n_{I(to'g')} = (n_1 - n) / n_1 = 1 - n / n_1,$$

teskari oqimga nisbatan rotorning sirpanishi esa:

$$s_{tes} = [(n_{I(tes)} - (-n))] / n_{I(tes)} = (n_{I(tes)} + n) / n_{I(tes)} = 1 + n / n_{I(tes)}.$$

Demak, bir fazali asinxron dvigatel ishga tushirish momentiga ega emas. Shu sababli rotor qaysi tomonga tashqi kuch yordamida aylantirilsa, o'sha tomonga aylanadi. Bunday dvigatelning ish xarakteristikalari uch fazali asinxron dvigatelnikiga nisbatan yomon. Bundan tashqari salt ishlayotgan bir fazali dvigatelning aylanish chastotasi, teskari magnit oqimi hosil qilgan tormozlovchi moment ta'sirida uch fazali dvigatelning aylanish chastotasidan kichik bo'ladi.

Masalan, bir fazali asinxron dvigatelning $n_1=1500$ ayl/min, $n_2=1450$ ayl/min va $f_1 = 50$ Hz bo'lsa quyidagini olamiz:

$$s_{to'g'} = (1500 - 1450) / 1500 = 0,033;$$

$$f_{2to'g'} = 0,033 \cdot 50 = 1,8 \text{ Hz};$$

$$s_{tes} = (1500 + 1450) / 1500 = 1,96;$$

$$f_{2tes} = 1,96 \cdot 50 = 98 \text{ Hz}.$$

Rotorning induktiv qarshiligi, uning aktiv qarshiligidan bir necha barobar ko'p (chunki $\Phi_{2tes} \gg \Phi_{2to'g'}$), I_{2tes} toki deyarli ideal induktiv tok bo'lib, Φ_{tes} teskari oqimga nisbatan kuchli magnitsizlovchi ta'sir qiladi. Oqibatda teskari magnit maydoni va u xosil qilgan M_{tes} teskari moment sezirlarli kamayib, rotor *to'g'ri* ta'sir qilayotgan magnit oqimi tomoniga qarab quyidagi natijaviy moment ta'sirida aylanadi:

$$M_{nat} = M_{to'g'} - M_{tes}.$$

2.2. KONDENSATORLI ASINXRON DVIGATELLAR

Bunday dvigatelning statorida bir xil sondagi pazlarni egallagan va fazoda bir-biriga nisbatan 90° el. burchakka siljigan ikkita (normal rejimda «ishchi») chulg'am bo'ladi.

Chulg'amlarning biri asosiy, ya'ni ish chulg'am (A); ikkinchisi esa qo'shimcha, ya'ni yurgizish chulg'ami (B) deyiladi. Asosiy chulg'am bevosita tarmoqqa ulanadi, yurgizish chulg'ami esa shu tarmoqqa ish kondensatori orqali ulanadi (2.2, a- rasm). Bu sharoitda dvigatel yurgizilgandan so'ng yurgipish chulg'ami uzib qo'yilmaydi va dvigatelning butun ishi davomida tarmoqqa ulangan holda qoladi. Shuning uchun bunday dvigatel kondensatorli dvigatel deyiladi. Ish sig'imi C yurgizish chulg'amidagi tok bilan ish chulg'ami toki orasida 90° ga yaqin siljish burchagi hosil qiladi. Agar kondensatorsiz, bir fazali dvigatel yurgizish chulg'ami uzib qo'yilgandan so'ng pulslanuvchi maydon bilan ishlasa, kondensatorli dvigatel doiraviy (yoki unga yaqin) aylanma magnit maydoni bilan ishlaydi. Faza siljitish kondensator bilan amalga oshirilganda yurgizish chulg'amida kuchlanish:

$$U_{yu} = U_I - U_c = U_I + jI_{yu}x_c$$

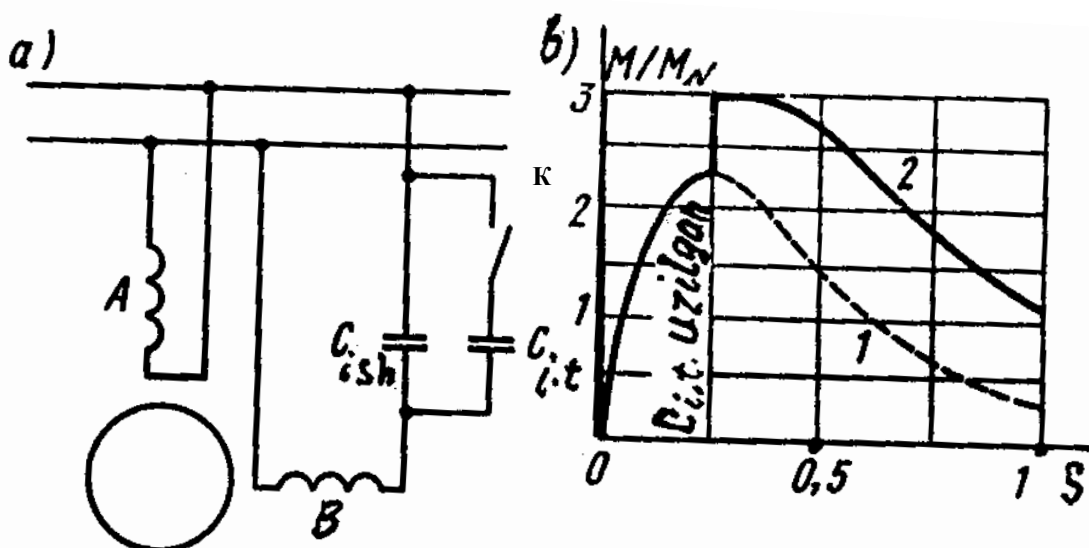
bilan aniqlanadi. Bu kuchlanish ish chulg'amiga berilgan tarmoq kuchlanishiga nisbatan ma'lum burchakka siljigan. Natijada ish chulg'ami toki I_A va yurgizish chulg'ami toki I_B ham ma'lum burchakka siljiydi. Faza siljituvchi kondensator sig'imini tanlab, dvigatelning biror ish rejimi uchun doiraviy aylanma magnit maydoni olinadi, boshqa rejimda ishlaganda maydon elliptik bo'ladi. Ko'pincha kondensatorning sig'imi dvigatelning yuklamasi nominal yoki unga yaqin bo'lganda magnit maydoni doiraviy aylanma maydon bo'ladigan qilib tanlanadi. Kondensatorli dvigatellarning $FIK 60 \div 75\%$ va quvvat koeffitsienti $0,8 \div 0,95$ gacha boradi. Kondensatorli dvigatelning yurgizish momenti nominal momentning 50% ini tashkil qiladi. Bundaydvigatelning mexanik xarakteristikasi 2.2, b-rasm, 1-egrichiziq bilan ko'rsatilgan. Bunday dvigatellar yurgizilishi engil bo'lgan mexanizmlarda ishlatiladi. Dvigatelning yurgizish momentini oshirish uchun

sxemaga maxsus yurgizish kondensatori S ulanadi (2.2, a -rasm). Yurgizish kondensatori qisqa vaqt ishlashga hisoblanadi, ya'ni dvigatel ishga tushib ketgandan so'ng, u tarmoqdan uzib qo'yiladi. Yurgizish kondensatori dvigatelning mexanik xarakteristikasini ancha yaxshilaydi (2.2, b-rasm, 2-egri chiziq). Bunday dvigatellar yurgizilishi ancha og'ir mexanizmlarda qo'llaniladi.

Aylanma magnet maydonini olish sharti bo'yicha u chulg'amlarning o'ramlar soni umumiy holda turli xil bo'ladi. Shuni esda tutish lozimki, kondensator sig'imining berilgan qiymati uchun yuklamaning faqat bitta qiymatida aylanma magnet maydoni olinib, boshqa yuklamalarda esa elliptik maydon hosil bo'ladi va dvigatelning ish rejimi yomonlashadi. Yuklamaning o'zgarishi bilan kondensator sig'imini ham rostlash zarur bo'lib, bu holda dvigatel sxemasi murakkablashadi.

Ayrim hollarda aylanma maydon olish uchun ishga tushirish paytida va biror-bir yuklamada kondensatorlar parallel ulanadi. Yuklamada bitta kondensator ishlasa ishga tushirishda ikkala kondensator ham ulanadi.

Kondensatorli dvigatellarning FIK xuddi shunday quvvatli uch fazali asinxron dvigatelnikiga yaqin, $\cos\phi$ esa hatto, katta ham bo'lishi ham mumkin.

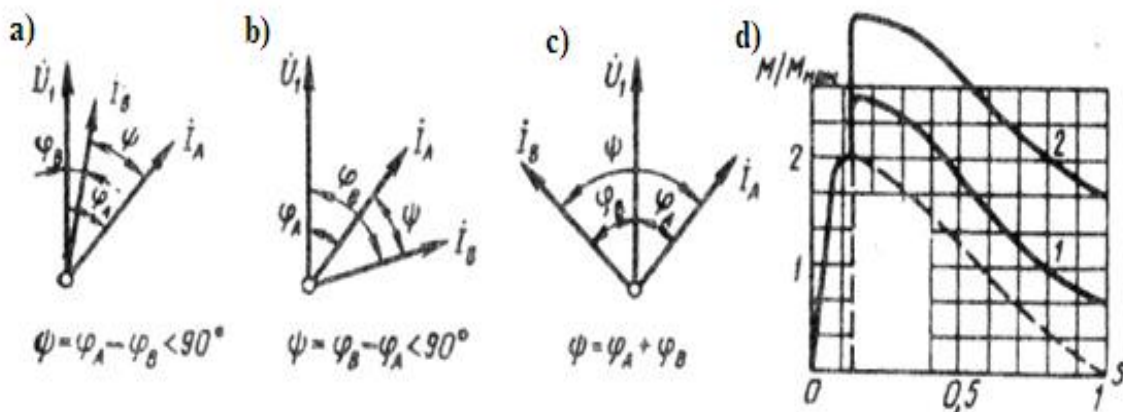


2.2-rasm. Kondensatorli asinxron motor sxemasi (a) va uning mexanik xarakteristikasi (b)

Agarda ikkala chulg'am xam bir xil qiymatga ega bo'lgan MYKni xosil qilsa, unda ishga tushishning boshlang'ich paytida aylanuvchi magnit maydoni aylana shaklida bo'lib, dvigatel sezilarli ishga tushirish momentiga ega bo'ladi. Xar doim faza siljtkich sifatida sig'im ishlatish uning o'lchamlari kattaligi sababli biroz cheklanishlar bo'ladi, chunki aylana shakldagi magnit maydonini olish uchun katta miqdordagi sig'im kerak bo'ladi. Masalan, quvvati 200 W, kuchlanishi 300÷500 V li bir fazali dvigatel uchun sig'imi 30 mkF bo'lgan kondensator batareyasi kerak bo'ladi.

Xozirgi kunda aktiv qarshilikli faza siljituvchi elementli bir fazali dvigatellar keng tarqalgan. Bunda ishga tushirish chulg'ami qarshiligini oshirish, ishchi chulg'ami ko'ndalang kesimi yuzasiga nisbatan kichik qilib tayyorlanadi.

Ishga tushirish chulg'ami uzoq muddatga ishlamaydi (odatda bir nechasekund), shuning uchun uni kesimini kam etib tayyorlash mumkin bo'ladi. Ushbu dvigatellarning ishga tushirish momenti, nominal momentdan oshmaydi va ko'p bo'lmagan yuklama bilan bermalol ishga tusha oladi.



2.3-rasm. Faza siljituvchi elementlarning xususiyatlarini solishtirish: a – aktiv qarshilikli, b - induktivlik, c - sig'im, d – xar xil faza siljituvchi elementlar ulangandagi dvigatelning mexanik xarakteristikasi: 1–aktiv qarshilik; 2 – sig'im qarshilik

Sig'im qarshilikli faza siljituvchi element ishlatilganda ishga tushish momenti sal kam $M_{i,t} = (1,6 \div 2,0)M_N$ bo'ladi.

Aylanma magnit maydonini olish uchun quyidagi miqdorda sig'im kerak bo'ladi:

$$C_i = 1,6 \cdot 10^5 I_A \sin \varphi_A / (f_1 U_A k^2), \quad (2.1)$$

bunda, asosiy va yordamchi chulgʻamlardagi kuchlanishlar nisbati quyidagicha boʻlish kerak:

$$U_A/U_B = \operatorname{tg}\varphi_A \neq 1.$$

Bu erda $\varphi_A - I_A$ toki va U_A kuchlanishi orasidagi faza siljishi;

$k = \omega_B k_B / (\omega_A k_A)$ – transformatsiyalash koeffitsienti (asosiy va yordamchi chulgʻamlarining nisbati); k_A va k_B – stator chulgʻamlarining chulgʻam koeffitsientlari.

(2.1) ifodani taxlili shuni koʻrsatadiki, berilgan k transformatsiyalash koeffitsienti va U_A/U_B nisbatlarda sigʻim C_i aylana shaklidagi aylanuvchi magnit maydonni bitta aniq dvigatel ish rejimidagina taʼminlay oladi. Agar rejim (yuklama) oʻzgarsa, I_A tok va φ_A faza burchagi oʻzgarishi natijada aylanuvchi maydonga toʻgʻri keladigan C_i sigʻim xam oʻzgaradi. Shunday qilib, dvigatel yuklamasi xisobiy yuklamadan farq qilsa, dvigatelning aylanuvchi maydoni elliptik maydonga aylanadi va dvigatel ish xossalari yomonlashadi. Odatda C_i sigʻim xisobi nominal yoki unga yaqin yuklamada olib boriladi.

Ushbu dvigatellarning FIK va quvvat koeffitsientlari katta boʻlishiga ($\cos\varphi_1 = 0,80 \div 0,95$) qaramasdan uning ishga tushirish momenti $0,5M_N$ dan oshmaydi.

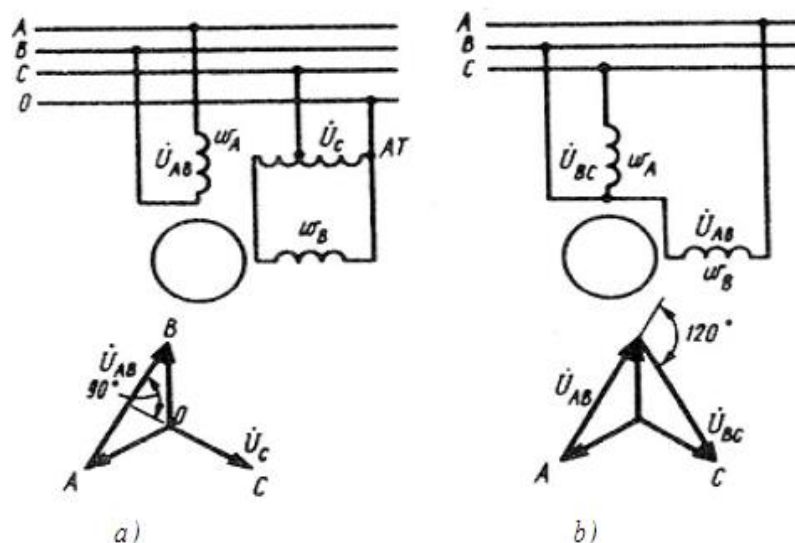
Ishga tushirish momentini oshirish maqsadida, ishchi kondensatorga parallel ravishda ishga tushirish kondensatori ulanadi. Ishga tushirish kondensatori, dvigatel ishga tushib boʻlgandan soʻng uzib qoʻyiladi. Chunki kichik sirpanishda stator chulgʻamidagi sigʻim va induktivlik tufayli kuchlanishlar rezonansi byjudga kelib, tarmoq kuchlanishini 2÷3 marta oshirib yuboradi.

Sigʻimdagi kuchlanish aylana shaklidagi magnit maydonda tarmoq kuchlanishidan katta boʻladi va quyidagi formula bilan aniqlanadi:

$$U_c = U_I \sqrt{1 + k^2} \quad (2.2)$$

Ayrim paytlarda kondensatorli dvigatellarni ikki fazali dvigatellar xam deb aytiladi. Ushbu dvigatelning stator chulgʻami ikki fazali boʻladi. Ikki fazali

dvigatellar kondensatorsiz xam ishlashi mumkin. Ikki fazali tizimni 2.4-rasmda ko'rsatilgandek nol simli uchfazali tizimdan olish mumkin.



2.4-rasm. Ikki fazali dvigatellarni uch fazali tarmoqqa ulash

Bunda bitta chulg'amni U_{AB} liniya kuchlanishiga, ikkinchi chulg'am U_C faza kuchlanishiga AT avtotransfor motori orqali ulanadi (dvigatelning faza chulg'amlaridagi kuchlanish miqdorini tenglashtirish uchun).

2.3. UCH FAZALI QISQA TUTASHGAN ROTORLI ASINXRON DVIGATELLARNI BIR FAZALI ASINXRON DVIGATEL SIFATIDA ISHLATISH

O'rtacha quvvatli ba'zi asinxron dvigatellarni uch fazali dvigatel sifatida ham, bir fazali dvigatel sifatida ham ishlatish mumkin.

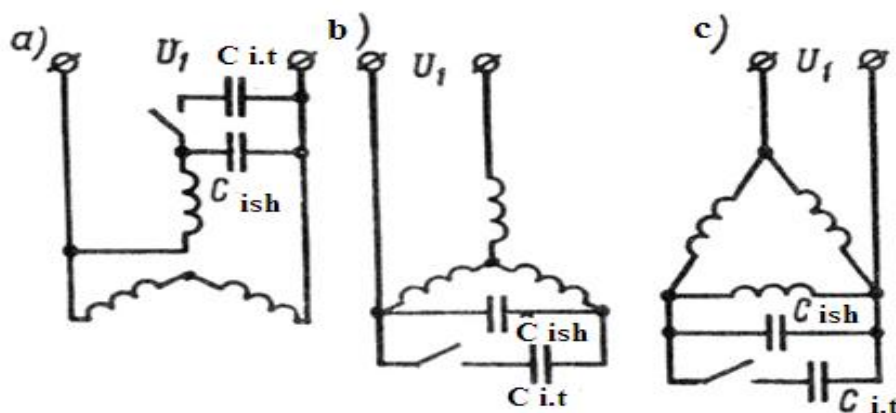
Bunday dvigatellar universal dvigatellar deyiladi. Dvigatel' statorida uch fazali chulg'am bo'ladi, rotor oddiy qisqa tutashtirilgan. Universal dvigatelni bir fazali dvigatel sifatida ishlatish uchun uning statorining chulg'amlari 2.5-rasmda keltirilgan sxemalar bo'yicha bir fazali tok manbaiga ulanadi. Bu sxemalar bo'yicha dvigatelni ulash uchun chulg'amlarning 6 ta uchlari ham tashqariga (klemmalar qutisiga) chiqarilgan bo'lishi lozim. Bu rasmdagi sxemalar bo'yicha ishlayotgan dvigatel bir fazali dvigatelga ekvivalent hisoblanadi. Sxemalarda ish va yurgizish kondensatorlarining qanday ulanishi ham ko'rsatilgan. Ish

kondensatori S_i ning sig'imi nominal yuklamada ishlash rejimiga moslab tanlanadi. Dvigatel kam yuklama bilan ishlaganda uning texnika ko'rsatkichlari yomonlashadi. Uch fazali dvigatel bir fazali dvigatel sifatida ishlatilganda uning quvvati uch fazali dvigatelnominal quvvatining (60 ÷ 80)% nitashkil qiladi. Yuqorida keltirilgan sxemalar uchun ish kondensatorining sig'imi quyidagi empirik formulalar bilan mikrofara (mkF)larda aniqlanadi:

$$C_{ish} = 2740 \cdot I_{IN} / U_{IN} \quad (2.3, \text{a-rasm});$$

$$C_{ish} = 2800 \cdot I_{IN} / U_{IN} \quad (2.4, \text{b-rasm});$$

$$C_{ish} = 4800 \cdot I_{IN} / U_{IN} \quad (2.5, \text{c-rasm});$$



2.5-rasm. Uch fazali asinxron dvigatelni bir fazali tarmoqdan ishlatishda stator chulg'amini ulash sxemalari

Agar dvigatel yuklamasiz sharoitda yoki kam yuklama bilan yurgizilsa, yurgizish kondensatori kerak bo'lmaydi. Nominal yuklama bilan yurgizishda sxemaga yurgizish kondensatori ulanadi. Yurgizish kondensatorining sig'imi $C_{i.t} = (2,5 \div 3) C_{ish}$ qilib olinadi. Bunda dvigatelning yurgizish momenti nominal momentga deyarli teng bo'ladi. Agar yurgizish momentini yanada oshirish lozim bo'lsa, yurgizish kondensatorining sig'imi oshiriladi. Agar $C_{i.t} = (6 \div 8) C_{ish}$ ga teng bo'lsa, yurgizish momenti dvigatelning maksimal momentiga yaqinlashadi.

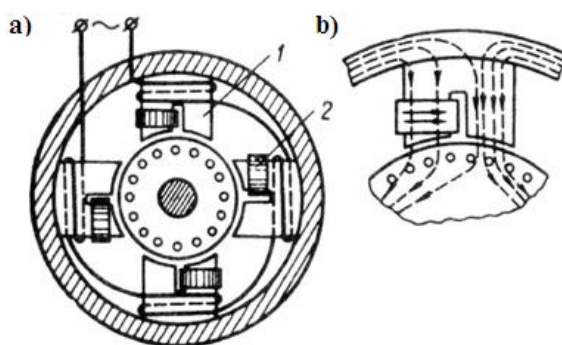
Bunday dvigatellar kichik yuklamada ishlaganda ularning texnik ko'rsatkichlari nisbatan yomon bo'ladi. Sxemalardagi (2.5-rasm) ishga tushirish qarshiliklari (sig'im va aktiv qarshilik) dvigatel ishga tushirilgandan keyin uzib qo'yiladi. Agar sig'im dvigatelning ish jarayonida ham sxemada ulanib qolsa uning yuklama rejimida ishlashini yaxshilaydi.

Uch fazali dvigatel bir fazali dvigatel sifatida ishlaganda uning quvvati uch fazali dvigatel nominal quvvatining taxminan 70% ni tashkil qiladi.

2.4. HIMOYALANGAN (EKRANLANGAN) QUTBLI BIR FAZALI DVIGATEL

Kam kuvvatli ($5 \div 25$ W) bir fazali dvigatellarda aylantiruvchi ishga tushirish momenti hosil qilish uchun ayon qutbli konstruksiya ishlatiladi (2.6-rasm, a), bir fazali chulg'am ana shu kutblarda joylashadi. Qutblar 1 ajraladigan konstruksiyada bo'lib, har qaysi qutbning ajralgan qismlaridan biriga mis halqa 2 ko'rinishda qisqa tutashtirilgan o'ram (ekran) kiydirilgan bo'ladi. Dvigatel rotori odatdagi qisqa tutashtirilgan konsruksiyali bo'ladi. Stator chulg'amlari tarmoqqa ulanganda unda hosil bo'lgan pulsatsiyalanuvchi magnet oqim ta'sirida qisqa tutashtirilgan o'ramda tok paydo bo'lib, u qutbning shu qismida oqimning ko'payishiga to'sqinlik qiladi (2.6-rasm, b). Natijada har qaysi qutbning ikkala qismidagi oqimlar bir-biriga nisbatan faza jihatdan siljigan bo'ladi; bu esa, o'z navbatida, dvigatelda aylantiruvchi magnet maydon hosil bo'lishiga olib keladi. Dvigatelning ishga tushirish va ishchi xarakteristikalarini yaxshilash uchun ko'pincha, qutblar orasiga po'lat plastinkalar ko'rinishidagi magnet shuntlar joylashtiriladi.

Ayon qutbli bir fazali dvigatellar, odatda, katta ishga tushirish momenti talab etilmaydigan qurilmalarda ishlatiladi. Masalan, ular kichikroq ventilyatorlar, elektr proigrivatellar v.b. ishlatiladi.



2.6- rasm. Ekranlangan qutbli bir fazali asinxron dvigatel

2.5. INDUKSION KUCHLANISH ROSTLAGICH (REGULYATOR)

Induksion kuchlanish rostlagich maxsus faza rotorli asinxron mashina bo'lib, kuchlanishni silliq va keng rostlash uchun mo'ljallangan. Qo'llashda afzallikga ega bo'lgan, uch fazali induksion rostlagichni ko'rib chiqamiz. Induksion rostlagichning rotori chuvalchang uzatma yordamida tormozlangan bo'lib, bu moslama yordamida rotorni statorga nisbatan belgilangan xolatga burish uchun xam ishlatiladi. Induksion rostlagichning stator va rotor chulg'ami avtotransformatorli bog'langan (2.7, a-rasm), ya'ni elektr jixatdan ulangan bo'daji. Bunday regulyator uchfazali buriluvchi avtotransformator ko'rinishda ishlab chiqariladi va uch fazali o'zgaruvchan kuchlanishni rostlash uchun ishlatiladi, shuning uchun ayrim xollarda induksion rostlagichni *buriluvchi avtotransformator* xam deb ataladi.

Induksion rostlagichning sxemasi 2.7, a-rasmda ko'rsatilgan. Bunda birlamchi chulg'am sifatida rotor chulg'ami ishlatilsa, ikkilamchi chulg'am sifatida esa stator chulg'ami ishlatiladi.

Induksion rostlagich uch fazali tarmoqqa ulansa, uning rotor va stator chulg'amlarining har bir fazasida EYK hosil bo'ladi:

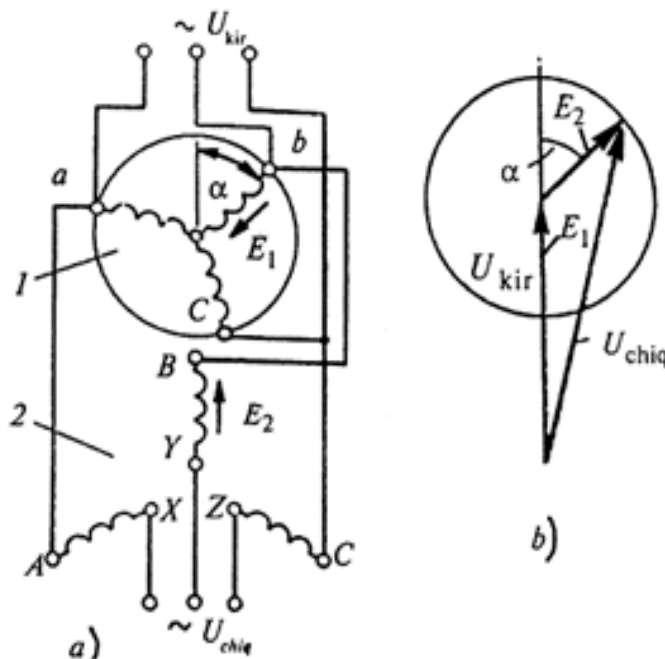
$$\underline{U}_{reg} = \underline{E}_1 + \underline{E}_2 \approx \underline{U}_{kir} + \underline{E}_2, \quad (2.6)$$

bu erda: $\underline{U}_{kir} = \underline{U}_1 \approx \underline{E}_1$; $\underline{U}_2 \approx \underline{E}_2$ — chiqishdagi kuchlanish; \underline{U}_{kir} — kirishdagi kuchlanish. (2.6) tenglamadan shu narsa ko'rinadiki, \underline{U}_{kir} va \underline{E}_2 vektorlari geometrik qo'shilar ekan, shu sababli \underline{U}_{reg} kuchlanishning qiymati \underline{U}_{kir} va \underline{E}_2 vektorlari orasidagi burchakka bog'liq bo'ladi. Rotorning holati o'zgarganda bu burchak o'zgarib turli qiymatli U_{reg} kuchlanishni olish mumkin.

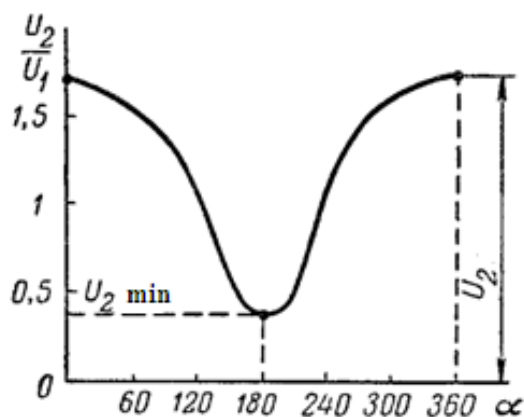
Tarmoq kuchlanishi U_1 rotor chulg'amiga berilganda, rotorda aylanuvchi magnit maydon xosil bo'ladi xamda rotorda $E_1 = -U_1$ va statorida E_2 EYK ni (2.7-rasm) xosil qiladi.

Ushbu xosil bo'lgan EYK larning fazoviy siljish burchagi, stator va rotor chulg'amlari o'qlarining joylashish xolatini bildiruvchi α burchak bilan belgilanadi. $\alpha=0$ bo'lganda, chulg'amning o'qlari mos keladi va aylanuvchi magnet maydon ikkala chulg'amga birdek ilashib, ularda xosil bo'lgan EYK E_1 va E_2 lar mos yo'nalgan bo'ladi (bunda E_2 va U_1 qarama-qarshi fazada joylashgan).

2.7-rasm. Kuchlanishni induksion rostlagichning ulanish sxemasi (a) va vektor diagrammasi (b)



2.8-rasm. Uch fazali induksion rostlagich chiqishidagi kuchlanish o'zgarishi



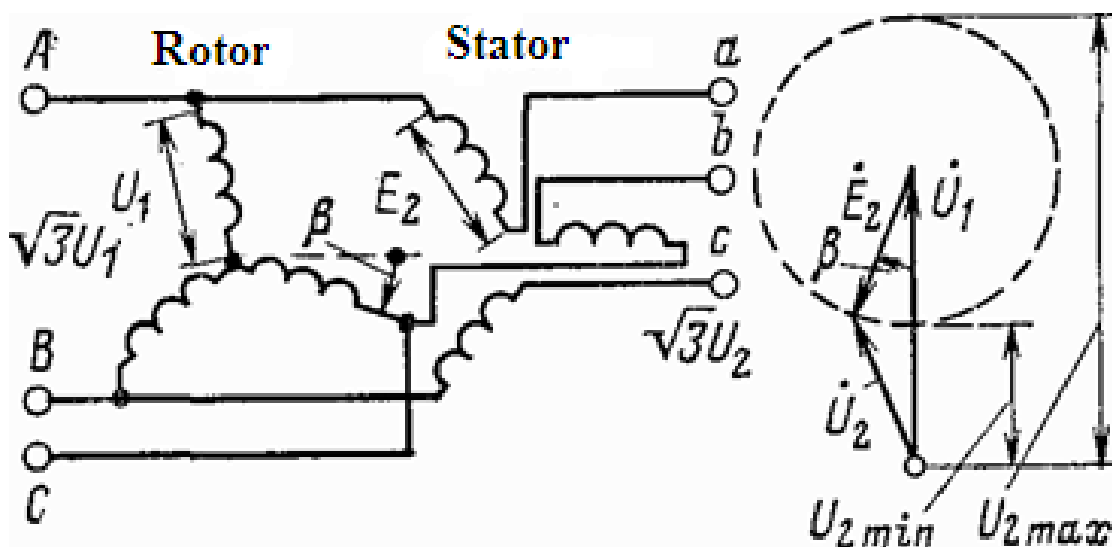
$\alpha=180$ el. grad bo'lganda EYK E_1 va E_2 qarama-qarshi fazada joylashadi (E_2 va U_1 mos fazada joylashgan). Ichki kuchlanish tushuvini xisobga olmasak, kuchlanish rostlagichning chiqishidagi kuchlanish geometrik yig'indi bilan aniqlanadi:

$$U_2 = U_1 + E_2 \quad (2.7)$$

Rotorni aylantirganda \dot{E}_2 va \dot{U}_2 vektorlari oxirlari aylanani chizadi

2.9-rasm), \dot{U}_2 bunda $\alpha = 0$ bo'lganda $\dot{U}_{2min} = \dot{U}_1 - \dot{E}_2$ dan $\alpha = 180$ el. Gradusda $\dot{U}_{2max} = \dot{U}_1 + \dot{E}_2$ gacha o'zgaradi. Rotorni burish qo'lda shturvalni burash yoki regulyatorni uzoqdan boshqarishga imkon beradigan bajaruvchi dvigatel yordamida amalga oshiriladi.

Induksion rostlagich kuchlanishni silliq o'zgartirish kerak bo'lgan barcha hollarda masalan, laboratoriya tadqiqotlarida, avtomatikada, taqsimlash tarmoqlarida kuchlanishni rostlash uchun ishlatiladi.



2.9-rasm. Uch fazali induksion rostlagichning sxemasi va diagrammasi

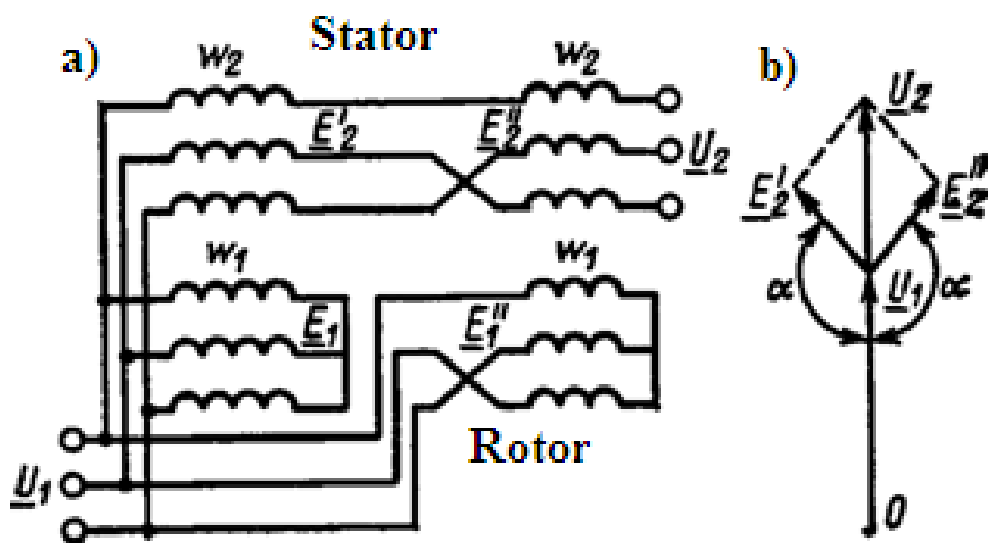
Agarda birlamchi chulg'amning R_1 va X_1 qarshiliklarini hisobga olmasak, unda $U_1 = E_1$ teng bo'ladi. Birlamchi va ikkilamchi chulg'amlarda xosil bo'lgan EYKlarning nisbati quyidagicha aniqlanadi:

$$\frac{E_1}{E_2} = \frac{w_1 k_{o1}}{w_2 k_{o2}}$$

Induksion regulyatorning birlamchi chulg'ami uchburchak yoki yulduz ulanishi mumkin. Induksion rostlagichning birlamchi va ikkilamchi chulg'amlari teng bo'lsa $E_2 = E_1 = U_1$, bunda $U_{2max} = 2U_1$, $U_{2min} = 0$ ga teng bo'ladi.

Agarda faqat kuchlanishning qiymatini rostlash kerak bo'lib, uning fazoviy siljishi kerak bo'lmasa, unda ikkitalik induksion rostlagich ishlatiladi (2.10-rasm). Ushbu induksion rostlagich ikkita induksion rostlagichdan tuzilgan bo'lib rotor

chulgʻamlari parallel ulangan va stator chulgʻamlari ketma-ket ulangan boʻladi. Ushbu induksion rostlagichlar umumiy valga ega boʻlib magnit maydonlari qarama-qarshi yoʻnalgan.



2.10-rasm. Ikkitalik induksion rostlagicha) elektr sxemasi va b) vektor diagrammasi

Shuning uchun ikkita rotorda xosil boʻlgan EYK lar shunday yoʻnaltirilganki natijada U_2 va U_1 vektorlar oʻzaro siljmaydi. Bunday induksion rostlagichlarning kamchiligi ogʻirligining koʻpligidir.

2.6. FAZA ROSTLAGICH (FAZOREGULYATOR)

Fazoregulyator (2.11-rasm) konstruksiyasi jihatidan faza rotorli asinxron mashina boʻlib, ikkilamchi chulgʻam kuchlanishining qiymati oʻzgartirilmagan holda uning birlamchi kuchlanishga nisbatan fazasini oʻzgartirib beradi. Uning induksion regulyatordan farqi shuki, fazoregulyatorda rotor va stator chulgʻamlari oʻzaro elektr jihatdan ulanmagan, yaʼni transformator bogʻlanishga ega, shuning uchun ham uni ayrim holda *buriluvchi transformator* deb ataladi.

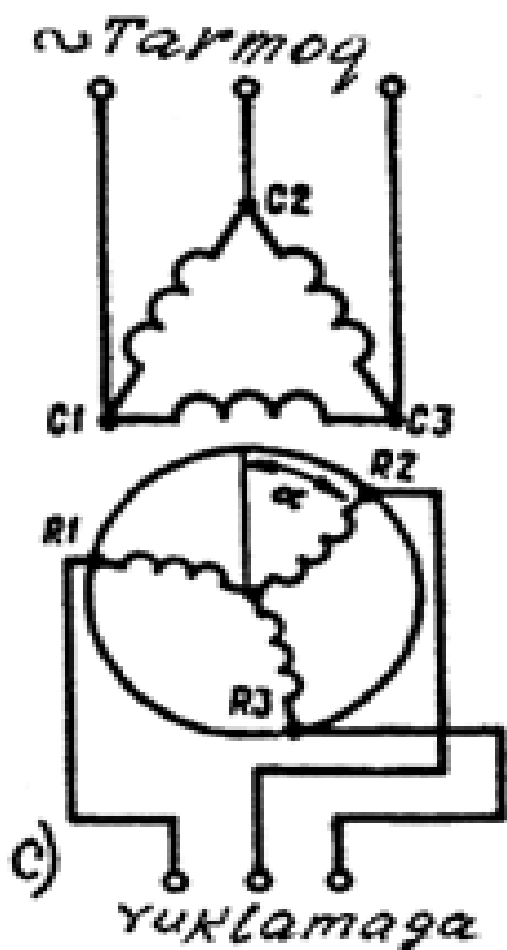
Uning stator chulgʻami tarmoqqa ulanadi, rotor chulgʻamlaridan esa fazasi oʻzgargan kuchlanish olinadi (2.11-rasm). Faza rostlagichning rotori chervyak uzatmasi orqali maxovik yordamida buriladi. Rotor burilganda undan olinadigan

kuchlanishning (tarmoq kuchlanishiga nisbatan) faqat fazasi o'zgarib, qiymati esa o'zgarmaydi.

Ikkilamchi chulg'am kuchlanishi fazasini rotorni statorga nisbatan burish bilan amalga oshiriladi (stator chulg'amini birlamchi chulg'am deyiladi). Agarda faza rotorli asinxron mashinaning rotori va statorining bir xil faza o'qlari mos tushsa, aylanuvchi magnit oqimi stator va rotor chulg'amlarini bir vaqtda kesib o'tadi demak, hosil bo'lgan EYK E_1 va E_2 larning fazalari ham bir xil bo'ladi. Rotorni u yoki bu tomonga α burchakka burib (2.10-rasm), kerak bo'lgan EYK fazasini olish mumkin, ya'ni:

$$e_2 = E_{2\max} \sin(\omega t \pm \alpha). \quad (2.8)$$

Faza rostlagich avtomatikada faza bo'yicha xatolikni kompensatsiyalashda, boshqariladigan to'g'rilagichlarda, elektr o'lchov asboblarini tekshirishda va boshqalarda ishlatiladi.



2.11-rasm. Fazarostlagichning ulanish sxemasi.

2.7. ASINXRON CHASTOTA O'ZGARTKICH

Faza rotorli asinxron mashina chastota o'zgartgich sifatida ishlashi mumkin, chunki rotordagi tok chastotasi f_2 ga teng, ya'ni:

$$f_2 = f_1 s = p(n_1 \pm n_2) / 60, \quad (2.9)$$

bunda «-» belgisi rotorning magnit maydoni bilan birxil yo'nalishda aylanishini, «+» belgisi esa uning magnit maydoniga teskari tomonga aylanishini ko'rsatadi.

Asinxron chastota o'zgartgich faza rotorli asinxron mashina va uning valiga ulangan aylanish chastotasi rostlanadigan ishga tushirish dvigatelidan iborat (2.12-rasm). Asinxron mashinaning birorta (masalan, stator) chulg'ami, chastotasi f_1 bo'lgan uch fazali elektr tarmog'iga ulansa, boshqa chulg'amidan (rotor chulg'amidan) chastotasi $f_2 = f_1 s$ bo'lgan o'zgaruvchan tok olinadi.

$f_2 > f_1$ chastota olish uchun asinxron mashina stator magnit maydoni yo'nalishiga teskari bo'lgan tomonga aylantiriladi. Bunda chastota o'zgartgich elektromagnit tormoz ($s > 1$) rejimida ishlaydi, dvigatel esa unga mexanik quvvat uzatadi.

$f_2 < f_1$ chastota olish uchun esa chastota o'zgartgich dvigatel rejimida va stator magnit maydoni yo'nalishi bo'yicha aylantirilishi lozim. Bunda chastota o'zgartgich generator bo'lib ishlayotgan birlamchi dvigatel hosil qilgan elektromagnit momenti ta'sirida tormozlanadi. Generator rejimida ishlayotgan dvigatel elektr energiyasini asinxron mashina ulangan tarmoqqa uzatadi.

AChO'ning chiqishidagi quvvati (rotor zanjirining elektr quvvati), statorda xosil bo'lgan magnit maydonning rotor chulg'amiga berayotgan elektromagnit quvvati P_{em} bilan yurgizuvchi dvigatelning mexanik quvvati yig'indisiga teng, ya'ni

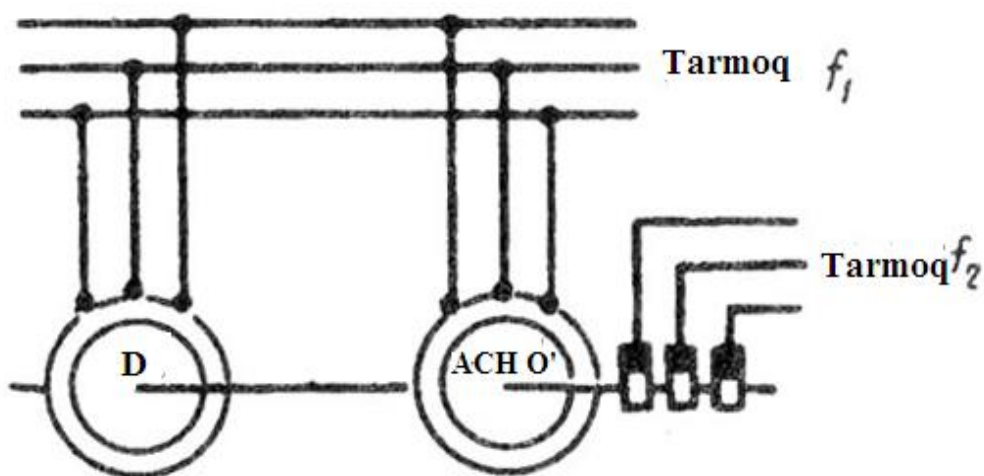
$$P_2 = P_{em} + P_{yud}$$

P_{em} va P_{yud} quvvatlar orsidagi nisbat sirpanishga bog'liq. AChO' $s=2$, bilan ishlaganda ushbu quvvatlar teng bo'ladi va rotor quvvatning yarmini statordan, yarminiesha yurituvchi dvigateldan oladi. Chastota f_2 ni ravon, bir tekis rostlash

uchun birlamchi dvigatel sifatida o'zgaras tok dvigatelidan foydalanib, uning aylanish chastotasini o'zgartirish kerak bo'ladi.

Ammo AChO' ning yuritish dvigateli sifatida, ma'lum bir chastotani olish uchun asinxron yoki sinxron dvigatel ishlatiladi.

Zavodlar, fabrikalardagi, qurilish ishlarida, konlarda, chastotasi 50 Hz bo'lgan uch fazali o'zgaruvchan tok elektr energiyasidan foydalaniladi. Boshqa chastotaga o'zgartirish uchun asinxron yuritmal asinxron chastota o'zgartkich ishlatilishi mumkin.



2.12-rasm. Asinxron chastota o'zgartkichning ulanish sxemasi

Asinxron chastota o'zgartkichlar chastotani oshirish kerak joylarda keng qo'llaniladi, masalan tez yurar asinxron dvigatellarni 50 Hz dan ko'p bo'lgan chastotali tok bilan ta'minlash uchun. Boshqa agregatlar, tok chastotasini o'zgartirish uchun, ayniqsa katta quvvatlarda (masalan, sinxron generator yurituvchi dvigatel bilan) qimmatga tushadi.

2.13-rasmda asinxron chastota o'zgartkichning prinsipial ulanish sxemasi keltirilgan. O'zgartkich (AChO') ning stator chulg'ami normal chastotali f_1 tarmoqqa ulanadi, uning rotor chulg'ami esa kontakthalqa va cho'tka orqali f_2 tarmoqqa ulanadi. Yurituvchi dvigatel (D) xam birlamchi tarmoqqa ulanadi.

Chastotani ($f_2 > f_1$) oshirish uchun o'zgartkichning rotorini magnit maydoni aylanish yo'nalishiga qarshi aylantiriladi. Shunda EYK $E_2 s = s_0 \cdot E_2$ rotorda xosil

bo'lgan EYK, $f_2 = s_o \cdot f_1 > f_1$ chastotaga ega bo'ladi, chunki magnit maydonga rotorni qarama qarshi aylantirganda o'zgartkichning sirpanishi $s_{o'} > 1$ katta.

Rotor zanjirining to'la elektr quvvati P_{e2} , $s > 1$ bo'lganda elektromagnit quvvat P_{em} bilan qo'shilib P'_2 quvvatini xosil qiladi.

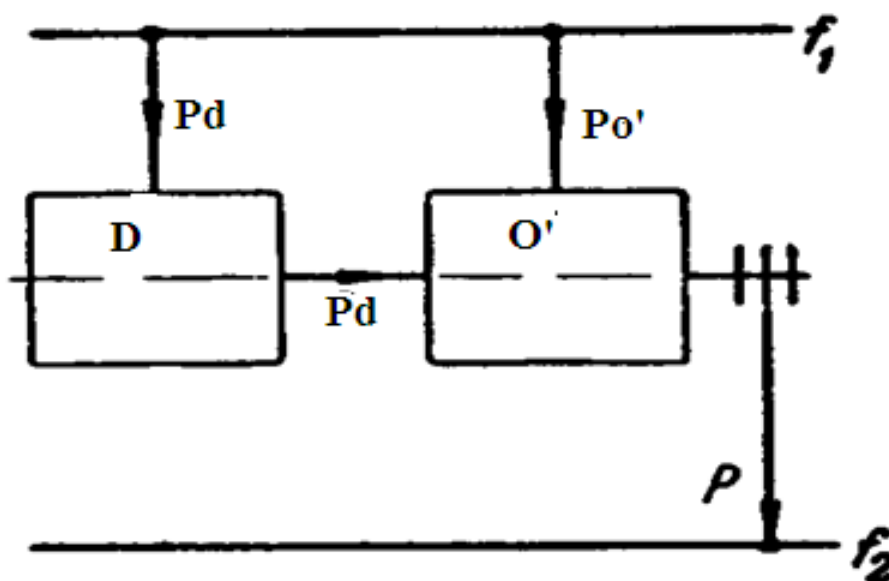
Ma'lum nisbatlarni inobatga olib quyidagicha yozamiz:

$$P_{em} = 1/s_o \cdot P_{e2} \quad va \quad P'_2 = \frac{s_{o'} - 1}{s_{o'}} P_{e2} \quad (2.10)$$

Agar dvigatel juft qutblari r_d bo'lsa, o'zgartkichning esa juft qutblari $r_{o'}$ bo'lsa, o'zgartkichdagi sirpanish quyidagiga teng:

$$s_{o'} = \frac{n_1 - n_2}{n_1} = \frac{P_{o'} + P_d}{P_d} \quad (2.11)$$

Bu erda n_1 - o'zgartkich magnit maydoni aylanish tezligi; n_2 - o'zgartkich rotorinig aylanish tezligi (yurituvchi dvigatelning sirpanishini xisobga olmaymiz).



2.13-rasm. Asinxron chastota o'zgartkichning prinsipl sxemasi

Mashinada isrof yo'q deb tasavbyr qilamiz. Shunda (2.13-rasm)ga ko'ra quyidagilarga ega bo'lamiz:

$P_{e2} = P$ (ikkinchi tarmoq quvvati);

$P_{em} = P_{o'}$ (o'zgartkich quvvati) va $P'_2 = P_d$ (dvigatel quvvati).

Yuqorida keltirilgan quvvatlarning nisbatlari, (2.9) ni (2.10) qo'yib olamiz:

$$P_{o'} = \frac{P_d}{P_{o'} + P_d} P \quad va \quad P_d = \frac{P_{o'}}{P_{o'} + P_d} P \quad (2.12)$$

Agarda o'zgartkich $f_1 = 50$ Hz chastotani, $f_2 = 150$ Hz chastotaga o'zgartsa, unda uning sirpanishi $s_o = f_2/f_1 = 3$, (2.10)ga muvofiq $p_d = 1$ va $p_o = 2$ bo'ladi, unda (2.11) ga ko'ra $P_o = 0,33P$ va $P_d = 0,67P$.

$$n_2 = n_1(1 - s) = (f_1 60/p)(1 - s). f_2 = pn_s/60 = p(n_1 - n_2)/60,$$

yoki

$$f_2 = \frac{p(n_1 - n_2)}{60} \frac{n_1}{n_1} = \frac{pn_1}{60} \frac{n_1 - n_2}{n_1} = f_1 s \quad (2.15)$$

1. $n_1 = 1500$, $n_2 = 1450$ rotor magnit maydon aylanish yo'nalishi bo'yicha aylansa:

$$f_2 = \frac{p(n_1 - n_2)}{60} \frac{n_1}{n_1} = \frac{pn_1}{60} \frac{n_1 - n_2}{n_1} = f_1 s = \frac{2(1500 - 1450)}{60} = 1,667 \text{ Hz}$$

2. $n_1 = 1500$, $n_2 = 1450$ rotor magnit maydoni aylanishiga qarama-qarshi yo'nalish bo'yicha aylansa:

$$f_2 = \frac{p(n_1 - n_2)}{60} \frac{n_1}{n_1} = \frac{pn_1}{60} \frac{n_1 - n_2}{n_1} = f_1 s = \frac{2(1500 + 1450)}{60} = 98,3 \text{ Hz}$$

Quvvati katta bo'lmagan chkastota o'zgartkichlarda (5-30 kVA, $\cos\varphi_2 = 0,8 \div 0,75$ da), o'zgartkich va dvigatellarning birlamchi tarmoqdan oladiga xaqiqiy quvvatlari isroflarni xisobga olgan xolda, 25-35% ni tashkil qiladi. Shuni e'tiborga olish kerakki o'zgartkichning vali orqali faqat aktiv energiya beriladi, ikkilamchi zanjirga va o'zgartkichning o'ziga birlamchi zanjirdan stator orqali reaktiv energiya beriladi.

Asinxron chastota o'zgartkichning asosiy kamchiliklaridan biri uning yuklama bilan ishlaganda U_2 kuchlanishi ko'proq pasayishidir (10-30%, $\cos\varphi_2 = 1 \div 0,7$ da). Bu erda U_2 , tarmoq kuchlanishi U_1 ni roslash orqali amalga oshiriladi va bu usul kam foydalaniladi.

Ko'p xollarda o'zgartkichning ikkilamchi zanjiri yuklamasi sifatida asinxron dvigatellar ishlatiladi. Shunda ushbu dvigatellarning salt ishlashidan yuklama bilan ishlashga o'tganida U_2 kam o'zgaradi, chunki tarmoqdan olayotgan reaktiv energiyasi o'zgaradi.

Asinxron o'zgartkichlarni ishlab chiqarishda shuni e'tiborga olish kerakki, rotor chastotasi katta bo'lgani uchun yarmo va tishlardagi induksiyaning kamaytirish kerak.

Asinxron chastota o'zgartkich uchun quyidagi kuchlanish va tok tenglamalarini yozishimiz mumkin:

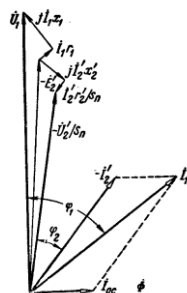
$$U_1 = -E_1 + I_1(r_1 + jx_1);$$

$$s_o E'_2 = I'_2(r'_2 + jx'_2 s_o) + I'_2(R' + jX' s_o) = I'_2(r'_2 + jx'_2 s_o) + U'_2;$$

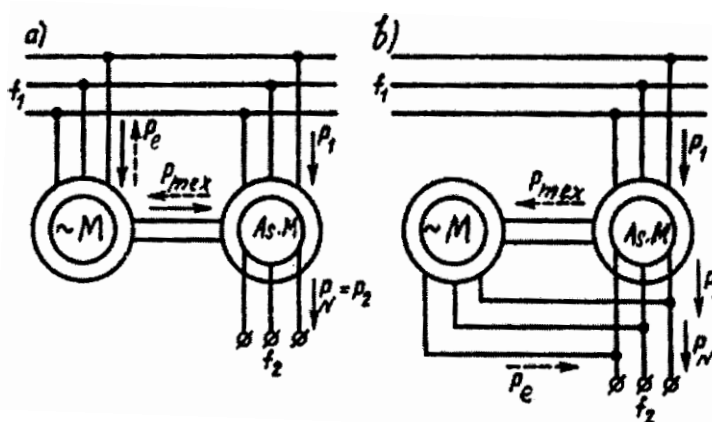
$$E'_2 = E_1 = I'_2 \left(\frac{r'_2}{s_o} + jx'_2 \right) + \frac{U'_2}{s_o};$$

$$I_1 + I'_2 = I_{os},$$

Bu erda $U'_2 R'$ i X' - o'zgartkichning stator chulg'amiga keltirilgan rotor chulg'amlari ikkilamchi kuchlanishi va yuklama qarshiligi. Ushbu tenglamaga muvofiq 2.14-rasmda yuklama bilan ishlayotgan o'zgartkichning vektor diagrammasi ko'rsatilgan.



2.14-rasm. Yuklama bilan ishlayotgan o'zgartkichning vektor diagrammasi



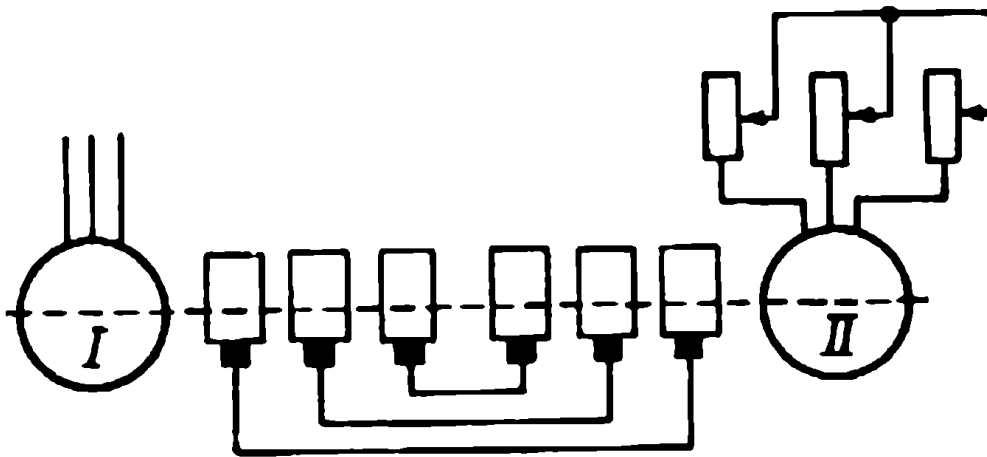
2.15-rasm. Birlamchi (yurituvchi) dvigateli tarmoqqa (a) yoki chastota o'zgartgichning chiqishiga (b) ulangandagi asinxron chastota o'zgartgichning sxemalari; P_e – elektr quvvat; P_{mex} – mexanik quvvat; $As.M$ – asinxron mashina

2.8. ASINXRON KASKADLAR

Faza rotorli asinxron dvigatellarda, tezlikni reostatlar yordamida rostlaganda, energiyaning bir qismi reostatlarning qizishiga sarflanib isrof bo‘ladi, ushbu energiyani boshqa asinxron dvigatelga berib mexanik energiyaga aylantirsa bo‘ladi. Bu esa tarmoqdan berilgan energiya samaradorligini oshiradi.

Sirpanishda xosil bo‘lgan energiyani tarmoqqa uzatish yoki asosiy dvigatelning validagi mexanik energiyani oshirish uchun asinxron dvigatellarni ulash sxemasiga kaskadli ulanish sxemasi deyiladi.

Kaskadning normal ishlashi uchun *I* va *II* dvigatellar o‘zaro mexanik, xam elektr bog‘langan bo‘lishlari zarur (2.16-rasm). Faqat elektr bog‘lanish etarli xisoblanmaydi, chunki bu xolatda *I* dvigatel normal tarmoq kuchlanishi va chastotada ishlaydi, *II* dvigatel esa past kuchlanishli va kam chastotada ishlaydi. Shuning uchun *II* dvigatelda etarli burovchi moment xosil bo‘lmaydi va *I* dvigatelning rotor zanjiriga ulangan oddiy qo‘shimcha qarshilik vazifasini bajarib qoladi.



2.16-rasm. Asinxron dvigatellarning kaskadi

Kaskad uchun birinchi va ikkinchi dvigatellarni tegishli xarakteristikali tanlash zarur. Agar ikkita dvigatel tuzilish jixatdan bir xil bo‘lsa (temir yo‘l tortish shartiga ko‘ra), bunda stator yuqori kuchlanish zanjirini bildiradi, rotor esa past kuchlanishli, unda ikki dvigatelning rotorlarini biriktirsak, bunda birinchi dvigatelning rotorini ikkinchi dvigatelning statoriga ulash to‘g‘ri xisoblanmaydi. Maxsus qurilmalarda ikkinchi dvigatel sifatida qisqatutashgan rotrli asinxron

dvigatel ishlatiladi; bunday xolatda birinchi dvigatelning rotori ikkinchi dvigatelning statoriga ulanadi va ikkita zanjiring xarakteristikasi mos bo'lishi shart. Bunday xolatlarda shuni e'tiborga olish kerakki, ikkita dvigatel xosil qilgan momentlar mos tushishi kerak.

Agarda birinchi dvigatelning rotor chulg'amidagi tok chastotasi nolga yaqinlashsa, ya'ni ikkinchi dvigatelning stator chulg'amidagi chastota nolga yaqinlashsa kaskad turg'un ishlaydi.

f_1 – tarmoq chastotasi, kaskadning sinxron aylanish tezligi n_{ks} ga to'g'ri keladigan f_2 – birinchi dvigatelning rotor zanjiridagi tok chastotasi, birinchi va ikkinchi dvigatellarning p_1 va p_2 – juft qutblar soni, n_1 va n_2 – mos ravishda 1 va 2 dvigatellarining sinxron aylanish tezligi deb belgilasak.

Unda:

$$n_1 = \frac{f_1}{p_1}; f_2 = (n_1 - n_{kc})p_1$$

II dvigatelda rotorga nisbatan aylanuvchi magnit maydon paydo bo'ladi:

$$n_2 = \frac{f_2}{p_2} = (n_1 - n_{kc}) \frac{p_1}{p_2}$$

Agarda n_2 kaskadning sinxron aylanish tezligi n_{ks} gateng bo'lsa, kaskadning turg'un ishlash sharti bajarilgan bo'ladi: bunda

$$n_{kc} = n_2 = (n_1 - n_{kc}) \frac{p_1}{p_2}$$

Bu erdan

$$n_{kc} = n_1 \frac{p_1}{p_1 + p_2} = \frac{f_1}{p_1 + p_2}$$

Shunday qilib, ikkita elektr bog'langan dvigateldan tashkil topgan kaskad, juft qutblar soni, ikkita dvigatellarning juft qutblari yig'indisiga ega bo'lgan bitta asinxron dvigatelni tashkil etadi. Kaskadning xaqiqiy aylanish tezligi $n_k < n_{ks}$, chunki uning tezligi yuklamaga bog'liq xolda o'zgarib, ma'lum bir sirpanishda ishlaydigan oddiy dvigateldir.

2.16-rasmدا ko'rsatilgan qurilmaning ko'rinishini o'zgartirib, ya'ni bir-biridan aloxida ishlaydigan yoki kaskad bilan birga ishlaydigan qilib o'zgartirish mumkin. Bu

xolatda p_1, p_2 va p_1+p_2 juft qutblarga ega bo'lgan uch xil tezlikga ega bo'lishimiz mumkin.

Kaskaddagi quvvatning taqsimlanishi xuddi dvigateldagi singari bo'ladi. $P_{em}=P_{mex}+P_{m2}$ – formulaga ko'ra quvvat P_{mx} , n tezlikka mutonosib, rotor zanjiridagi quvvat isrofi s sirpanishga bog'liq.

Kaskadning aylanish tezligi n_k , deb belgilasak, unda sirpanish

$$s = \frac{n_1 - n_k}{n_1}$$

Agar P_{em} – birinchi dvigatelning statoridan rotoriga berilayotgan kaskadning elektromagnit quvvati bo'lsa, unda kaskadning valiga berilayotgan mexanik quvvat $P_{mex} = P_{em} \frac{n_k}{n_1}$ ni tashkil etadi.

Quvvatning qolgan qismi $P = P_{em} \frac{n_1 - n_k}{n_1}$ dvigatelning ikkinchi konturiga elektr quvvat sifatida beriladi va bu erda mexanik energiyaga aylantiriladi.

Agar $n_k \sim n_{ks}$, unda

$$\frac{P_{mex}}{P} = \frac{n_k}{n_1 - n_k} \approx \frac{P_1}{P_2}$$

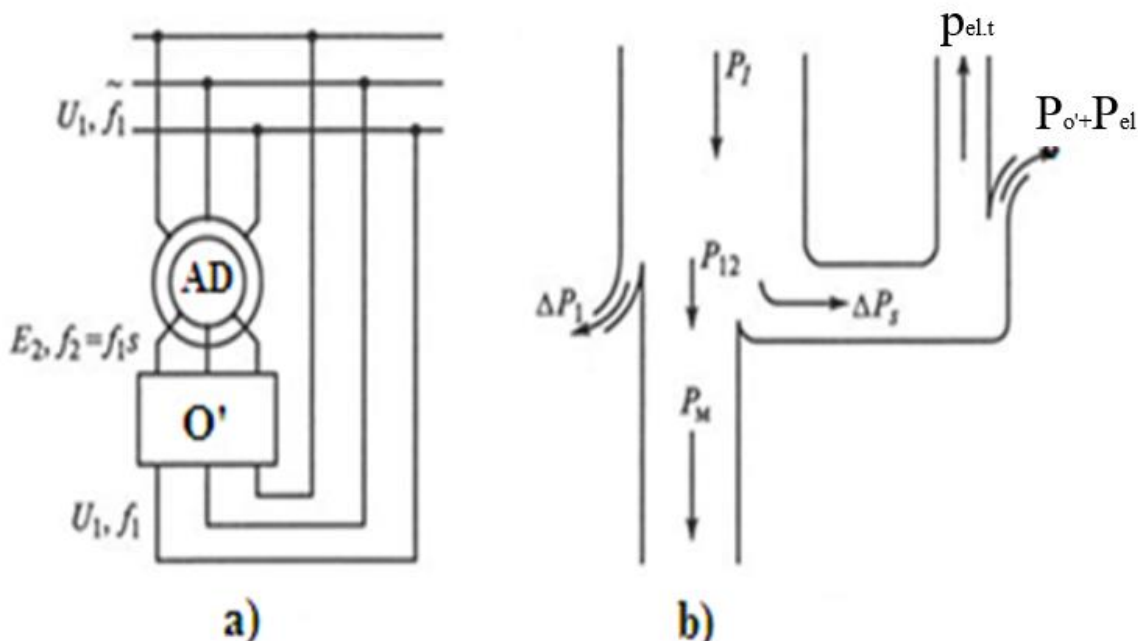
Ikki dvigateldan tashkil topgan kaskad quyidagi kamchiliklarga ega. Birinchi dvigatel orqali tarmoqdan ikkala dvigatelni magnit oqimini xosil qiluvchi magnitlovchi tok I_{ok} oqib o'tadi. Shuning uchun kaskadning salt ishlash toki I_{ok} , bitta dvigatel salt ishlash toki I_0 dan katta.

Xar xil pog'onali tezlikni olish uchun, kaskadni tashkil etuvchi xar bir dvigatelning qutblar sonini o'zgartirish yo'li bilan amalga oshiriladi.

Xar xil guruxdagi kaskad sxemasi mavjud. Ulardan biri 2.16-rasmda ko'rsatilganidek, asinxron dvigatelning kontakt halqalaridan o'zgartkichirishiga $f_2=f_1s$ chastotali sirpanishdan xosil bo'lgan energiya beriladi, chiqishi esa U_1 kuchlanishli va f_1 chastotali ta'minlovchi tarmoqqa ulanadi. Ushbu guruxdagi kaskadlardagi sirpanish energiyasi ΔP_s , asinxron dvigatel rotor chulg'amidagi va o'zgartkichlardagi energiya isroflarini xisobga olgan xolda $\Delta P_{o'z} + \Delta P_{el2}$, (2.17, b-rasmdagi) energetik diagrammga ko'ra tarmoqqa uzatiladi.

Asinxron dvigatel va o'zgartkich o'zaro elektr bog'langanligi uchun ushbu guruxdagi kaskadlarni elektr kaskadlar deb nomlanadi. 2.17, a-rasmda sirpanish

energiyasini mexanik energiyaga aylantiradigan boshqa guruxdagi kaskadning prinsipial sxemasi keltirilgan. Ushbu sxemada ko'rsatilganidek, sirpanish energiyasi birinchi o'zgartkichga beriladi, undan chiqqan elektr energiyasi yordamchi dvigatel U_{yor} ga beriladi va bu erda elektr energiyasi mexanik energiyaga aylantirilib asosiy dvigatelning valini aylantirishga sarflanadi, chunki asinxron dvigatel bilan yordamchi dvigatelning vallari o'zaro bog'langan.



2.17-rasm. Elektr kaskad: a-prinsipial sxema, b-energetik diagrammasi

Agar kaskatdagi dvigatellarning isroflarini xisobga olmasak, asinxron dvigatelning valiga mexanik quvvat beriladi.

$$P_{mAD} = M\omega - \text{asinxron dvigatelning mexanik energiyasi};$$

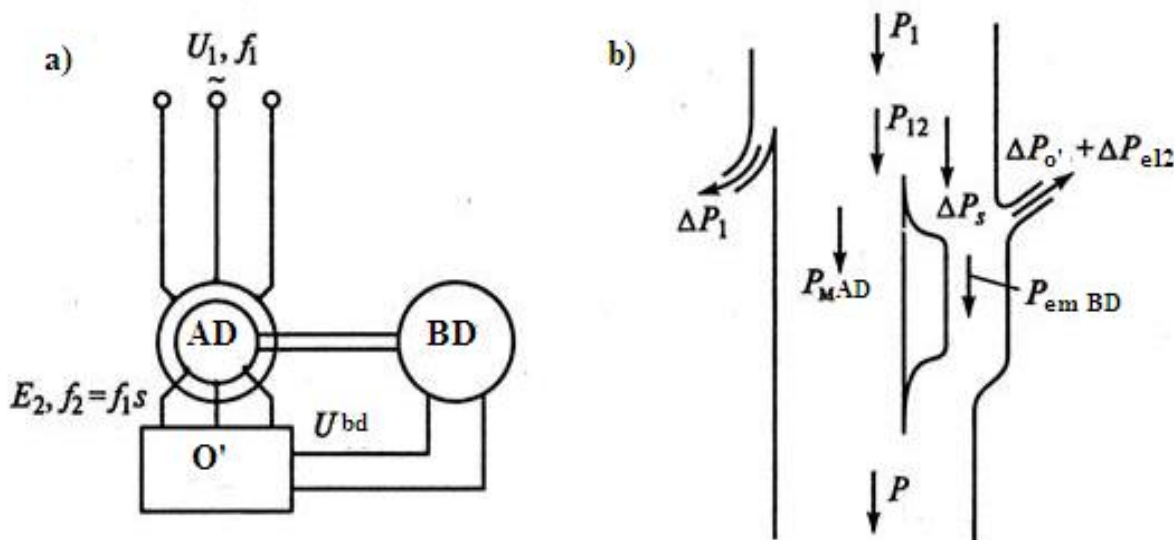
$$P_{emYOD} = \Delta P_s = M\omega_0 - \text{yordamchi dvigatelning elektromagnit quvvati}.$$

Kaskad valining umumiy mexanik quvvati:

$$P_{mk} = P_{mAD} + P_{emYOD} = M\omega + M\omega_0 = R_{12}$$

Shunday qilib, asinxron kaskadlarda yurituvchi dvigatel sifatida faqat faza rotorli asinxron motorlar ishlatilishi mumkin. Elektr kaskadning valdagi momenti asinxron dvigatelning momentiga teng, elektromexanik kaskadning valdagi momenti asinxron dvigatel va yordamchi dvigatellarning momenti yig'indisiga teng.

Asinxron kaskadlar asinxron dvigatelning rotor zanjiriga qo‘shimcha EYK kiritish orqali ishlaydi. Ushbu EYK ni asinxron dvigatelning tezligini rostdash orqali olinadi.

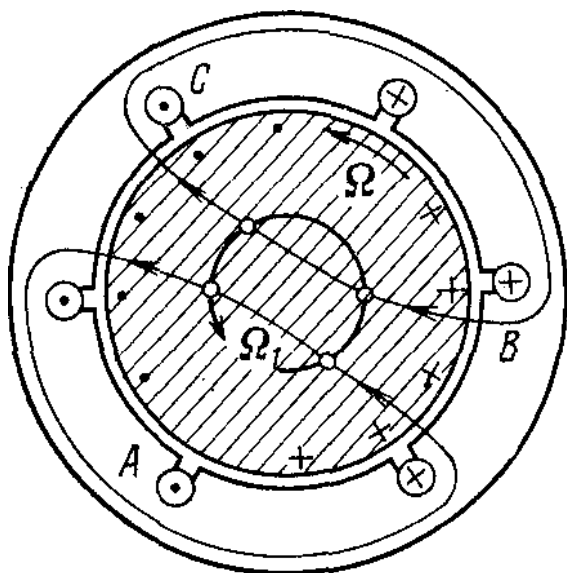


2.18-rasm. Elektromexanik kaskad: a-prinsipial sxema, b-energetik diagrammasi

2.9. MASSIV ROTORLI ASINXRON ELEKTROMEXANIK O‘ZGARTKICH

Ushbu elektromexanik o‘zgartkichning rotori ferromagnit to‘liq silindrdan tashkil topgan (2.19-rasm). Bunday rotor bir vaqtning o‘zida magnit o‘tkazgich va tok o‘tkazgich vazifasini bajaradi. Aylanuvchi magnit maydoni rotorning ma’lum bir qismigacha kirib borib, unda uyurma toklarni xosil qiladi. Ushbu tok magnit maydon bilan o‘zaro ta’sirlashib elektromagnit moentni vjudga keltiradi. Natijada sirt effekti byjudga kelib, rotorning uncha chuqur bo‘lmagan qatlamida elektromagnit maydon kirib borgan joydan uyurmaviy tok oqib o‘tadi. Ushbu magnit maydon kirib borishining ekvivalent chuqurligi, rotorni qayta magnitlash chastotasiga bog‘liq. 50 Hz chastotaga mo‘ljallab ishlab chiqarilgan dvigatellarda, ishga tushirish paytida ($s=1$) bo‘lganda, ushbu chuqurlik 1,0-3 mm ni, $s=0,05$ shuning uchun ishga tushirish paytida R_2' o‘ta katta, X_2' esa kam xamda sirpanish

kamayishi bilan R_2' kamayadi, X_2' -esa kattalashadi. Natijada sirt effektining vjudga kelishi tufayli massiv rotorli asinxron mashinaning ishga tushish momenti etarli darajada katta bo'ladi ($M_{it}/M_N=1,5\div 2,0$) (2.9.2-rasm) va bu dvigatel qisqa tutashgan rotorli asinxron dvigatellarga nisbatan o'zining FIK va quvvat koeffitsienti $\cos\varphi$ ning kamligi bilan orqada qoladi.



2.19-rasm. Massiv rotorli asinxron dvigatel

Bu xolat shu bilan tushintiriladiki, nominal rejimda $s=0,02\div 0,1$ magnit maydon rotorning tanasiga kirib borish chuqurligi etarli darajada kam bo'lganligi uchun elektr va magnit qarshiligi katta bo'ladi, shuning uchun katta elekt isroflari va katta magnitlovchi tokka ega.

Ish xarakteristikasini yaxshilash maqsadida, silindrsimon rotorning ikki yon tomoniga mis qisqa tutashgan halqa maxkamlanadi. Mis halqacha etarli darajada, po'latga nisbatan kam solishtirma qarshikka ega bo'lib, u xuddi olmaxon katakli rotorning qisqa tutashgan halqasi vazifasini bajaradi. Natijada rotorning yon tomonidagi elektr o'tkazuvchanlik ortib, massiv rotorning aktiv qarshiligi kamayadi. Shu maqsatda rotorning yuza qismini $0,1\div 0,3$ mm qalinlikdagi yupqa mis qatlam bilan qoplanadi. Bundan tashqari, ish xarakteristikasini yaxshilash maqsadida, massiv rotorning materialini elektr va magnit o'tkazuvchanligi yaxshi bo'lgan materialdan tayyorlash mumkin. Bu yo'nalishda oxirgi vaqtlarda ma'lum natijalarga erishilgan va dvigatelning energetik va texnik ko'rsatkichlarini

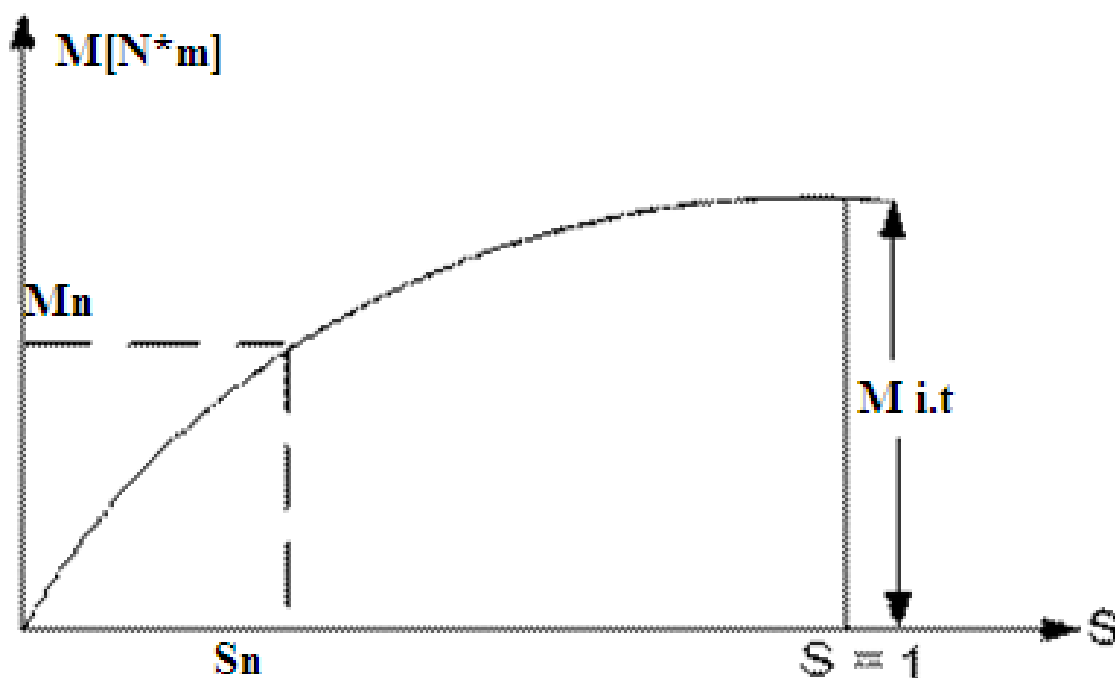
yaxshilaydigan, yuqori elektr o'tkazuvchanlik va magnit o'tkazuvchanlikga ega bo'lgan qorishmalar olingan.

Massiv rotorli dvigatellar bajaruvchi dvigatellar sirasiga kirib, avtomatik boshqarish tizimlarida ishlatiladi. Massiv rotor yuqori mexanik mustaxkamlikka ega bo'lganligi uchun, undan yuqori tezlikli dvigatellarni yaratish imkonini beradi (10000÷100000 ayl/min va yuqori). Bunday dvigatellar yuqori chastotali tok manbayidan ta'minot oladi (400÷1500 Hz) va maxsus elektr yuritmalarda va giroskopik qurilmalarda ishlatiladi.

Ushbu dvigatellarning texnologik tuzilishiga qaramasdan, ish rejimidagi energetik ko'rsatkichlarining pastligi uchun keng miqdorda ishlab chiqarishda qo'llanilmaydi.

Xozirgi kunda g'ovak magnit rotorli turlari mavjud. Bunday dvigatellarda rotorning massasini va inersiya momentini kamaytirish maqsadida rotori g'ovak shaklida tayyorlanadi. Rotor devori qalinligi magnit maydoni ish rejimida kirib borish chuqurligiga teng qilib tanlanadi. Bu qalinlik chastota 400÷1000 Hz da 0,3÷0,5 mm ni va 50 Hz da esa 1÷3 mmni tashkil etadi.

G'ovaksimon rotorli dvigatellarda foydali ish koeffitsienti η va quvvat koeffitsienti $\cos\varphi$ ning kamligi uchun ular keng tarqalmagan.



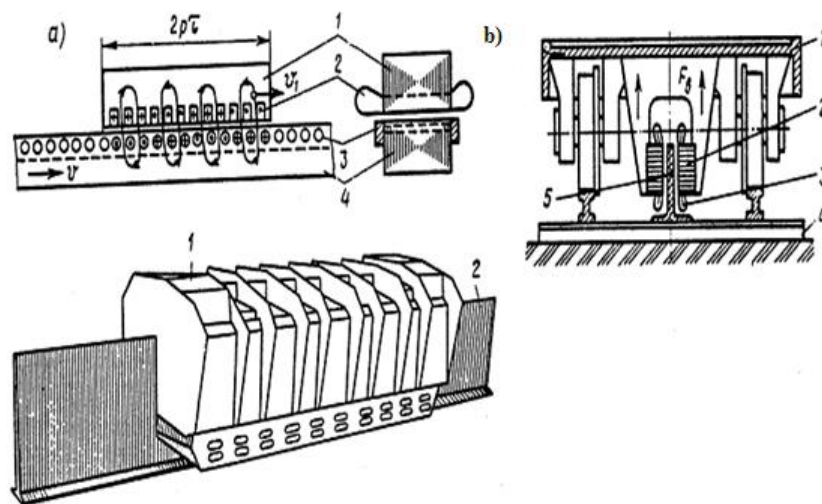
2.20-rasm. Massiv rotorli asinxron dvigatelning mexanik xarakteristikasi

2.10. CHIZIQLI ASINXRON ELEKTROMEXANIK O‘ZGARTKICH

Bunday dvigatelning tishli statori pazlariga uch fazali chulg‘am joylashgan (2.21, *a*-rasm). Chiziqli dvigatelning qo‘zg‘aluvchi qismi *yuguruvchi* deb ataladi, u asinxron mashina rotoriga o‘xshash bo‘ladi va faqat tekislik bo‘yicha *ilgarilanma* harakat qiladi. «Yuguruvchi»ning o‘zagi elektrotexnik po‘latdan tayyorlanib, uning pazlarida qisqa tutashgan chulg‘am joylashtirilgan bo‘ladi, yoki chulg‘am o‘rnida alyuminiy va misdan yoki fer-romagnit material (po‘lat)dan tayyorlangan plastinalar ishlatilishi mumkin.

Chiziqli dvigatelning ishlash prinsipi asinxron dvigatelning ishlash prinsipi kabi bo‘ladi. Uning energetik ko‘rsatkichlari (η va $\cos\phi$) kichik.

Elektrotexnika sanoati rivojlangan ayrim mamlakatlarda (masalan, Yaponiya, Kanada, AQSH va boshq.) ekologik toza yuqori tezlikli er usti (temir yo‘l) transportida chiziqli asinxron tortish dvigatellari ishlatilmoqda. Yaponiyada magnit vositasida havoga ko‘tarilib o‘rnatilgan («magnit yostiqli»)chiziqli asinxron tortish dvigatellari sistemasining 1990 yillarda temir yo‘ltransportidagi tezligi $n = 420$ km/soat (so‘nggi yillarda tezlik yana oshgan).



2.21-rasm. Chiziqli asinxron dvigatelning: *a*–elektromagnit sxemasi (bunda: *1* – stator, *2* – uch fazali chulg‘am; *3*– qisqa tutashgan chulg‘am, *4* –o‘zak); *b*–temir yo‘l transportining harakatlanuvchi qismi (*1*)da o‘rnatish sxemasi (bunda: *2* – stator, *3* – chulg‘am, *4* – uzun po‘lat tilimi *5* ni relslar orasida mahkamlash uchun moslama); *s* – umumiy ko‘rinishi (bunda: *1* – stator, *2* – uzun po‘lat tilimi, ya‘ni shinasi); F_k – chegaraviy effekt tufayli hosil bo‘ladigan ko‘ndalang kuch

Chiziqli dvigatelning qo‘zg‘aluvchi qismi ilgarilanma xarakat qiladi, shuning uchun bu dvigatellarni ilgarilanma xarakat qiladigan yuritmalarda qo‘llasak mexanizmning kinematikasini soddalashtirib, mexanizmning ishochliligini oshirishga va isroflarning kamayishiga sabab bo‘ladi.

Chiziqli dvigatellarning to‘rt xil turi mavjud: elektromagnitli, magnitoelektrikli (doymiy magnitni qo‘llash), elektrodinamik va asinxron.

Asinxron (induksion) chiziqli dvigatellarning tuzilishi oddiy va ishonchliligi yuqori bo‘lganligi uchun keng qo‘llaniladi.

Agar statorni kesib, uni tekislik bo‘ylab yoysak, chiziqli asinxron dvigatelga ega bo‘lamiz (2.22-rasm).



2.22 - rasm. Chiziqli asinxron dvigatel

Chiziqli asinxron dvigatelning oddiy asinxron dvigeteldan konstruktiv jihatdan farqi shundaki uning statorida (induktor) aylanma magnit maydon emas, balki yuguruvchi magnit maydon xosil bo‘ladi. Yuguruvchi magnit maydonning tezligi (m/s):

$$v_1 = 2\tau f_1 = f_1 l_c / p \quad (2.16)$$

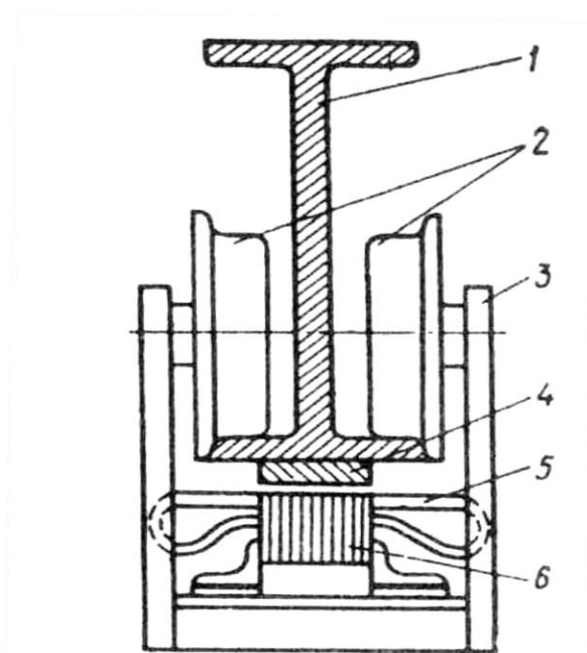
bu erda f_1 -stator chulg‘amidagi tokning chastotasi, Hz; τ – qutb bo‘linmasi; l_c – statorning (induktor) uzunligi, m.

Chiziqli asinxron dvigatelning ishlash prinsipi, induktorning yuguruvchi maydoni ikkilamchi elementdagi qisqatutashgan chulg‘amni kesib o‘tib, unda EYKni xosil qiladi. Ushbu chulg‘am sterjnlaridagi xosil bo‘lgan tok yuguruvchi element bilan ta’sirlashib, induktor va ikkilamchi elementda, qo‘zg‘aluvchan qismni qo‘zg‘almas qismga nisbatan siljitishga xarakat qiluvchi elektromagnit kuchlarni xosil qiladi. Ayrim konstruksiyali chiziqli dvigatellarda induktor

qo'zg'aluvchi qismi bo'lsa, ayrimlarida ikkilamchi element qo'zg'aluvchi bo'ladi. Agarda chiziqli dvigatellarning ikkilamchi elementida qisqatutashgan chulg'amni joylashtirish imkoni bo'lmasa, uning o'rniga mi,alyumin yoki ferromagnit po'latdan tayyorlangan tasmadan foydalanish mumkin. Chiziqli dvigatellarda ish xarakteristikasini yaxshilash maqsadida ferromagnit po'latdan tayyorlangan tasmaning usti mis qatlam bilan qoplanadi.

Chiziqli asinxron dvigatellarning asosiy kamchiliklaridan biri chet effektining paydo bo'lishidir. Bu effekt tufayli parazit tormozlovchi kuchlar paydo bo'ladi va qo'zg'aluvchi qismni ko'ndalang siljitishga xarakat qiladi.

Chiziqli asinxron dvigatellar tasmali konveyrlarda, ko'taruvchi transportli mexanizmlarda qo'llaniladi. 2.23-rasmda ko'taruvchi kran qo'zg'aluvchiaravasini qo'zg'atuvchi asinxron chiziqli dvigatel qurilmasi ko'rsatilgan. Qo'zg'aluvchi arava 3 da o'zak 6 ning pazlarida chulg'am 5 o'rnatilgan chiziqli asinxron dvigatelning induktori joylashgan. G'ildirak 2 ga yo'naltiruvchi po'latbalka 1 ning pastki qismiga po'lat tasma 4 maxkamlangan. Induktorning yuguruvchi magnit maydoni po'lat tasma 4 da uyurmaviy toklarni xosil qiladi. Ushbu toklar bilan induktor xosil qilgan magnit maydoni ta'siri natijasida xosil bo'lganelektromagnit kuch qo'zg'aluvchi aravani tasma 4 bo'ylab joylashtiradi.



2.23-rasm. Ko'taruvchi kranning chiziqli asinxron dvigatelli yuritmasi:
1- po'latbalka; 2-g'ildirak; 3-qo'zg'aluvchi arava, 4-tasma; 5-chulg'am; 6-o'zak

Chiziqli asinxron dvigatellarni nasoslarda qo'llasa bo'ladi, bunda rotor vazifasini suyuqlikning o'z bajaradi. Yassi nasoslar ikki tomonida chulg'ami bor statordan tashkil topgan bo'lib, ularning orasidan suyuq metal o'tadigan to'g'ri to'rt burchak shaklidagi kanali bo'ladi.

2.11. ASINXRON TAXOGENERATORLAR

Taxometrik genaratorlarni qisqartirib, taxogeneratorlar deb nomlanadi.

Ular mexanik aylanishni elektr signallarga (kuchlanish) aylantirishda ishlatiladi va hozirgi kunda avtomatik qurilmalarda, xususan avtomatlashtirilgan elektr yuritmalarda keng qo'llaniladi. Yana ular tezlikni o'lchovchi oddiy mexanik taxometrlarning o'rnida ishlatilishi mumkin.

O'zgaruvchan tok taxogeneratorlarning ko'p tarqalgan turi sifatida, bajaruvchi dvigatellarning tuzilishi bilan farq qilmaydigan, rotori g'ovak magnitsiz asinxron taxogenerator qo'llaniladi.

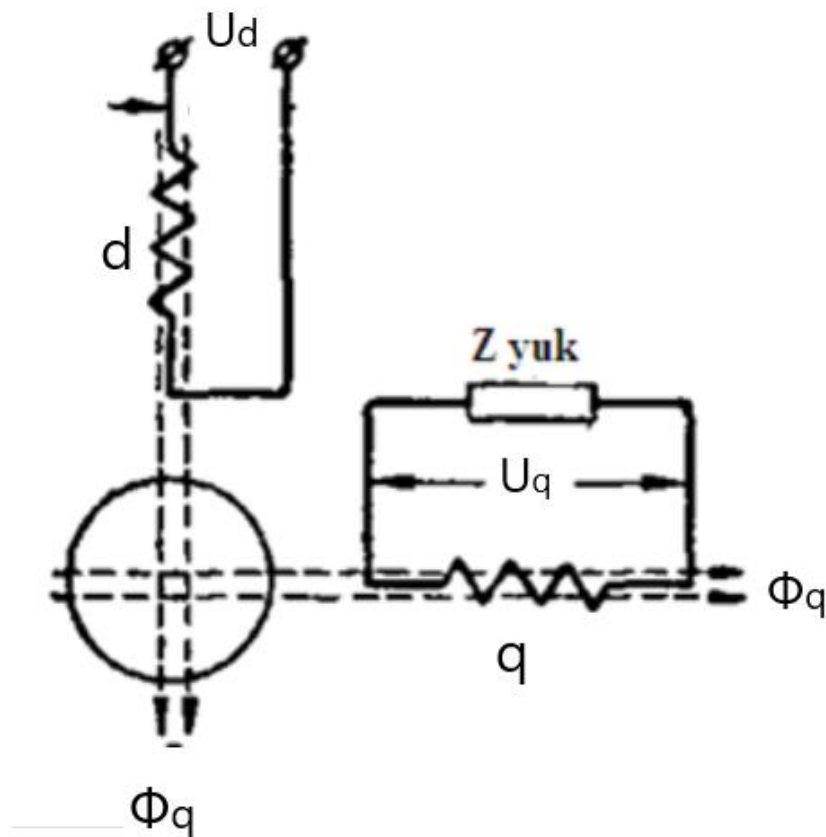
Bunday asinxron taxogeneratorning prinsipial ulanish sxemasi 2.24-rasmda ko'rsatilgan. Bu erda statorda bir – biridan 90 el. gradus farq qiladigan d -bo'ylama va q - ko'ndalang chulg'amlar joylashtiriladi.

d chulg'amiga amplitudasi va chastotasi o'zgarmas, U_d o'zgaruvchan kuchlanish beriladi, shunda q chulg'amining qisqichida U_q kuchlanish xosil qiladi. Ushbu kuchlanishning chastotasi U_d ning chastotasi singari bo'lib, uning kattaligi rotorning tezligiga mutanosib bo'ladi.

Asinxron taxogeneratorning ishlash prinsipi, quyidagiga asoslangan: d chulg'amiga berilgan kuchlanish $U_d=const$, chastota $f_1=const$ o'zgarmas deb belgilasak, bunda rotor qo'zg'almas bo'lsa, d chulg'amiga transformatorning qisqatutashgan ikkilamchi chulg'ami singari f_1 chastotali pulslanuvchi magnitmaydoni ta'sir qiladi. Taxogeneratorning rotor konturlari d o'qi bilan mos tushishi axamiyatga ega.

Agar rotor aylanadigan bo'lsa bo'ylama o'q konturlari qo'zg'almas deb tasavvur qilamiz, chunki bu konturga uzluksiz ravishda boshqa o'tkazgich kelib

tushadi. Natijada, qo'zg'almas statorda rotor kabi bo'ylama oqim tufayli f_1 chastotali transformatsiyalanish EYK E_{dt} paydo bo'ladi. Φ_d magnit maydoni kesib o'tgani uchun, aylanish EYK E_{qayl} konturi bujudga keladi. Bu konturning o'qi ko'ndalang o'q bilan mos tushib, xosil bo'lgan tok ko'ndalang magnit yurituvchi kuchni va bu kuchlar ko'ndalang magnit oqimi Φ_q bujudga keltiradi.



2.24-rasm. Asinxron taxogeneratorning prinsipial ulanish sxemasi

Ko'ndalang konturdagi aylanish EYKni quyidagiga teng deb qabul qilamiz:

$$e_{qayl} = 2lvB_q \sin \omega t$$

Agar bu erga aylanish tezligi $\vartheta = \frac{\pi D n}{60}$ va xavo oralig'idagi magnit induksiyasi $B_q = c_1 F_{dm} \sin 2\pi f_1 t$ ni qo'ysak, (bu erda F_{dm} – bo'ylama magnit oqimining amplituda qiymati; c_1 -mutanosiblik koeffitsienti), unda quyidagiga ega bo'lamiz:

$$e_{qayl} = c_2 n F_{dm} \sin 2\pi f_1 t,$$

(c_2 – mutanosiblik koeffsienti).

Oxirgi tenglamadan ko‘rinib turibdiki, bo‘ylama konturdagi e_{qayl} EYK n aylanish tezligiga mutanosib, f_l chastotaga ega va bo‘ylama magnit oqimi F_d bilan bir yoki teskari fazada bo‘ladi. Bo‘ylama konturdagi e_{qayl} xosil qilgan tokning chastotasi xam f_l kabi bo‘ladi va ushbu tok xosil qilgan magnit oqimi Φ_q ko‘ndalang kontur bo‘yicha pulsatsiyalanadi. Φ_q taxminan n aylanish tezligiga to‘g‘ri mutanosib bo‘lib, ko‘ndalang konturda e_{qt} EYK ni xosil qiladi va statorning q chulg‘amida E_{qt} ni xosil qiladi.

Elektr yurituvchi kuchlar e_{qt} taxminan e_{qayl} ga nisbatan teskari yo‘nalgan bo‘lib, ularning natijasida ko‘ndalang konturda tokni xosil qiladi.

Agar ko‘ndalang konturni q chulg‘amiga keltirilgan ekvivalent ko‘ndalang chulg‘am bilan almashtirilsa, unda uni transformatorining ko‘ndalang chulg‘ami sifatida qarash mumkin, bunday chulg‘amning aylanish E_{qayl} EYKini, shu chulg‘amga berilgan kuchlanish sifatida qarash mumkin. Shunda ekvivalent chulg‘amda Φ_q xosil qilgan transformatsiya E_{qt} EYK, Eqaylelektr yurituvchi kuchiga nisbatan taxminan 1800 teskari yo‘nalgan.

Kuchlanish U_q ni q chulg‘amidagi E_{qt} kuchlanish tushuvini xisoblab topamiz.

Xuddi shu F_q oqim xosil qilgan bo‘ylanma konturdagi aylanma EYK E_{dayl} aylanish tezligigato‘g‘ri mutanosib bo‘lib, f_l chastotaga ega va Φ_q oqim bilan to‘g‘ri yoki teskari fazada yotadi.

Agar bo‘ylama kontur d chulg‘amiga keltirilgan ekvivalent bo‘ylama chulg‘am bilan almashtirilsa, unda uni transformatorning chulg‘ami sifatida qarash mumkin, bunday chulg‘amning transformatsiya E_{dt} EYK ini shu chulg‘amga berilgan kuchlanish sifatida qarash mumkin.

Shunda ekvivalent bo‘ylama chulg‘amda Φ_q xosil qilgan aylanish E_{dayl} EYK, transformatsiyalash E_{dt} elektr yurituvchi kuchiga nisbatan taxminan 1800 teskari yo‘nalgan.

U_d kuchlanishida E_{dt} tashkil etuvchisi bo‘lib, bu tashkil etuvchi d chulg‘amidagi kuchlanish pasayishiga teng.

U_d ning berilgan qiymatida U_q ni aniqlovchi miqdoriy qiymatlar va n aylanish tezligi taxogeneratorning yuqoridagi fizik jarayonlari asosida tuzilgan kompleks tenglamalarni echish orqali topiladi.

Taxogeneratorning parametrlari va tashqi yuklama Z_{yuk} ni tanlash orqali o'lashdagi xatolikni kamaytirish mumkin.

2.12. AYLANUVCHI (BURILUVCHI) TRANSFORMATOR

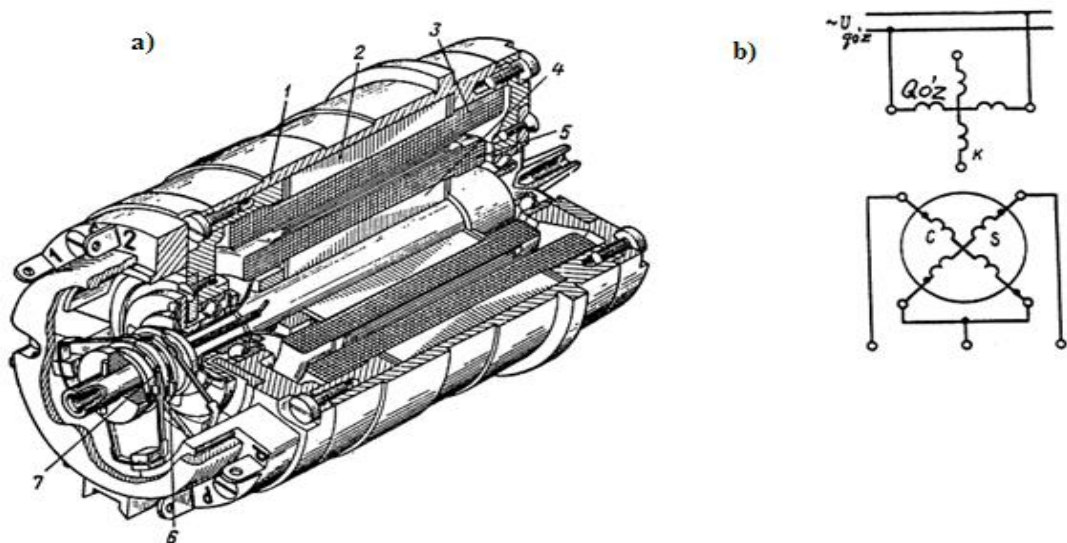
Aylanuvchi transformator o'zgaruvchan tok elektr mikromashinasi bo'lib, u rotorning burilish burchaginikuchlanishga aylantirib beradi va bu kuchlanish shu burchakka yoki uning birorbir funksiyasiga mutanosib ravishda o'zgaradi.

Aylanuvchi transformatorning tuzilishi (2.25-rasm) xuddi faza rotorli asinxron dvigatelniki kabi bo'ladi. Stator va rotorning har qaysiga bir-biriga nisbatan faza 90° ga siljigan ikkita bir fazali tarqalgan chulg'amlar joylashgan. Magnit o'zak bir-biridan izolyasiyalangan elektrotexnik po'lat tunukalardan yig'ilgan bo'ladi.

Aylanuvchi transformator burilish yoki aylanish rejimida ishlashi mumkin. Burilib ishlash rejimida rotorning statorga nisbatan holati bu-radigan mexanizm (reduktorli ijrochi dvigatel) yordamida o'zgartiriladi. Bunda stator chulg'aming bittasi qo'zg'atish chulg'ami (QCH) o'zgaruvchan tok man-baiga ulanadi, boshqa kompensatsiyalovchi chulg'ami (K) esa qarshilikka ulanadi yoki qisqa tutashtiriladi. Ayrim hollarda statorning ikkala chulg'amlari ham o'zgaruvchan tok manbalariga mustaqil ravishda ulanadi.

Rotorning sinus (S) va kosinus (C) chulg'amlari kontakthalqalarga cho'tkalar orqali ulangan bo'ladi. Aylanuvchi transformator uzluksiz aylanish ish rejimiga mo'ljallanganda qo'zg'atish va kompensatsiyalovchi chulg'amlar rotorda, sinus va kosinus chulg'amlar esa statorda joylashgan bo'ladi.

Bunday holatda kompensatsiyalovchi chulg'am qisqa tutashtiriladi, qo'zg'atish chulg'ami esa ikkita kontakt halqa yordamida o'zgaruvchan tok manbaiga ulanadi.



2.25-rasm. Aylanuvchi transformatorning umumiy ko‘rinishi (a): 1 – korpus (tana), 2 – stator, 3 – stator chulg‘ami, 4 – rotor, 5 – rotor chulg‘ami, 6 – kontakt halqalar, 7 – cho‘tkalar; b – prinsipial sxemasi

2.13. ASINXRON MASHINANING SINXRON UZATMA SISTEMASIDA ISHLATILISHI

Avtomatika qurilmalarida ba‘zan bir-biridan uzoqda joylashgan va o‘zaro mexanikaviy bog‘lanmagan mexanizmlarning vallarini bir vaqtda (sinxron) aylantirish yoki ma‘lum burchakka burish zarur bo‘lib qoladi. Bu protsessni amalga oshirish uchun sinxron uzatma ishlatiladi, unda mexanizmlarning vallari orasidagi mexanikaviy bog‘lanish elektr bog‘lanishgaalmashtirilgan bo‘ladi. Bunday sinxron uzatmaning asosiy elementlari selsinlardir.

Selsin ikkita chulg‘amdan: birinchisibir fazali birlamchiyoki *qo‘zg‘atish* chulg‘ami va ikkinchisi yulduz usulida ulanganuch fazali *sinxronlovchi* chulg‘amdan iborat.

Selsinlar bir va uch fazali bo‘ladi. Uch fazali selsinning tuzilishi faza rotorli asinxron dvigatelning tuzilishi kabi bo‘ladi. Ular elektr vali sistemalarida ishlatiladi. Avtomatika sistemalarida esa bir fazali selsinlar ishlatiladi. Sinxronlovchi chulg‘am statorda, qo‘zg‘atish chulg‘ami esa odatda rotorda joylashgan bo‘ladi.

Bir fazali selsin ham kam quvvatli asinxron mashinasi kabi tuzi-lishga ega. Ular ayon va noayon qutbli bo‘ladilar.

Selsinlar asosan indikator va transformator rejimlarida ishlaydi.

Indikator rejimida (2.26-rasm) selsin-priyomnikning rotori bosh o‘q₀₁ ga ulangan bo‘ladi. Bunda datchik D ning va priyomnik P ning qo‘zg‘atish chulg‘amlari umumiy o‘zgaruvchan tok tarmog‘iga, sinxronlash chulg‘amlari esa bog‘lovchi liniya orqali o‘zaro ulanadi. Agar D va P rotorlari holatlariorasida nomuvofiqlik sodir bo‘lsa, unda sinxronlovchi chulg‘amlardan toklar o‘tib, ular qo‘zg‘atish oqimi bilan ta’sirlashib qarama-qarshi yo‘nalgan sinxronlovchi momentlarni hosil qiladi va natijada nomuvofiqlik burchagi 0 ga teng bo‘ladi.

Eng oddiy sinxron uzatmada ikkita selsin: selsin–datchik va selsin priyomnik bo‘ladi (2.26–rasm). Selsinlarning qo‘zg‘atish chulg‘amlari U_1 kuchlanishga ulanganida har qaysi selsinda pulslanuvchi magnitaviy okim F byjudga keladi.

Bu oqim datchikning sinxronlash chulg‘amida EYK E_D hosil qiladi. Oqim Φ_{am} priyomnikning sinxronlash chulg‘amida EYK E_P hosil qiladi. E_D va E_P EYKlar sinxronlash zanjirida bir–biriga qarshi yo‘nalgan.

Agar priyomnik rotorining statoriga nisbatan egallagan holati datchik rotorning o‘z statoriga nisbatan holati kabi bo‘lsa E_D va E_P EYK larning qiymati bir–biriga teng bo‘ladi. Bu holda sinxronlash zanjirnda EYK lar yig‘indisi nolga teng va sinxron uzatma muvozanat holatida bo‘ladi.

Agar selsin–datchikning rotori biror α_D burchakka burilsa, u holda sinxronlash zanjirida EYK E_D ning qiymati o‘zgaradi, E_D va E_P ning tengligi buzilib, sinxronlash zanjirida natijaviy EYK xosil bo‘ladi:

$$\Delta \dot{E} = \dot{E}_D + \dot{E}_P \quad (2.17)$$

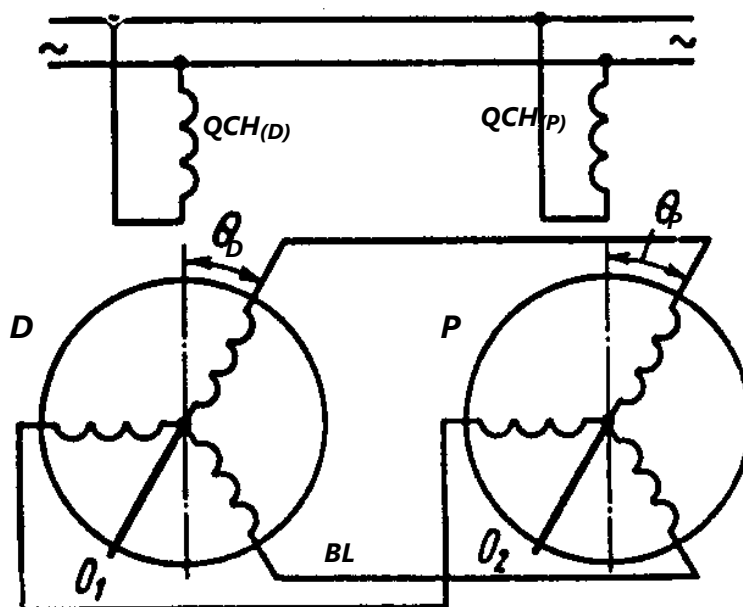
bu EYK sinxronlash tokini byjudga keltiradi:

$$I_c = \Delta E / (Z_D + Z_P + Z_L) \quad (2.18)$$

Bunda Z_D , Z_P , Z_L – datchik, priyomnik sinxronlash chulg‘amlarining hamda liniya simlarining qarshiligi.

Datchikning sinxronlash toki qo'zg'atish magnitaviy oqimi bilan o'zaro ta'sir etadi va datchik rotorida shu rotorning burilishiga qarshi yo'nalgan, ya'ni teskari ta'sir etuvchi elektromagnitaviy moment hosil qiladi. Bu momentni datchik rotorini berilgan α_D burchakka buradigan mexanizmi bo'adi.

Priyomnikning sinxronlash toki ham qo'zg'atish magnitaviy oqimi bilan o'zaro ta'sir etadi va datchik rotorining burilish tomoniga yo'nalgan elektromagnitaviy moment hosil qiladi. Sinxronlovchi moment deyiladigan bu moment ta'sirida priyomnik rotori buriladi.



2.26-rasm. Indikator rejimida ishlayotgan selsinning ulanish sxemasi: *D* – datchik (darakchi); *P* – priyomnik (qabul qilgich); *BL* – bog'lovchi liniya (sim)lar; *QCH* – qo'zg'atish chulg'ami; θ_1 va θ_2 – tegishli datchik va priyomniklarning bosh o'qlari

Lekin u $\alpha_R = \alpha_D$ burchakka burilib, statorga nisbatan datchik rotori kabi holatni egallagandan keyin EYK E_P yana EYK E_D ga teng bo'ladi va sistemada muvozanat qaror topadi.

Agar datchik rotori yana biror burchakka burilsa, u holda priyomnikda ham rotor shunday burchakka buriladi. Datchik rotori muayyan tezlik bilan aylanganida priyomnik rotori ham shu tomonga va shunday tezlik bilan aylanadi.

Ammo datchik rotori burilgan burchak bilan priyomnik rotori burilgan burchak orasida qisman farq – nomuvofiqlik bo'ladi. Gap shundaki, priyomnik rotorining burilishi uchun sinxronlovchi moment podshipniklar va kontakt

halqalardagi ishqalanish kuchlari, baʼzan esa priyomnik validagi foydali yuklama tufayli ham hosil boʻladigan qarshi taʼsir etuvchi momentni engishi kerak. Burilish burchaklari orasidagi farq (xato) *nomuvofiqlik burchagi* deyiladigan kattalik bilan baholanadi:

$$0 = \alpha_D - \alpha_R \quad (2.19)$$

Selsin – priyomnikning rotori datchik rotori ketidansinxron ravishda ergashib boradi, lekin selsinlarning rotorlari orasida nomuvofiqlik burchagi hamma vaqt mavjud boʻladi va selsin priyomnik valiga qarshi taʼsir etuvchi moment qanchalik katta boʻlsa bu burchak ham shunchalik katta boʻladi.

Nomuvofiqlik burchagi odatda $2,5^\circ$ dan oshmaydi, yuqori aniqlikdagi selsinlarda esa u koʻpi bilan $0,75^\circ$ boʻladi.

Selsin – priyomnikning sinxronlovchi momenti M_S ning kattaligi ushbu ifodadan aniqlanadi:

$$M_S = M_{S_{\max}} \sin\theta \quad (2.20)$$

bunda $M_{S_{\max}}$ – sinxronlovchi momentning nomuvofiqlik burchagi 90° boʻlishiga toʻgʻri keladigan maksimal qiymati.

(2.20) ifodadan koʻrinadiki, nomuvofiqlik burchagi noldan 90° gacha kattalashganda sinxronlovchi moment ortadi, bu esa sinxron uzatmaning barqaror ishlashini taʼminlaydi.

Solishtirma sinxronlovchi moment qanchalik katta boʻlsa, selsin – priyomnikning ishlash aniqligi ham shunchalik yuqori boʻladi; bu moment nomuvofiqlik burchagi bir gradusga oʻzgarganida sinxronlovchi momentning qanchaga oʻzgarishini koʻrsatadi:

$$M_{S_{sol.}} = (dM_S/d\theta)M_{S_{\max}}\cos\theta \quad (2.21)$$

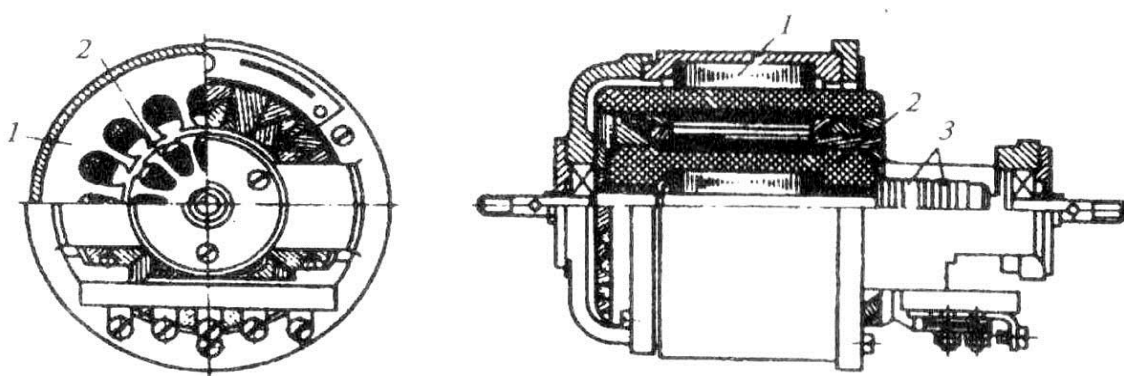
bundai $M_{S_{sol.}}$ – solishtirma sinxronlovchi momenti, [Nm/grad].

Selsinlar konstruksiyasi jihatidan kontaktli va kontaktsiz selsinlarga boʻlinadi. Kontaktli selsinlar kontakt halqali asinxron dvigatellardan asosan farq qilmaydi (2.27–rasm).

Ba'zi konstruksiyalarda selsinning statori yoki rotori ayon qutbli qilib yasaladi. Bunday konstruksiya sinxronlovchi momentning kattaligini birmuncha oshirishga imkon beradi.

Selsinda kontakt halqalar soni qo'zg'atish chulg'aming qaeda joylashganligiga bog'liq bo'ladi. Agar u rotorda joylashgan bo'lsa, selsinda ikkita kontakt halqa, agar statorda joylashgan bo'lsa—uchta kontakt halqa bo'ladi. Kontakt alqalar borligi kontaktli selsinlarning asosiy kamchiligidir, chunki halqalar selsinning ishlashidagi ishonchlilikni kamaytiradi, uning parametrlarini beqaror qilib qo'yadi. Eng takomillashgani sovet olimlari A. G. Iosifyan va D.V. Svercharnik ishlab chiqqan kontaktsiz selsinlardir. Buselsinlarda sirpanuvchi kontaktlar bo'lmaydi, chunki ularda ikkala chulg'am ham statorda joylashgan (2.28– rasm).

Kontaktsiz selsinning rotori, asosan ferromagnit materialdan yasalgan, nomagnit qatlam bilan magnit izolyasiyalangan ikki qismga – qutblarga ajratilgan silindrdan iborat. Magnit izolyasiya sifatida alyuminiy ishlatiladi, u rotorga quyiladi va bir vaqtning o'zida rotor qismlarini biriktiruvchi material xizmatini ham o'taydi.



2.27– rasm. Kontaktli selsinning tuzilishi: 1– korpus; 2 —statoro'zagi; 3 —sinxronlash chulg'ami (statorda); 4 —rotor o'zagi; 5— qo'zg'atish chulg'ami (rotorda); 6 – val; 7 –kontakt halqalar; 8– uchlar

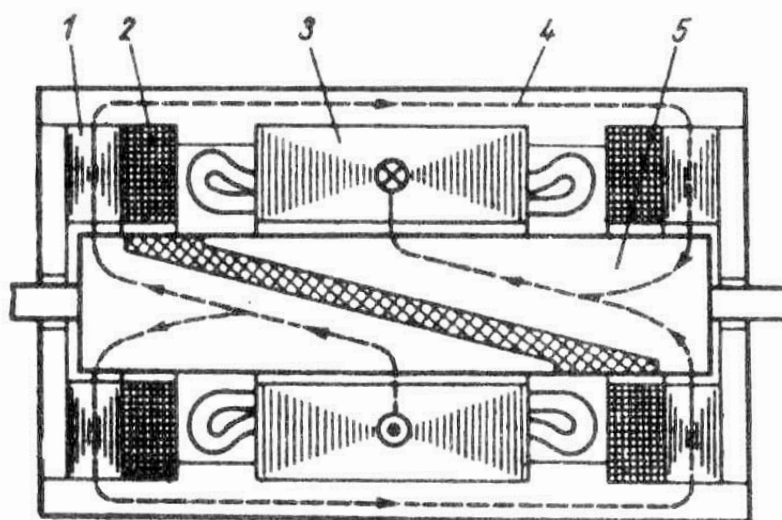
Selsinning old va orqa tomonlarida elektrotexnikaviy po'lat listlardan yasalgan toroidal (g'ildiraksimon) o'zaklar joylashgan. Bu o'zaklarnng ichki

yuzasi rotor ustida joylashadi, ularning tashqi yuzasiga esa tashqi magnit o'tkazgich sterjenlari tegib turadi.

Kontaktsiz selsinning bir fazali qo'zg'atish chulg'ami ikkita disk g'altaklar ko'rinishida yasaladi va sinxronlash chulg'ami bilan toroidal o'zaklar orasida selsinning o'qi bo'ylab statorning qarama-qarshi tomonlarida joylashgan bo'ladi.

Selsinning ishlash jarayonida pulsatsiyalanuvchi magnitaviy qo'zg'atish oqimi statorning uch fazali chulg'ami bilan ilashib, selsinning magnitaviy zanjirida tutashadi. Qo'zg'atish oqimining tutashish yo'li 2.28-rasmda punktir chiziq bilan ko'rsatilgan. Ko'rib chiqilayotgan paytda qo'zg'atish chulg'amida tokning yo'nalishi shundayki, bunda magnitaviy qo'zg'atish oqimi o'ng qo'zg'atish g'altigidan chap g'altakka yo'naladi, deb faraz qilaylik.

Magnitaviy oqim o'ng g'altakdan chap g'altakka faqat rotorni ajratib turuvchi magnitaviy izolyasiyani aylanib o'ta oladi. Shuning uchun oqim o'ng toroidal o'zak bilan rotor orasidagi oraliqdan rotorning o'ng qutbiga o'tib, rotor bilan stator orasidagi oraliqdan stator o'zagiga o'tadi; shundan keyin sinxronlash chulg'ami bilan ilashib stator o'zagi orqali o'tadi, so'ngra stator bilan rotor orasidagi oraliqdan chap qutbga o'tadi va nihoyat, chap toroidal o'zakka o'tadi. Magnitaviy oqim chap toroidal o'zakdan tashqi magnit o'tkazgich orqali o'ng toroidal o'zakka o'tadi va rotorning o'ng qutbida tutashadi.



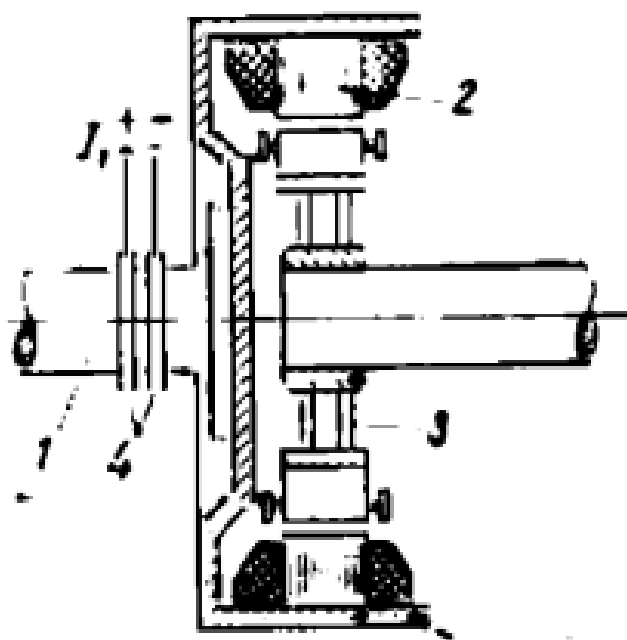
2.28- rasm. Kontaktsiz selsinning konstruktiv sxemasi: 1-toroidal o'zak; 2 - qo'zg'atish g'altagi; 3 - sinxronlash chulg'amiga ega bo'lgan o'zak; 4 - tashqi magnit o'tkazgich; 5-rotor

Qo'zg'atish tokining kattaligi magnitaviy oqim yo'lida magnitaviy qarshiliklar ko'pligidandir. Magnitaviy oqim havo oralig'idan to'rt marta o'tadi.

2.14. ELEKTROMAGNITLI ASINXRON MUFTA

Elektromagnitli sinxron mufta asinxron elektr dvigatel prinsipida tuzilgan bo'lib, aylantiruvchi momenti bir (yetakchi) valdan boshqa(etaklanuvchi) valga uzatish uchun xizmat qiladi. Etakchi val 1 da muftaning qutblar sistemasi 2 joylashadi, bu ayon qutblar sistemasi bo'lib, unda qo'zg'atish g'altaklari bo'ladi. O'zgarmas tok qo'zg'atish g'altagiga kontakt halqalar 4 orqali uzatiladi (2.29–rasm). Muftaning etaklanuvchi qismi 3 asinxron dvigatelning rotor katagi tipida yasaladi.

Muftaniig ishlash prinsipi asinxron dvigatelning ishlashiga o'xshaydi,faqat bunda aylanuvchan magnitoqim qutb qismining mexanikaviy aylanishidan hosil bo'ladi. Aylantiruvchi moment yetakchi valdan etaklanuvchi valgamagnit oqim orqali uzatiladi. Mufta qo'zg'atish toki I_1 ni uzish yo'li bilanajratiladi. Tok kattaligini roslashmuftani uzoqdan turib boshqarishga (etakchi va etaklanuvchi vallarni ravon biriktirish hamda ajratishga) imkon beradi.



2.29–rasm. Asinxron elektromagnit muftaning tuzilishi

Bundan tashqari, muftaasinxron dvngatel kabi maksimal momentga erishgandabeqaror ishlash rejimiga o‘tadb, bu esabirlamchi dvigatelyuklamasining haddantashqari ortib ketishidan va uning keskin o‘zgarishlaridan saqlaydi.

2.15. IJROCHI ASINXRON DVIKATEL

Ijrochi asinxrom dvigatellar avtomatika qurilmalarida ishlatiladi va elektr signallarni mexanik siljishga aylantirish uchunxizmat qiladi.

Bu dvigatelning statorida ikkita chulg‘am: o‘zgaruvchan tok tarmog‘iga doyimiy ulangan qo‘zg‘atish chulg‘ami bilan klemmalariga signal U_c beriladigan boshqarish chulg‘ami bo‘ladi (2.30–rasm).

Chulg‘amlarning o‘qlari fazoda bir–biriga nisbatan 90° ostida siljigan. Qo‘zg‘atish chulg‘amining zanjiriga sig‘im ulanib, u I_q va I_b toklar orasida faza siljishini byjudga keltiradi. Bularning hammasi dvigatelda aylanuvchi magnet maydon hosil bo‘lishini ta‘minlaydi. Agar boshqarish chulg‘amiga signal berilmagan bo‘lsa, u holda dvigatelda pulsatsiyalanuvchi maydon ta‘sir etib turadi va u aylantiruvchi moment hosil qilmaydi.

Lekin signal U_c to‘xtagandan keyin dvigatel odatdagi bir fazali dvigatel kabi ishlashda davom etadi. O‘z–o‘zidan yurishi deyiladigan buhodisaga ijrochi dvigatelda yo‘l qo‘yib bo‘lmaydi, chunki u dvigatelni boshkarib bo‘lmaydigan qilib qo‘yadi. O‘z–o‘zidan yurishini yo‘qotish uchun ijrochi dvigatelning rotor aktiv qarshiligi yuqori qilib yasaladi. Buni tushuntirish uchun 2.31–rasm, a da bir fazali dvigatelning mexanikaviy xarakteristikalarini keltirilgan.

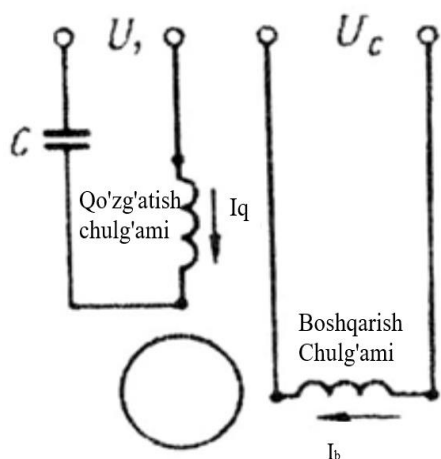
Signal U_c bo‘lganida dvigatel aylanuvchan magnet maydon bilan ishlaydi va uning mexanik xarakteristikasi $M_I=f(s)$ egri chiziq ko‘rinishida bo‘ladi.

Dvigatel A nuqtaga muvofiq keladigan rejimda ishlaydi, deb faraz qilaylik. Signal U_c to‘xtagandan keyin stator maydoni pulsatsiyalanadigan bo‘lib qoladi va dvigatelning mexanik xarakteristikasi $M_I=f(s)$ egri chiziq ko‘rinishini oladi.

Dvigatelning yangi ish rejimi V nuqtabilan aniqlanadi, bunda dvigatelning elektromagnit momenti musbatligicha qoladiva uning rotori aylanishda davom etadi.

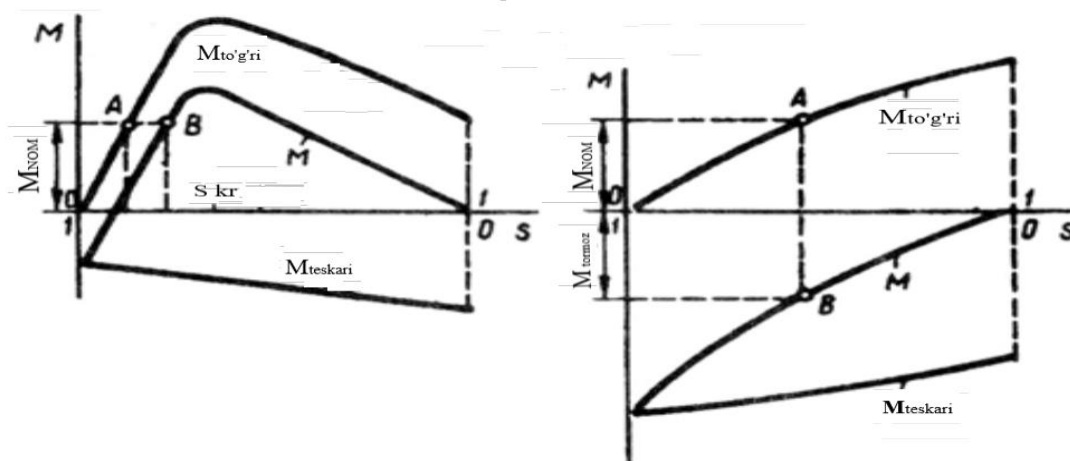
Agar rotorning aktiv qarshiligi oshirilsa, $M_l=f(s)$ va $M_{it}=f(s)$ grafiklar o'zgaradi: moment maksimumi katta sirpanishlarsohasiga siljiydi. Yakuniy moment grafigi $M=f(s)$ ham o'z shaklini shunday o'zgartiradi (2.31–rasm, b).

Endi signal U_c to'xtagandan keyin, ya'ni ijrochi dvigatel bir fazali rejimga o'tishida elektromagnit moment manfiy bo'lib qoladi (B nuqta) va dvigatelning rotoriga tormozlovchi ta'sir etib o'z–o'zidan yurishini yo'qotadi.



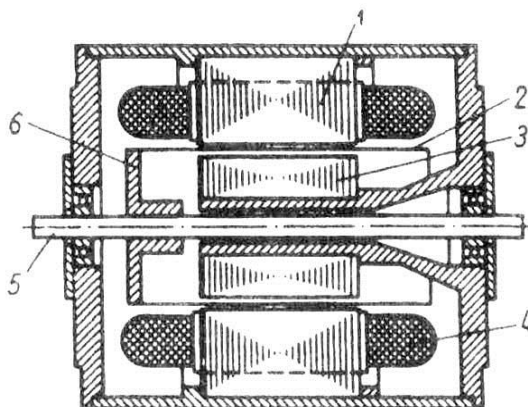
2.30 – rasm. Ijrochi asinxron dvigatelni ulash sxemasi

Ijrochi dvigatelga qo'yiladigan talablardan yana biri inertligi kam bo'lishi (tez harakatga kelishi)dir, ya'ni boshqarish chulg'amiga signal berilishi bilan dvigatelning rotori belgilangan aylanish teeligini tezroqlishi lozim.



2.31– rasm. Ijrochi asinxron dvigatelning o'zi yurishini yo'qotish

Bu talabni qanoatlantirish uchun ijrochi dvngatelning rotorini engil qilindi: unda o'zak va chulg'am bo'lmaydi. Bunday dvigatel nomagnit ichi kovak rotorli dvigatel deyiladi (2.15.3–rasm). Dvigatel rotorida chulg'am o'rniga yupqa devorli alyuminiy stakan qo'yilgan bo'ladi, bu birinchidan, rotorning aktiv qarshiligini oshiradi, binobarin, o'z-o'zidan yurishini yo'qotadi va ikkinchidan rotor inersiya momentining kichik, ya'ni inertligining kam bo'lishini ta'minlaydi.



2.32–rasm. Ichi kovak nomagnitaviy rotorli asinxron dvigatelning konstruksiyasi: 1–tashqi stator; 2 – rotor stakani; 3–ichki stator; 4 –stator chulg'ami; 5–val; 6 –rotor stakani maxkamlanadigan vtulka

Dvigatelda ikkita: chulg'amli tashqi va chulg'amsiz ichki stator bo'ladi, ichki stator ichi kovak rotorning ichiga kirib turadi. Ichki stator asosiy oqimga magnit qarshilikni kamaytirish uchun zarur.

Odatdagi konstruksiyali asinxron dvngatellarga nisbatan nomagnit ichi kovak rotorli dvigatellarning gabaritlari katta va FIK ancha kichik bo'ladi. Bu hol havo oralig'ining kattaligi bilan tushuntiriladi: budvigatellarda havo oralig'i tashqi stator bilan rotor stakani orasidagi oraliq, nomagnit stakan devorining qalinligi va rotor stakani bilan ichki stator orasidagi oraliqdan tarkib topadi. Havo oralig'ining katta bo'lishi magnitlovchi tokning ko'payishiga va isroflarning ortishiga olib keladi.

2.16. SINXRONLASHTIRILGAN ASINXRON DVIGATEL

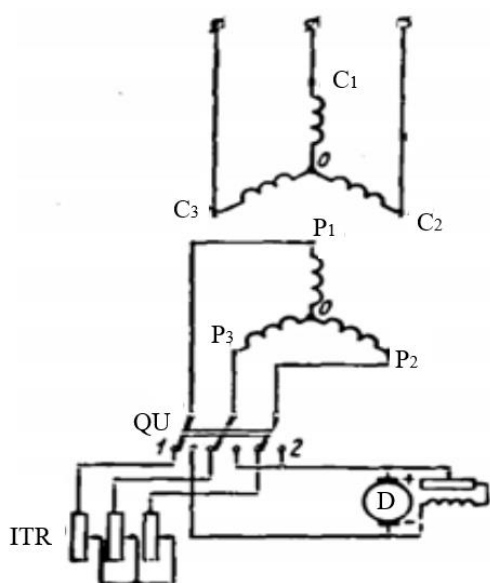
Sinxronlashtirilgan asinxron dvigatel sinxron va asinxron dvigatellarning uyg'unlashgan birikmasidan iborat. Shu tufayli unda asinxron dvigatelning yaxshi

ishga tushish xossalari bilan sinxron mashina quvvat koeffitsientining yuqoriligi mujassamlashgan bo‘ladi. Sinxronlashtirilgan dvigatel konstruktiv jihatdan kontakt halqali asinxron dvigateldan kam farq qiladi.

Lekin dvigatel sxemasida qayta ulagich QU bor, uning vositasida rotor chulg‘ami ishga tushirish reostati ITR yoki qo‘zg‘atgich Q ga ulanishi mumkin (2.33–rasm). Ishga tushirishda qayta ulagich 1 holatga qo‘yiladiv va dvigatel asinxron dvigatel kabi aylana boshlaydi.

Sinxron tezlikka yaqin aylanish tezligiga erishilgach, qayta ulagich 2 holatga o‘tkaziladi, natijada o‘zgarmas tok, qo‘zg‘atgichdan rotor chulg‘amiorqali o‘tadi va dvigatelsinxron ishlay boshlaydi. Katta o‘ta yuklanishlarda sinxronlashtirilgan dvigatel sinxronizmdan chiqadi, lekin asinxron dvigatel kabi ishlayveradi, chunki dvigatelning asinxron rejimda ishlagandagi maksimal aylantiruvchi momenti sinxron rejimda ishlagandagi maksimal aylantiruvchi momentidan katta bo‘ladi.

Yuklama kamaytirilganida dvigatel yana sinxron ishlay boshlaydi. Qo‘zg‘atgichning bo‘lishi sinxronlashtirilgan dvigatelning narxini oshirib yuboradi. Shuning uchun qo‘zg‘atishli dvigatellar 60÷70 kVt dan yuqori quvvatli qilib tayyorlanadi. Kam quvvatli sinxronlashtirilgan dvigatellarda alohida qo‘zg‘atgich bo‘lmaydi. O‘zgarmas tok olish uchun bu dvigatellar kollektorli maxsus chulg‘am bilan ta’minlanadi.

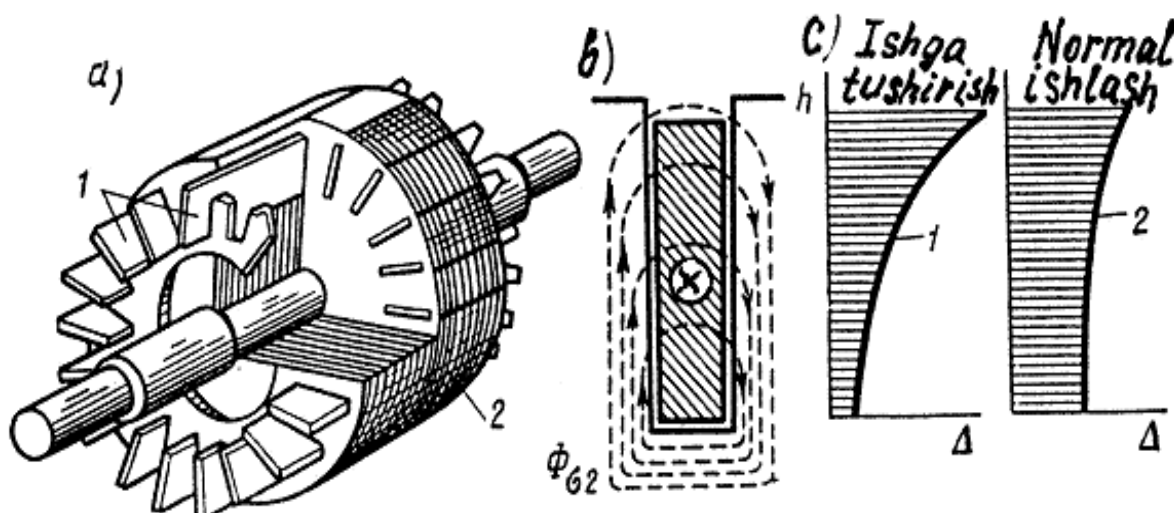


2.33–rasm. Qo‘zgatishli sinxronlangan dvigatelning sxemasi

2.17. ISHGA TUSHIRISH XOSSALARI YAXSHILANGAN UCH FAZALI QISQA TUTASHGAN ROTORLI ASINXRON DVIGATELLAR

Qisqa tutashgan rotorli asinxron dvigatellarning ishga tushirish momentini, rotor chulgʻami aktiv qarshiligini oshirmasdan kattalashtirish bunday dvigatellarning maxsus konstruksiyali qilib yaratishga olib keladi. Bunday dvigatellarga *ishga tushirish momenti kattalashtirilgan* dvigatellar deyiladi. Bu dvigatellar jumlasiga rotori qoʻsh katakli va chuqur pazli dvigatellar kiradi.

1. Chuqur pazli asinxron dvigatel. Bunday dvigatellarda rotor pazining balandligi uning enidan $6 \div 12$ marta katta boʻladi (2.34-rasm). Bu pazlarda qisqa tutashgan mis yoki alyuminiy sterjenlar joylashgan boʻladi. Ishga tutushirishning boshlangʻich paytida ($s=1$) rotordagi tok chastotasining oʻzgarishi katta boʻladi va tokning tarqalishi asosan induktiv qarshilikka bogʻliq boʻladi.



2.34–rasm. Chuqur pazli dvigatel rotorining umumiy koʻrinishi (a) (bunda: 1 – «olmaxon katagi»ning sterjenlari va 2 – rotorning poʻlat oʻzagi); sterjen joylashgan chuqur pazning qirgimi (b) va tok zichligi Δ ning ishga tushirish paytida (1) va normal ishlashida (2) tarqalish diagrammasi (c); F_{σ} – tarqoq magnit oqim; h – paz balandligi

Shu sababli sterjenning yuqori qismida tokning siqilishi byjudga kelib, aktiv qarshilik oshishi tufayli ishga tushirish momenti oshadi. Sirpanish $S=S_N$ boʻlganda rotorning chastotasi $f_2=f_1 \cdot s$ kichik boʻlganligidan va uning induktiv qarshiligi ham kichik boʻladi. Bu holda tokning tarqalishi sterjen balandligi boʻylab bir xilda boʻladi (2.34, s-rasm, 2-chiziq). Natijada rotorning aktiv qarshiligi tezda kamayadi

va bir vaqtning o'zida rotordagi tarqoq magnit oqimi $F_{\sigma 2}$ ning o'zgarishi x'_2 ning o'zgarishiga olib keladi. Chuqur pazli dvigatellarda ishga tushirish momentiing karraligi $M_{i,t}/M_N=1,2\div 1,4$, ishga tushirish tokining karraligi esa $I_{i,t}/I_N= 4,5\div -6,5$ ni tashkil qiladi.

2. Qo'sh katakli dvigatel. Bu dvigatelning rotori ikkita qisqa tutashgan chulg'amlardan iborat. Tashqi katak (2) *ishga tushirish chulg'ami* hisoblanib, uning ko'ndalang kesim yuzasi kichik bo'lgan sterjenlardan iborat, shu sababli uning aktiv qarshiligi katta bo'ladi. Ichki katak (1) *ishchi chulg'am* deyiladi va u ko'ndalang kesim yuzasi katta bo'lgan sterjenlardan iborat, shusababli uning aktiv qarshiligi kichik bo'ladi. Ishga tushirish katagi bronzayoki latundan, ishchi chulg'ami esa misdan tayyorlanadi.

Sterjenlarning pastki qismi tarqoq oqim bilan ularning yuqori qismiga nisbatan ko'proq ilashadi (2.35-rasm). Sterjenlarning induktiv qarshiligi ularning pastki tomonida juda katta bo'ladi. Shu sababli rotor tokining deyarli hammasi ishga tushirish katagidan o'tadi. Rasmda ishga tushirish va normal ishlash toklari zichliklarining taqsimlanishi ko'rsatilgan.

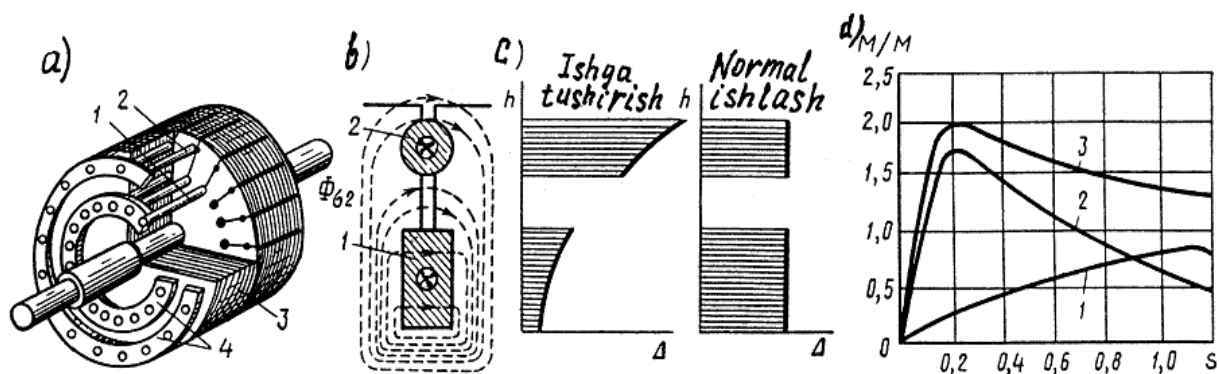
Elektr jihatdan ishga tushirish va ishchi chulg'amlari parallel ulangan bo'ladi. Shu sababli rotor toki chulg'amlarning to'la qarshiliklariga teskari mutanosib bo'ladi:

$$I_{2(i,t)} / I_{2(ish)} = Z_{2(ish)} / Z_{2(i,t)} = \left(\sqrt{r_{2(ish)}^2 + x_{2(ish)}^2} \right) / \left(\sqrt{r_{2(i,t)}^2 + x_{2(i,t)}^2} \right). \quad (2.22)$$

Ishga tushirishning boshlang'ich paytida ($s = 1$) katakning induktiv qarshiligi aktiv qarshilikdan bir necha barobar kata bo'ladi. Shuning uchun rotordagi tok ishga tushirish katagi orqali oqadi. Rotorning tezligi oshaborgan sari sirpanish s va chastota f_2 kamayadi. Bu jarayonda rotordagi tok ishga tushirish katagidan ishchi katakka o'ta boshlaydi. Natijada sirpanish s juda kichik bo'ladi va tokning tarqalishida induktiv qarshilik kam ta'sir etadi va tok asosan ishchi katagi orqali o'tadi.

Qo'shkatakli asinxron dvigatelining mexanik xarakteristikasi 2.35, *d*-rasmda ko'rsatilgan. Bunday dvigatelda ishga tushirish momentining karraligi $M_{i,t}/M_N=1,3 \div 1,7$ ishga tushirish toki karraligi esa $I_{i,t}/I_N=4,5 \div 6$ bo'ladi.

Chuqur pazli va qo'sh katakli dvigatellarning ishga tushirish xarakteristikalari ancha yaxshi bo'lsa ham, rotor sterjenlarining induktiv qarshiligi kata bo'lgani sababli, ularning quvvat koeffitsientlari kichikroq bo'ladi. Bundan tashqari, bunday rotorlarni tayyorlash texnologiyasi murakkab va tannarxi qimmat bo'lganligi ularning kamchiligidir.



2.35–rasm. Qo'sh katakli motor rotorining umumiy ko'rinishi (*a*) (bunda:

1 – ishchi katak sterjenlari va 2 – ishga tushirish katagi (chulg'ami) sterjenlari, 3 – rotorning po'lat o'zagi va 4 – sterjenlarni qisqa tutashiruvchi halqalar); *b*– 1 va 2 sterjenlar joylashgan pazning qirg'imi; *c*– tok zichligining ishga tushirish paytida (1) va normal ishlashida (2) tarqalish diagrammasi; *d*– mexanik xarakteristikalari (bunda: 1 – ishga tushirish chulg'ami momenti; 2 – ishchi chulg'am momenti; 3 – qo'sh katakli motorning natijaviy momenti)

2.18. UCH FAZALI ASINXRON GENERATOR

Asinxron mashina, boshqa elektr mashinalari kabi, E. Lens kashf qilgan elektr mashinalarining qaytarlik xossasiga binoan, dvigatel rejimida hamda generator rejimida ishlashi mumkin. Konstruktiv bajarilishi bo'yicha asinxron generator asinxron dvigateldan farq kilmaydi. Dvigatel rejimidan generator rejimiga o'tkazish uchun, stator chulg'ami tarmoqqa ulangan holda birlamchi dvigatel yordamida asinxron mashinaning rotorini stator maydonining aylanayotgan tomoniga aylanish chastotasini maydon aylanish chastotasidan katta ($n > n_1$) qilib aylantiriladi. Bu holda mashinaning sirpanishi

$$(-s) = (n_1 - n) / n_1 \quad (2.23)$$

manfiy ishoraga ega bo‘ladi. Amalda asinxron generatorning normal ish rejimida $(-s) \leq (6 \div 8) \%$ bo‘ladi.

Asinxron mashina generator rejimda stator va rotor chulg‘aming o‘tkazgichlari aylanma maydon bilan go‘yo qarama-qarshi yo‘nalishda kesishadilar. Dvigatel rejimda mazkur o‘tkazgichlar mos yo‘nalishda kesishadilar. Shu sababli generatorning vektor diagrammasida \underline{E}_{2s} (demak, \underline{E}'_{2s} ning ham) va \underline{E}_1 vektorlarining yo‘nalishlari shartli ravishda teskari fazada qo‘yilishi kerak.

Rotor toki xususida mulohazalar quyidagilardan iborat. Rotor tokining umumiy ifodasi:

$$I_2 = E_2 \cdot (-s) / \sqrt{r_2^2 + (-s)^2 x_2^2} . \quad (2.24)$$

Rotor tokining aktiv tashkil etuvchisi

$$\begin{aligned} I_{2a} = I_2 \cos \psi_2 &= (E_2 \cdot (-s) / \sqrt{r_2^2 + (-s)^2 x_2^2}) \cdot (r_2 / \sqrt{r_2^2 + (-s)^2 x_2^2}) = \\ &= (E_2 \cdot (-s) \cdot r_2) / (r_2^2 + s^2 x_2^2) \end{aligned} \quad (2.25)$$

O‘zining ishorasini o‘zgartiradi, chunki sirpanishning ishorasi manfiy $(-s)$; rotor tokining reaktiv tashkil etuvchisi esa

$$\begin{aligned} I_{2r} = I_2 \sin \psi_2 &= [E_2 \cdot (-s) / \sqrt{r_2^2 + (-s)^2 x_2^2}] \cdot [x_2 \cdot (-s) / \sqrt{r_2^2 + (-s)^2 x_2^2}] = \\ &= (E_2 \cdot s \cdot x_2) / (r_2^2 + (-s)^2 x_2^2) \end{aligned} \quad (2.26)$$

o‘zining ishorasini o‘zgartirmaydi (ya’ni dvigatel rejimidagi kabi bo‘ladi), chunki $(-s)^2$ – musbat kattalik. Rotor toki aktiv tashkil etuvchisi I_{2a} ning o‘z ishorasini o‘zgartirishi, elektromagnit momentning ishorasini o‘zgartiradi, demak, u tormozlovchi moment bo‘ladi, reaktiv tashkil etuvchisi I_{2r} ning o‘z ishorasini saqlab qolishi, dvigatel rejimidagi singari, magnit maydonni hosil qilish uchun mashina tarmoqdan magnitlovchi tokni oladi.

Asinxron generatorning vektor diagrammasi 2.36, *a*-rasmda ko‘rsatilgan. Bundan ko‘rinishicha, generator rejimda burchak $\varphi_1 > \pi/2$ va, demak, $P_1 = m_1 U_1 I_1 \cos \varphi_1 < 0$. Bu esa aktiv quvvatning iste‘mol qilinishini emas, balki tarmoqqa berilishini ko‘rsatadi.

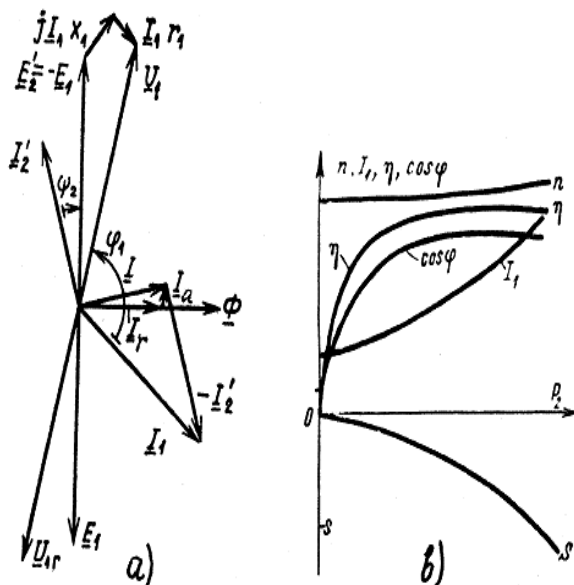
Vektor diagrammada stator toki \underline{I}_1 tenglamalar sistemasidagi asinxron mashina toklarining muvozanat tenglamasidan topiladi, ya'ni:

$$\underline{I}_1 = \underline{I}_0 + (-\underline{I}'_2),$$

kuchlanish \underline{U}_1 ham tenglamadagi kuchlanish va EYK lar muvozanat tenglamasidan aniqlanadi, ya'ni:

$$\underline{U}_1 = -\underline{E}_1 + j\underline{I}_1 x_1 + \underline{I}_1 r_1.$$

2.36-rasm. Asinxron generatorning vektor diagrammasi (a) va ish xarakteristikalari (b)



Vektor \underline{U}_1 tarmoq kuchlanishini ifodalaydi. Tarmoq kuchlanishini muvozanatlovchi generator kuchlanishining vektori \underline{U}_{IG} qarama-qarshi yo'nalishga ega bo'ladi, ya'ni $\underline{U}_{IG} = -\underline{U}_1$. Generatorning tarmoqqa beradigan aktiv quvvatini rostdash rotorning burchak tezligini o'zgartirish orqali erishiladi. Asinxron generatorning ish xarakteristikalarini (2.37, b-rasm) doiraviy diagrammadan yoki almashtirish sxemasidan aniqlab qurish mumkin. Yuklamaning oshishi bilan kuchlanish $U_{IG} = \text{const}$ qilish uchun rotorning aylanish chastotasi n oshiriladi.

Asinxron generatorning elektr tarmog'i bilan parallel ishlashi

2.37, a-rasmda asinxron generatorning sinxron generator bilan parallel ishlash sxemasi ko'rsatilgan. Bunda mashinalar va tarmoq orasida, hamda o'zaro mashinalar orasida aktiv (P) va reaktiv (Q) energiyalarning yo'nalishi strelkalar bilan ko'rsatilgan. 2.37, b-rasmda sinxron generator ish rejimiga asinxron

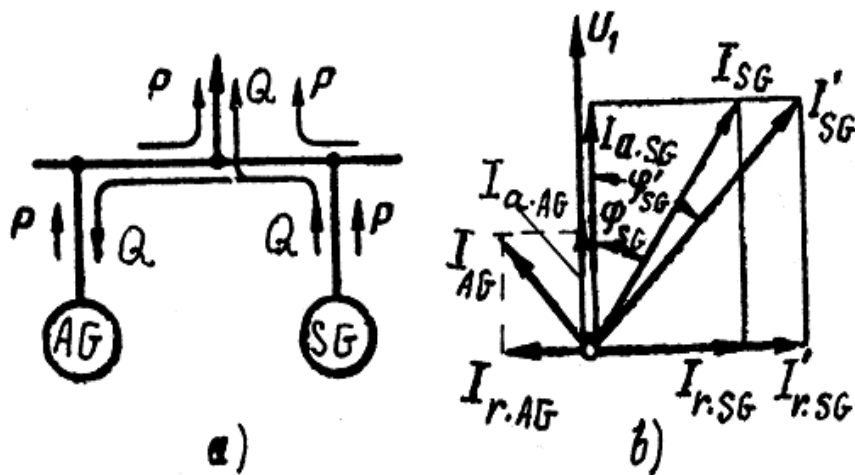
generatorning salbiy ta'siri yaqqol tasvirlangan. Kuchlanish vektori \underline{U}_I ni sinxron generator (SG) bilan umumiy yuklamaga parallel ishlalayotgan asinxron generator (AG) ning kuchlanishi \underline{U}_{IG} deb hisoblash kerak.

Bunday izohlashda \underline{U}_{IG} vektorini asinxron mashinaning stator chulg'amiga berilgan tarmoq kuchlanishi vektori \underline{U}_I ga nisbatan 180° ga burish kerak, va bu holda AG ning tok vektori \underline{I}_{AG} kuchlanish vektori \underline{U}_I dan oldin keladi (2.37, b-rasm). AG da \underline{U}_I dan oldin keladigan tokning reaktiv tashkil etuvchisi $\underline{I}_{r,AG}$ mavjudligidan SG da ham shunday tok bo'lib, bu vektor esa kuchlanish vektori \underline{U}_I dan orqada qolgan bo'ladi. Shu sababli burchak $\varphi'_{SG} > \varphi_{SG}$ bo'lib, natijada, $\cos \varphi'_{SG}$ nisbatan kamayadi (bu erda φ_{SG} —AG ulanmagan holdagi SG ning kuchlanish $\underline{U}_{SG} = \underline{U}_I$ va tok \underline{I}_{SG} vektorlari orasidagi siljish burchagi).

AG ni qo'zg'atish uchun tarmoqdan reaktiv energiyaning olinishi uning kamchiligi hisoblanadi, chunki u energiya manbasi bo'lib ishlaganda, iste'molchilarga aktiv energiya bilan bir qatorda reaktiv energiya ham berishi (masalan, transformator va asinxron dvigatellarda magnit maydonni hosil qilish uchun) kerak bo'ladi. Shu sababli AG lar ayrim hollarda kam quvvatli GES va shamol elektr stanstansiyalarida ishlatiladi.

Ta'kidlash lozimki, so'nggi ilmiy izlanishlar natijalarining ko'rsatishicha, elektr energetika sistemasida katta quvvatli AG sinxron generatorlar bilan parallel ishlatilganda kam chastotali tebranishlarni so'ndirishda ahamiyatli ekanligi isbotlangan.

AG ning stator chulg'amiga kondensator C ulanganligidan tok $I_r = I_c$ uning kuchlanishiga nisbatan oldin keladi (2.38, b-rasm). Agar qoldiq magnit oqim (Φ_{qol}) bo'lsa, rotor aylanganda stator chulg'amida kam miqdordagi E_{qol} hosil bo'ladi (2.38, c-rasm). Uning ta'siridan «stator chulg'ami—kondensatorlar» zanjirida kuchlanish vektori \underline{U}_I dan oldin keluvchi reaktiv tok \underline{I}_c byjudga keladi. Bu tokning reaktiv tashkil etuvchisi \underline{I}_r oqim Φ bilan bir xil yo'nalishda bo'ladi. Shuning uchun sig'im toki \underline{I}_c ning stator chulg'amida hosil qilgan MYK mashinani magnitlaydi.



2.37-rasm. Asinxron va sinxron generatorlarning parallel ishlashi (a) va vektor diagrammasi (b); Q – reaktivquvvat

O‘z-o‘zini qo‘zg‘atish jarayoni AG va kondensatorlarning kuchlanishlari teng bo‘lgunga qadar, ya’ni

$$I_C \omega_1 L_1 = I_C / (\omega_1 C), \quad (2.27)$$

davom qiladi. Bunda $L_1 = (x_1 + x_2) / \omega_1$ – AG ning induktivligi; C – bir fazaga to‘g‘ri keladigan sig‘im.

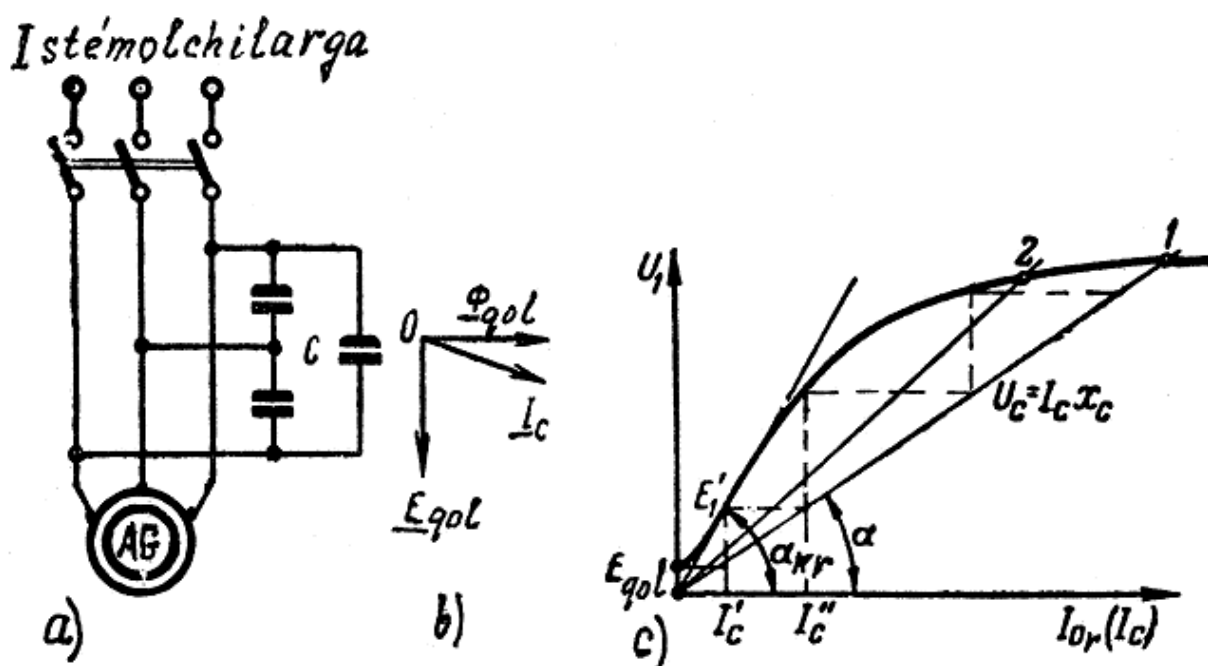
Kondensatorning sig‘imi kamaytirilsa, $U_C = I_C x_C$ xarakteristikaning og‘ish burchagi α kattalashib, AG ning kuchlanishi kamaya boradi va $I_C x_C$ to‘g‘ri chizig‘i salt ishlash egri chizig‘ining to‘g‘ri chiziqli qismi bilan mos tushganda AG o‘z-o‘zini qo‘zg‘ata olmaydi (2.38,c-rasm).

Birlamchi dvigatel bilan asinxron generator rotorini aylantirib formula bilan aniqlanadigan aylanish chastotaga erishganda, statorida ω_1 chastota tebranishlari byjudga keladi va $\omega_{kr} = 1 / \sqrt{L_k C}$ –chastotaning eng yuqori kritik qiymati $\omega_1 > \omega_{kr}$ bo‘lganda o‘z-o‘zini qo‘zg‘atish buziladi.

$$N = 30 \omega_1 / (\pi p) \quad (2.28)$$

Asinxron generatorning yuklama bilan ishlashi. Sirpanishni aniqlash $s = (n_1 - n) / n_1$ formulaga binoan yuklama bilan ishlayotgan AG kuchlanish chastotasini $f_1 = const$ qilish uchun sirpanishning o‘zgarishiga mos ravishda aylanish chastota n ni o‘zgartirish lozim bo‘ladi. Buni amalga oshirish murakkab hisoblanadi, chunki birlamchi dvigatelning aylanish chastotasi regulyator

(rostlagich) bilan o'zgaras qilinganda AG ning sig'imi va yuklamaning o'zgaras qiymatlarida chastota pasayadi.



2.38-rasm. O'z-o'zini qo'zg'atishli asinxron generator (a), vektor diagramma (b) va AG ning o'z-o'zini qo'zg'atish jarayonini tushuntirishga oid (s)

Bu quyidagicha tushuntiriladi. AG yuklama bilan ishlaganda, stator chulg'amining induktiv va aktiv qarshiliklarida kuchlanish pasayishi tufayli, uning kuchlanishi bir oz kamayadi. Bunga yana ikkinchi sabab, odatda, yuklama bilan ishlaganda AG ning magnitlovchi toki ham bir oz kamayadi, chunki kondensator tokining bir qismi rotor tokining reaktiv tashkil etuvchisini va yuklama tokini qoplashga sarflanadi.

Kuchlanishning kamayishi AG magnit sistemasining to'yinish darajasini kamaytiradi va, natijada, asinxron mashinaning induktivligi L_1 ortadi; uning ortishi esa $\omega_1 = 2\pi f_1 = 1/\sqrt{L_1 C}$ formulaga binoan, chastota f_1 ning kamayishiga olib keladi va $x_c = 1/(2\pi f_1 C)$ formulaga asosan, kondensatorning induktiv qarshiligi x_c ortadi, natijada esa, tok I_s kamayadi. Demak, AG ning ishiga yuklamaning xarakteri katta ta'sir qilar ekan.

Agar AG ning yuklamasi sof aktiv bo'lganda kondensatorlarning quvvati generatorning reaktiv quvvatiga teng bo'lishi lozim bo'lsa, aktiv-induktiv yuklamada esa yuklamani ham reaktiv quvvat bilan ta'minlash maqsadida kondensator batareyasining quvvatini oshirish zarur bo'ladi.

O'z-o'zini qo'zg'atadigan AG kondensator batareyasining quvvati ancha katta, ya'ni nominal quvvatining 70÷100 % ni tashkil qiladi. Bu esa qurilmaning tannarxini oshiradi.

Amaliy jihatdan, tarmoqqa ulanmagan AG ni sof aktiv yuklama bilan ishlatishda kuchlanish va chastotaning o'zgarish xarakteristikalarini etarli darajada qanoatlanarli bo'lmaganligidan AG larning qo'llanish sohalari cheklangan.

Asinxron mashinalarning ishga tushirish xarakteristikalarini yaxshiligi tufayli ularni *aviadvigatellarni* ishga tushirish uchun *starter* sifatida foydalaniladi. *So'ngra generator rejimiga* o'tkazilib samolyot bortida o'zgaruvchan tok manbasi sifatida ishlatilishi mumkin.

O'z-o'zini qo'zg'atishli asinxron generatorlar rostlanuvchi elektr yuritmada xam ishlatilishi mumkin (masalan, rekuperativ tormozlashda).

Asinxron mashina generator sifatida avtomobil va traktorlarda ishlatiladigan dizel dvigatellarini sinash stendlarida ishlatiladi. Bunda dvigatel so'byq paytida asinxron mashina elektr dvigateli sifatida ishlab, uni qizdiradi va keyin, u generator rejimiga o'tkaziladi. Bu holda AG tormozlovchi momentni hosil qilib, avtomobil va traktor dvigatellariga yuk vazifasini bajaradi.

Qo'lda ishlatiladigan elektr qurilmasi uchun yuqori chastotali elektr energiya manbai sifatida; avtomatik boshqarish sistemalarida, ergashuvchi elektr yuritmada va hisoblash qurilmalarida ichi kavak yoki qisqa tutashgan rotorli asinxron taxogeneratorlar qo'llaniladi.

2.19. O'ZGARUVCHAN TOK KOLLEKTORLI ASINXRON MASHINALARI

O'zgarmas tok dvigatelinin ishlashi uchun o'zgaruvchan tokni o'zgarmas tokka aylantiradigan o'zgartgich zarur. Bunday o'zgartgichning borligi qurilmani

murakkablashtirib, qimmatlashtiradi va uning ishonchliligini pasaytiradi. Lekin shu bilan birga o'zgarimas tok dvigatellari, o'zgaruvchan tok kollektorsiz dvigatellariga yot bo'lgan yaxshi rostlash xossalari ega.

Rostlash xossalari yaxshi bo'lgan, lekin o'zgaruvchan tok tarmog'idan ishlaydigan dvigatel hosil qilishga intilish o'zgaruvchan tok kollektorli dvigagellarining yaratilishiga olib keldi.

Bu dvigatellar bir fazali va uch fazali bo'lishi mumkin. Ular yuqori quvvat koeffitsientini saqlagan holda, tezlikni katta chegaralarda va bir tekis rostlashga imkon beradi. Ammo shu bilan birga bu dvigatellarda o'zgaruvchan tok kollektorsiz dvigatellariga qaraganda kommutaiiya sharoiti og'ir, konstruktiv jihatdan ular murakkabroq va qimmatroq turadi.

Bu ko'rsatilgan kamchiliklar o'rta va katta quvvatli o'zgaruvchan tok kollektorli dvigatellarining qo'llanishini cheklab qo'yadi.

Ham o'zgarimas tok tarmog'idan, ham o'zgaruvchan tok tarmog'idan ishlaydigan universal kollektorli dvigatellar eng ko'p tarqalgan.

Bir fazali ketma-ket qo'zg'atishli kollektorli dvigatel

Asosan, o'zgarimas tok kollektorli elektr dvigateli o'zgaruvchan tok tarmog'idan ham ishlashi mumkin, chunki bu holda yakor chulg'amida va qo'zg'atish chulg'amida toklarning yo'nalishi bir paytda o'zgaradi; shuningdek, yakor toki I_a ning va qo'zgatish magnit oqimi Φ ning yo'nalishlari (ishoralari) bir paytda o'zgaradi.

Natijada elektromagnit momentning bir davr ichidagi o'rtacha qiymati musbatligicha qoladi:

$$M_{o'r} = S_m (\pm \Phi) (\pm I_a) > 0. \quad (2.29)$$

Kollektorli dvigatelning o'zgaruvchan tok tarmog'idan ishlashi mumknligi 2.20.1-rasmda tasvirlangan. Rasmdan ko'rinadiki, o'zgaruvchan kuchlanish musbat yarim davrdan manfiy yarim davrga o'tganda elektromagnit momentning yo'nalishi o'zgarimasligicha saqlanadi.

Bir fazali kollektorli dvigatellar, ko‘pincha, ketma-ket qo‘zg‘atishli bo‘ladi. Bu holda parallel qo‘zg‘atishning qo‘llanishi shu bilan chegaralanadiki, ketma-ket qo‘zg‘atish chulg‘amiga nisbatan o‘ramlar soni ko‘p bo‘lgan parallel qo‘zg‘atish chulg‘amining katta induktivligi yakor toki I_a va qo‘zg‘atish toki I_q orasida ψ burchakka teng bo‘lgan katta faza siljishi hosil qiladn (2.40- rasm, a). Bu holda elektromagnit momentning o‘rtacha qiymati (2.30) ifodaga o‘xshash, lekin yakor toki va magnitoqim orasidagi faza siljish burchagini hisobga oluvchi ifoda bilan aniklanadi:

$$M_{par} = S_m (F_{max}/\sqrt{2})I_a \cos(\psi+\delta) \quad (2.30)$$

bu erda Φ_{max} – magnit oqimning maksimal qiymati; ψ – yakor toki va qo‘zg‘atish toki orasidagi faza bo‘yicha siljish burchagi; δ – qo‘zg‘atish toki na magnit oqim orasidagi, mashinada bo‘ladigan magnit isroflar bilan bog‘liq bo‘lgan faza bo‘yicha siljish burchagi.

Ketma-ket qo‘zg‘atishli elektr dvigatelida yakor toki I_a hamda qo‘zg‘atish toki I_q faza jihatdan mos keladi $\psi = 0$ (2.40-rasm, b).

Shuning uchun ketma-ket qo‘zg‘atishli dvigatelda aylantiruvchi elektrmagnit momentning o‘rtacha qiymati M_{ket} parallel qo‘zg‘atishli dvngateldagiga nisbatan kattaroq bo‘ladi:

$$M_{ket} = S_m (F_{max}/\sqrt{2})I_a \cos\delta \quad (2.31)$$

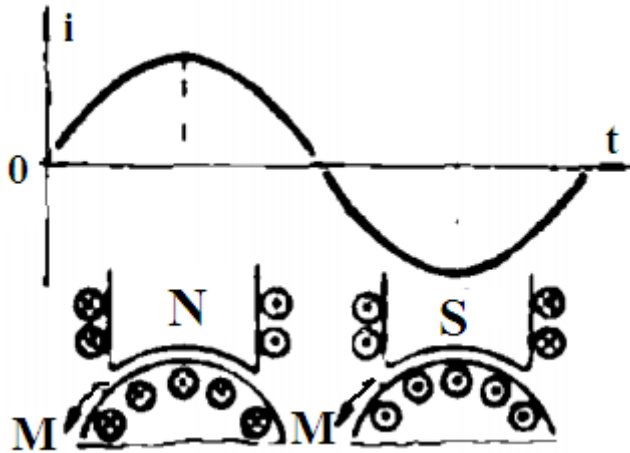
Bir fazali kollektorli dvigatellar o‘zining konstruksiyasiga ko‘ra o‘zgarman tok dvigatellaridan shu bilan farq qiladiki, ularning staninalari hamda bosh qutblari elektrtexnik po‘lat listlardan shixtalangan qilib ishlanadi. Bu, dvigatel o‘zgaruvchan tok tarmog‘idan ishlaganda oshib ketadigan magnit isroflarni kamaytirishga imkon beradi, chunki qo‘zg‘atish chulg‘amidagi o‘zgaruvchan tok mashinaning stanina hamda qutb o‘eaklari bilan birga butun magnit zanjirining o‘ta magnitlanishiga olib keladi.

Bir fazali kollektorli dvigatellarning asosiy kamchiligi kommutatsiya sharoitlarining og‘irligidir. Buning sababi, kommutatsiyalovchi seksiyalarda reaktiv EYK E_r va tashqi maydon EYK E_t dan tashqari, ta’sir etuvchi qiymati quyidagicha bo‘lgan transformator EYK hosil bo‘ladi:

$$E_T = 4,44f_1 F_{max} W_s$$

bu erda f_1 - qo'zg'atish chulg'amidagi o'zgaruvchan tokning chastotasi;

W_s —seksiyadagi o'ramlar soni.



2.39- rasm. Qo'zg'atish va yakor chulg'amlaridagi tok yo'nalishining bir paytda o'zgarishi elektromagnit omentning yo'nalishiga ta'sir etmaydi

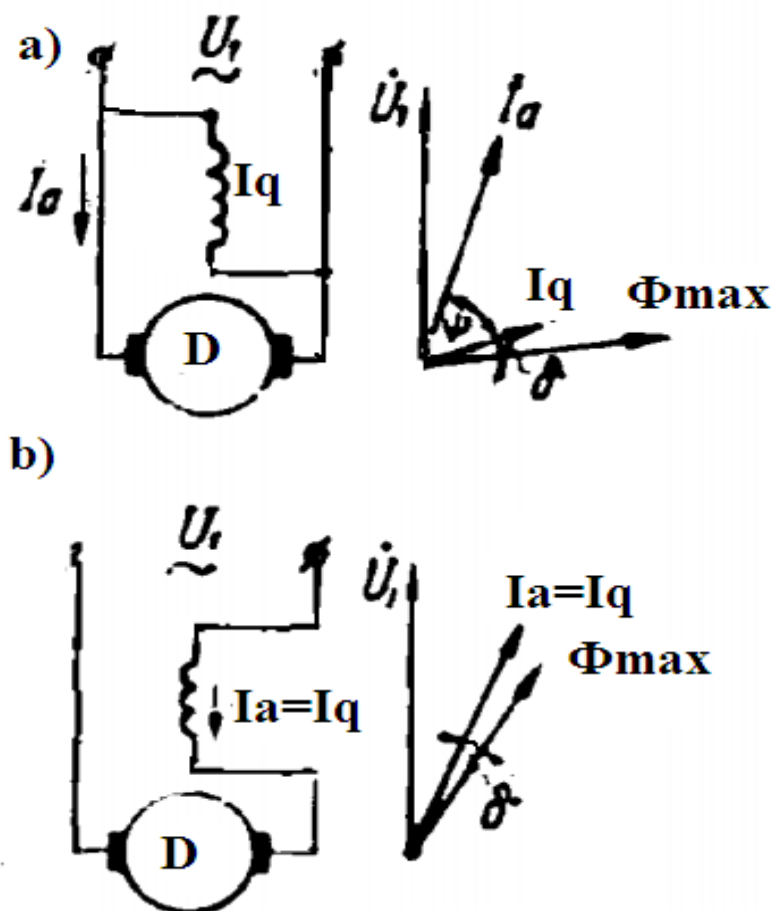
Bu EYK ning paydo bo'lishini o'zgaruvchan tok qo'zg'atish chulg'amida o'zgaruvchan magnit oqim hosil qiladi va u kommutatsiyalovchi seksiyalarni kesib o'tib, ularda transformator EYK ini induksiylaydi, deb tushuntirish mumkin. Transformatsiya EYK ni kamaytirish uchun Φ_{max} oqimni kamaytirish kerak. Bunda dvigatelning quvvati avvalgicha qolishi uchun esa, undagi qutblar soni oshiriladi.

Dvigatelning yakor chulg'amida bir o'ramli seksiyalarni qo'llash ham EYK E_T ning kattaligini cheklashga yordam beradi. Lekin, bunda kollektordagi plastinkalar soni ko'payadi, binobarin uning o'lchamlari kattalashadi.

Yakor zanjiriga ketma-ket ulangan chulg'amli qo'shimcha qutblar yordamida kommutatsiyalovchi seksiyalarda E_r va E_T EYK larni qisman kompensatsiyalovchi EYK E_k hosil qilinadi. Biroq, ko'rsatilgan EYK larning o'zaro to'la kompensatsiyalanishiga yakor toki va uning aylanish tezligining faqat ma'lum qiymatlaridagina erishish mumkin. Dvigatelning boshqa ish rejimlarida kommutatsiya sharoiti ogirligicha qoladi. Dvigatelni yurgizish paytida kommutatsiya sharoiti eng og'ir bo'ladi, chunki bu paytda aylanish EYKi nolga teng, E_R va E_t EYK lar esa eng katta qiymatlarga erishadi.

Bir fazali kollektorli dvigatelning tezligini, ketma-ket qo'zg'atishli o'zgaruvchan tok dvigatelidagi usullar bilan rostlash mumkin. Shuning bilan bir

qatorida aylanish tezligini, dvigatelga beriladigan kuchlanishni roslash transformatori yordamida o'zgartirish yo'li bilan roslash qabul qilingan.



2.40.2- rasm. Parallel (a) va ketma-ket (b) qo'zg'atishli kollektorli dvigatellarni o'zgaruvchan tok tarmog'iga ulash sxemalari va vektor diagrammalari

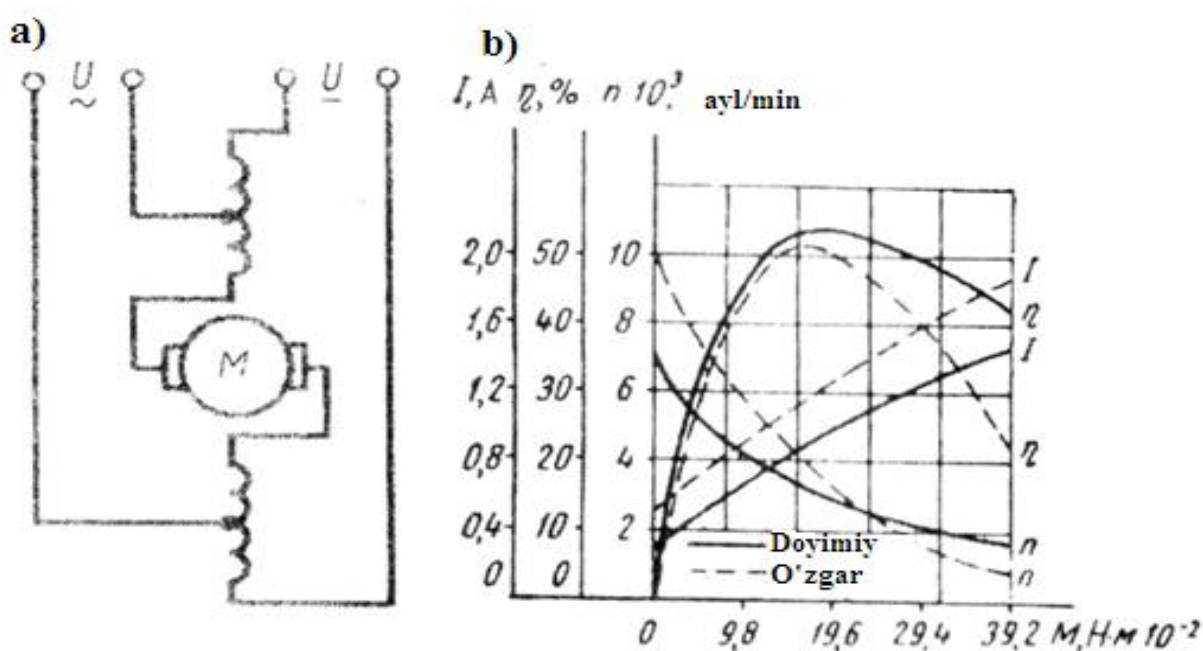
Bir fazali kollektorli dvigatellarda aylanish yo'nalishini o'zgartirish o'egarmas tok dvigatellaridagi kabi qo'zg'atish chulg'aming (yoki yakor chulg'aming) uchlarinn almashtirish bilan amalga oshiriladi.

Kichik quvvatli (150 W gacha) bir fazali kollektorli dvigatellarda kompensatsiyalovchi chulg'am ham, qo'shimcha qutblar ham bo'lmaydi, chunki quvvat kichik va taminlovchi tokning chastotasi 50 Hz bo'lganda kommutatsiya sharoiti busiz ham qoniqarli bo'ladi.

Bu dvigatellar o'zgarvas va o'zgaruvchan tok tarmog'idan ham ishlay oladi, shuning uchun ular universal kollektorli dvigatellar deb ataladi. Universal kollektorli dvigatellarda nominal yuklamada o'zgarvas va, o'zgaruvchan tokda ham taxminan bir xildagi tezlikka erishishga harakat qilinadi. Bunga elektr dvigatel qo'zgatish chulg'amini tarmoqlangan qilib yasash bilan erishiladi; dvigagel

o'zgaras tok tarmog'idan ishlaganda qo'zg'atish chulg'amidan to'la foydalaniladi, o'zgaruvchan tok tarmog'idan ishlaganda esa qo'zg'atish chulg'amining faqat bir qismi ulanadi (2.41-rasm).

Bundan tashqari, o'zgaras va o'zgaruvchan tok tarmoqlaridan ishlaganda qo'zg'atish o'ramlar sonini o'zgartirish dvigatelning o'zgaras hamda o'zgaruvchan tokdagi xarakteristikalarini birmuncha yaqinlashtirishga imkon beradi. Xarakteristikalarining to'g'ri kelmasligini elektrdvigatel o'zgaruvchan tok tarmog'idan ishlaganda tokning katgaligi va fazasiga yakor hamda qo'zg'atish chulg'amlarining induktiv qarshiliklari ta'sir etishi bilan tushuntirish mumkin. Biroq, qo'zg'atish chulg'amining o'ramlar sonini kamaytirish faqat nominalga yaqin bo'lgan yuklamadagina xarakteristikalarining yaqinlashishini ta'minlaydi.



2.41- rasm. Kollektorli universal dvigatelning sxemasi va ish xarakteristikasi.

Universal dvigatellarning stator toki I_1 ning qiymati o'zgaruvchan tok tarmog'idan ishlaganda, shu elektr dvigatel tarmog'idan ishlagandagiga qaraganda kattarok bo'ladi, chunki o'zgaruvchan tok, aktiv tashkil etuvchidan tashqari yana reaktiv tashkil etuvchiga ham ega.

Universal dvigatellarning FIK o'zgaruvchan tokda magnit isroflarning oshganligi sababli o'zgaras tokdagiga nisbatan past bo'ladi. Kollektorli universal

dvigatellarning qo'llanish sohalari etarli darajada keng: ularavtomatikada, turli elektr asboblarining, uy-ro'zg'or elektr asboblarining va h.k.larning yuritmalarida ishlatiladi.

Statori ikki chulg'amli repulsion dvigatel

Repulsion dvigatelda stator va yakor chulg'amlari orasidagi elektr bog'lanish transformator bog'lansh bilan almashtirilgan. Dvigatelning statorida ikkita: qo'zg'atish chulg'ami Q hamda kompensatsiyalovchi chulg'am K bor (2.41- rasm. Chulg'amlar fazoda bir-biriga nisbatan 90° ga burilgan (2.41- rasmda $r=1$ bo'lgan konstruksiya nazarda tutiladi). Repulsion dvigatelning kollektorida cho'tkalar bor, lekin ular qisqa tutashtirilgan (2.41- rasmda shartli cho'tkalar ko'rsatilgan).

Dvigatel o'zgaruvchan tok tarmog'iga ulanganida statorning ikkala chulg'ami ham pulsatsiyalanuvchi magnit oqim hosil qiladi. Bu oqimlarning yakor chulg'ami bilan o'zaro ta'sirini tushuntirish uchunbu chulg'amni shartli ravishda uchlari cho'tkalar yordamida tutashtirilgan g'altak holda tasvirlaymiz. Bunda cho'tkalar o'qibir paytning o'zida yakor chulg'amining ham o'qi bo'ladi.

Qo'zg'atish chulg'amining magnit oqimi Φ_q yakor chulg'amining o'qiga perpendikulyar yo'nalgan, shuning uchun ham yakor chulg'amida EYK induksiyalanmaydi. Kompensatsiyalovchi chulg'amning magnit oqimi Φ_k yakor chulg'ami o'qi bo'ylab yo'nalgan va shu chulg'amda transformatsiya EYK deb ataluvchi E_t ni induksiyalaydi. Dvigatelning cho'tkalari ulanganligi sababli E_t EYK yakor chulg'amida I_a tokini hosil qiladi.

Qolgan boshqa hollarda repulsion dvigatelning ishlash ketma-ket qo'zg'atishli bir fazali kollektorli dvigatelning ishlashidan asoslan farq qilmaydi: yakor chulg'amining aktiv o'tkazgichlaridagi toklar qo'zg'atish chulg'amining magnit oqimi F_q bilan o'zaro ta'sirlashadi va yakorda kattaligi taxminan

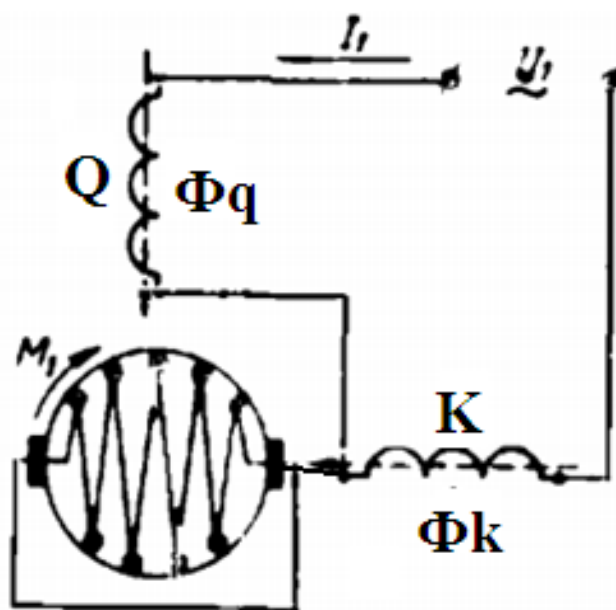
$$M = C_m \Phi_q I_a \quad (2.32)$$

ga teng bo'lgan elektrmagnit moment M ni hosil qiladi.

Repulsion dvigatelda stator hamda rotor chulg'amlari orasida elektr bog'lanishning yo'qligi. cho'tkalar kontaktining ishonchliroq ishlashini

ta'minlaydi. Gap shundaki, dvigatelning yakor chulg'ami ta'minlovchi tarmoqning kuchlanishidan qat'iy nazar, har qanday kichik kuchlanishga mo'ljallab ishlanishi umkin. Bu esa kommutatsiya jarayonini ancha engillashtiradi.

Bu dvigatel avvalgisidan farqli ravnsmda bitta stator chulg'amiga ega, bu holda yakordagi qisqa tutashtirilgan cho'tkalar (2.42-rasm) stator chulg'amiga nisbatan burilishi mumkin. Stator hamda yakor chulg'amlari o'qlarining o'zaro holati burchak α bilan aniqlanadi. $\alpha=0$ bo'lganda stator va yakor chulg'amlari o'zaro perpendikulyar bo'ladi (2.42-rasm, a).



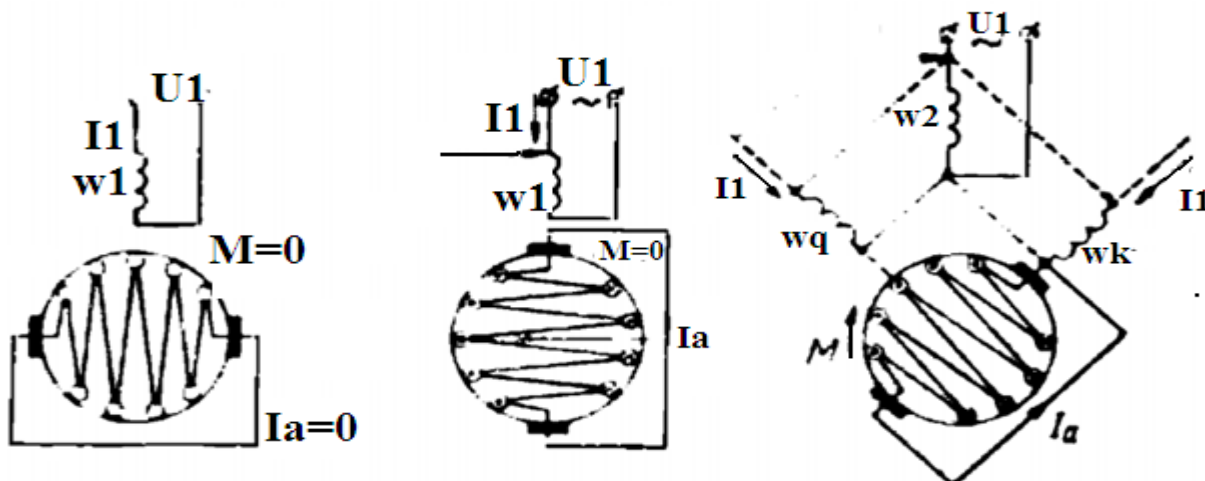
2.41-rasm. Statori ikki chulg'amli repulsion dvigatel

Statori bir chulg'amli repulsion dvigatel

Bu holda yakorchulg'amining transformatsiya EYKi nolga teng, shunga mos ravishda yakor toki I_a va aylantiruvchi moment M ham nolga teng bo'ladi.

$\alpha=90^\circ$ bo'lganda stator va yakor chulg'amlari bir o'q bo'ylab joylashadi, bunda yakor chulg'amida transformatsiya EYKi induksiyalanadi. Biroq yakor qimirlamay turaveradi, chunki yakor chulg'ami o'tkazgichlaridagi tokning qo'zg'atish oqimi bilan o'zaro ta'siri ushbu holda aylantiruvchi moment hosil qilmaydi (2.20.6- rasm, b). Cho'tkalarining bunday holati qisqatutash holati deb ataladi. Dvigatelning ish rejimi $0 < \alpha < 90^\circ$ qiymatlarga to'g'ri keladi. Bu holda statori bir chulg'amli ko'rilayotgan repulsion dvigatel statori ikkita: biri o'ram soni

$$w_q = w_1 \cos \alpha$$



2.42-rasm. Statori bir chulg'amli repulsion dvigatel

Bo'lgan qo'zg'atish va ikkinchisi o'ramlar soni

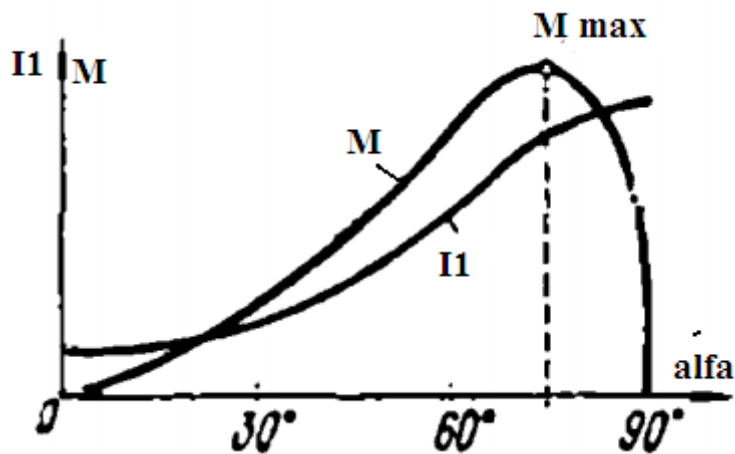
$$w_k = w_1 \sin \alpha$$

bo'lgan kompensatsiyalovchi chulg'am repulsion dvigatelga keltirilishi mumkin.

Bunda, chulg'amlarning har birida tok I_1 ga teng. Bu chulg'amlarning magnitlovchi kuchlari hosil qilgan magnet oqimlar mos ravishda $\Phi_q = \Phi_1 \cos \alpha$ va $\Phi_d = \Phi_1 \sin \alpha$ ga teng deb faraz qilinadi. Ko'rilayotgan dvigatel elektrmagnit momentining kattaligi (2.19.3) ifoda hisobga olingani holda

$$M = C_m \Phi_q I_a \approx C_m \Phi_1 I_a \cos \alpha \quad (2.33)$$

ga teng.



2.43- rasm. Statori bir chulg'amli repulsion dvigatelning $M=f(\alpha)$ va $I_1=f(\alpha)$ grafiklari

Agar mashinaning magnitsnstemasi to‘yinmagan bo‘lsa, statorchulg‘aming magnit oqimi F_1 shu chulg‘amning magnitlovchi kuchiga proporsional bo‘ladi

$$F_1 = k I_1 w_1 \quad (2.34)$$

bunda k – proporsionallik koeffitsienti, I_1 – stator chulg‘amidagi tokning kattaligi. (2.34) ifodani (2.33) ga qo‘yib:

$$M = C_m k I_1 w_1 I_a \cos \alpha \quad (2.35)$$

olinadi.

Transformator bog‘lanishga ega bo‘lgan yakor chulg‘ami va statorning kompensatsion chulg‘amidagi toklar, shuchulg‘amlarning o‘ramlar soniga teskari proporsional

$$I_1 / I_a = w_a / (w_1 \sin \alpha)$$

bundan

$$I_a = I_1 w_1 \sin \alpha / w_a \quad (2.36)$$

bunda w_a – yakor chulg‘amidagi o‘ramlar soni.

Yakor toki ifodasi (2.36) ni moment formulasi (2.35) ga qo‘yib

$$M_1 \approx C_m k I_1 w_1 I_1 (w_1 / w_a) \sin \alpha \cos \alpha$$

yoki

$$M_1 = C_M I_1^2 \sin 2\alpha$$

bunda

$$C_M = C_m \frac{k w_1}{2 w_a}$$

Shunday qilib, statori bir chulg‘amli repulsion dvigatelning elektrmagnit momenti, dvigatel tarmoqdan iste‘mol qiladigan tokning kvadratiga proporsionaldir. Agar cho‘tkalar surilganda U_1 kuchlanish shunday o‘zgartirilsaki; bunda I_1 tok o‘zgarmasdan qolsa, u holda (2.43) ifodaga muvofiq eng katta elektrmagnit moment $\alpha = 45^\circ$ qiymatga mos keladi. Lekin, odatda, dvigatel $U_1 = const$ holda ishlaydi, shuning uchun cho‘tkalarning burilishi bilan I_1 tok ham o‘zgaradi. Bu holda elektrmagnit momentning eng katta qiymati $\alpha = 70 \div 80^\circ$ ga mos keladi (2.42-rasm). Dvigatel ishlaganida cho‘tkalarning kollektordagi holati

o'zgarib turganligi sababli, unda kommutatsiyani yaxshilash maqsadida qo'shimcha qutblarni qo'llash mumkin bo'lmaydi.

NAZORAT SAVOLLARI

1. Bir fazali asinxron dvigatelning tuzilishini so'zlab bering.
2. Bir fazali dvigatelqanday kamchiliklarga ega?
3. Bir fazali asinxron dvigatelning ishlashini gapiring.
4. Kondensatorli asinxron dvigatelning chulg'amlari haqida ma'lumot bering.
5. Kondensatorli asinxron dvigatelning mexanik xarakteristikasini tushuntiring.
6. Uch fazali qisqa tutashgan rotorli asinxron dvigatelni qanday qilib bir fazali dvigatel sifatida ishlatish mumkin?
7. Ekranlangan qutbli bir fazali asinxron dvigatellar qaerlarda qo'llaniladi?
8. Ekranlangan qutbli bir fazali asinxron dvigatellar turlari?
9. Induksion kuchlanish rostlagich nima uchun mo'ljallangan?
10. Uch fazali induksion rostlagich chiqishidagi kuchlanish o'zgarishini tushuntiring.
11. Ikkitalik induksion rostlagich qaerlarda ishlatiladi?
12. Fazoregulyator nima uchun buriluvchi transformator deb ataladi?
13. Asinxron chastota o'zgartgich konstruksiyasini gapirib bering.
14. Asinxron chastota o'zgartgich qaerlarda ishlatiladi?
15. Asinxron chastota o'zgartgichning afzallik va kamchiliklari?
16. Asinxron dvigatellarni qanday ulash sxemasiga kaskadli ulanish sxemasi deyiladi?
17. Qanday kaskadlar elektr kaskadlar deb nomlanadi?
18. Massiv rotorli elektrmexanik o'zgartkichning tuzilishini gapirib bering.
19. Massiv rotorli dvigatellar qaerlarda ishlatiladi?
20. Chiziqli dvigatelning tuzilishi?

21. Chiziqli dvigatelning ishlash prinsipi.
22. Chiziqli asinxron dvigatellar qaerlarda ishlatiladi?
23. Asinxron taxogeneratorlar qaerlarda ishlatiladi?
24. Asinxron taxogeneratorlar ishlash prinsipi.
25. Aylanuvchi transformatorning tuzilishi va ishlashi.
26. Sinxron uzatmaning asosiy elementlarini gapirib bering.
27. Bir fazali selsinlarning tuzilishi va ishlashi, turlari.
28. Elektromagnitli asinxron muftatuzilishi va ishlashi, turlari.
29. Ijrochi asinxron dvigatellarning qo‘llanilish soxalari, afzallik va kamchiliklari?
30. Sinxronlashtirilgan asinxron dvigatellarning qo‘llanilish soxalari, tuzilishi, ishlashi, turlari, afzallik va kamchiliklari?
31. Qanday dvigatellarga ishga tushirish momenti kattalashtirilgan dvigatellar deyiladi? Ularning turlari.
32. Asinxron generatorning ishlash prinsipini so‘zlab bering.
33. AG ning tarmoq bilan parallel ishlashidagi jarayonlar qanday kechadi?
34. AG ning o‘z-o‘zini qo‘zg‘atishi uchun qanday shartlar bajarilishi kerak?
35. AG ning afzalligi va kamchiliklari nimalardan iborat?

III BOB. MAXSUS SINXRON MASHINALAR

3.1. KRIOGEN TURBOGENERATOR.

Kriogen turbogeneratorning rotori suyultirilgan geliy bilan sovitilgan kriostatdan iborat bo'ladi. Bunda geliyning qaynash temperaturasi 4,2 K gacha bo'lgan xaroratda o'ta o'tkazgichinig ishlash temperaturasi ushlab turilishi kerak. Geliyning Qo'zg'atish chulg'amida tok zichligi 100 A/mm^2 , mashinaning havo oralig'idagi induksiya esa $1,3 \div 1,5 \text{ Tl}$ ga etadi. Bunday induksiyalarda kriogenerator statori tishsiz qilib tayyorlanadi. Stator chulg'ami suv bilan sovitiladi. Krioturbogeneratorlar hozirgi vaqtda ishlab chiqarish bosqichida tajriba sinovlaridan o'tkazilmoqda.

Bundan tashqari hozirgi vaqtda kriogen elektr mashinalarining tuzilishi oddiy sinxron mashinalarning tuzilishida farq qiladi. Bunday mashinalarda rotor va statorni yasashda ishlatiladigan ferromagnit material ishlatilmaydi (tashqi maydonni magnit maydonndan ximoyalash uchun qobiqdan tashqari). Ushbu mashinalarda inductor to'g'ri burchakli g'altakda tashkil topgan bo'lib, u o'ta o'tkazuvchan o'tkazgichdan yoki o'ta toza metaldan tayyorlangan. Induktorning ishlash temperaturasini saqlash maqsadida u kriostatga o'rnatiladi. Yakor chulg'ami oddiy o'tkazgichda tayyorlanadi.

Bunda magnit oqimini va EYK ni aniqlash uchun magnit maydonning havo oralig'ida tarqalishiga bog'liq bo'ladi.

Stator chulg'amlarini kesib o'tuvchi magnit oqimining birinchi garmonikasi quyidagi formula bilan aniqlanadi:

$$\Phi = \frac{2}{\pi} k_t B_r \tau l \quad (3.1)$$

bu erda k_t - birinchi garmonika koeffisienti, tekshirishlar shuni ko'rsatadiki ushu koeffisientning qiymati $1,17-1,2$ oralig'ida bo'ladi.

Faza chulg'amida hosil bo'lgan elektr yurutuvchi kuch:

$$E_F = 4,44 k_{ch} f \omega \Phi \quad (3.2)$$

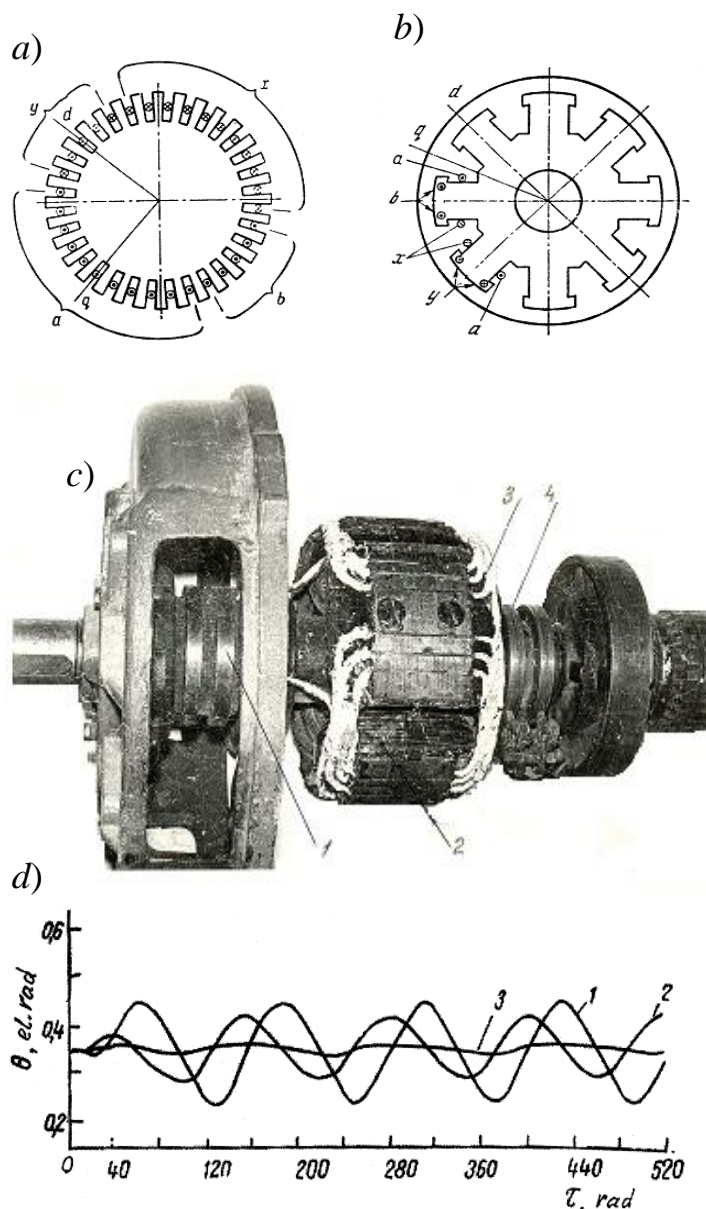
3.2. MAGNITLANISH O‘QI BURILADIGAN SINXRON MASHINALAR

Bo‘ylama – ko‘ndalang qo‘zg‘atishlisinxron mashinalar. Bunday sinxron mashinalarning stator tuzilishi an’anaviy sinxron mashinalarnikidan farq qilmaydi. Sinxron mashina rotoridagi tinchlantiruvchi (generator rejimida) yoki ishga tushirish chulg‘ami (dvigatel rejimida) o‘rniga ikki yoki m fazali qo‘zg‘atish chulg‘ami joylashtiriladi. Quyida ikki fazali, chulg‘ami bor bo‘lgan noayon va ayon qutbli rotorning tuzilishini ko‘rib o‘tamiz. Bo‘ylama va ko‘ndalang o‘qlari bo‘yicha qo‘zg‘atiladigan sinxron mashinaning rotorini *noayon qutbli* bo‘lsa, simmetrik ikki fazali qo‘zg‘atish chulg‘ami rotor pazlariga xuddi yakor chulg‘ami yoki faza rotorli asinxron dvigatelning rotor chulg‘ami kabi o‘ralgan bo‘ladi. Agar ikki chulg‘am "ax" va "by" lar har xil bo‘lsa, ya’ni nosimmetrik bo‘lsa, ular har xil hajmni egallaydi. 3.1, a-rasmda "ax" chulg‘am umumiy pazlarning 3/4 qismini, «by» chulg‘am esa 1/4 qismini egallagan bir qatlamli noayon qutbli rotorning chulg‘amlari ko‘rsatilgan.

Noayon qutbli bo‘ylama va ko‘ndalang o‘qlari bo‘yicha qo‘zg‘atiladigan sinxron mashinalarda bo‘ylama o‘qi "ax" qo‘zg‘atish chulg‘amining o‘qi bo‘yicha yo‘nalgan bo‘lib, uning musbat yo‘nalishi "ax" chulg‘amning magnit oqimibilan bir xilda yo‘nalgan. Ko‘ndalang o‘q «q» esa "by" qo‘zg‘atish chulg‘ami o‘qi bo‘yicha yo‘nalgan bo‘ladi. Shu sababli "ax" qo‘zg‘atish chulg‘amini – bo‘ylama, "by" qo‘zg‘atish chulg‘amini esa *ko‘ndalang qo‘zg‘atish chulg‘amlari* deyiladi.

Bo‘ylama-ko‘ndalang o‘qlari bo‘yicha qo‘zg‘atiladigan sinxron mashinaning rotorini ayon qutbli bo‘lsa, u holda qo‘zg‘atish chulg‘amlari "ax" va "by" larni birxil, ya’ni simmetrik qilish mumkin emas. Asosiy bo‘ylama qo‘zg‘atish chulg‘ami "ax" xuddi oddiy sinxron mashinalardagi qo‘zg‘atish chulg‘ami kabi joylashtiriladi, qo‘shimcha ko‘ndalang chulg‘ami "by" esa dempferlovchi (dvigatel rejimida «ishga tushiruvchi») chulg‘am o‘rnida joylashtiriladi (3.1, b-rasm) va bu chulg‘amning MYK asosiy chulg‘am MYKning 15÷20 % ni tashkil etishi mumkin.

3.1-rasm. Qo'zg'atish chulg'amlari "ax" va "by" har xil bo'lgan noayon qutbli rotor (*a*), dempfer chulg'ami o'rniga ko'ndalang qo'zg'atish chulg'ami joylashtirilgan 8 qutbli (*b*) va 4 qutbli (*s*) ayon qutbli rotorlar (4 qutbli modelda: bo'ylama (*2*) va ko'ndalang (*3*) qo'zg'atish chulg'amlari; *4* va *1* – mos ravishda ularga tegishli kontakt halqalar) hamda majburiy va erkin tebranishlar chastotalari $\omega_{maj} \approx \omega_{xus}$ bo'lgandagi yuklanish burchagi θ ning tebranishlarini rostdash natijalari



Bunday sinxron mashinalarning *ishlash prinsipi* oddiy sinxron mashinaniqidan farq qilmaydi, faqatgina o'tish jarayonlar vaqtida ko'ndalang qo'zg'atish chulg'ami "by" ishga tushiriladi. Ikkala qo'zg'atish chulg'amiga ham o'zgarimas tok manbasidan kuchlanish beriladi. Bu mashinalar dvigatel, generator, sinxron kompensator rejimlarida ishlashi mumkin.

Bo'ylama ko'ndalang o'qlari bo'yicha qo'zg'atiladigan sinxron mashinalarning ekspluatatsion xarakteristikalar *magnitlanish o'qi burilishi tufayli* an'anaviy sinxron mashinalarnikidan afzal bo'ladi, chunki yakor reaksiyasining ta'siri ko'ndalang qo'zg'atish chulg'ami MYK tomonidan kompensat siyalanadi. Natijada, qo'shimcha ko'ndalang qo'zg'atish chulg'ami MYKning ijobiy ta'siri

tufayli mashinaning static va dinamik turg'unligi oshadi, erkin va majburiy tebranishlar chastotalari tenglashgan holda rezonans hodisalaridagi mashina parametrlarining kata amplitude bilan tebranishlarini (3.1, d -rasm) so'ndirish imkoni tug'iladi.

Bu rasmda: 1 – tebranishlar so'ndirilmagan hol; 2 – faqat bo'ylama o'qi bo'yicha rostlanganda burchak θ ning tebranishlari nisbatan kamayadi, lekin to'la so'ndirib bo'lmaydi; $U_{qo'z(0)d=const}$ bo'lib, ko'ndalang qo'zg'atish MYK bilan rostlashda esa (3) mazkur tebranishlarni deyarli to'la so'ndirish imkoniyati bo'ladi hamda mashinani boshqarish yaxshilanadi.

Hozirgi vaqtda Ukrainada Rossiya hamkorligida quvvati 320 MV·A bo'lgan bo'ylama-ko'ndalang qo'zg'atishli noayon qutbli sinxron kompensator ishlab chiqarilgan va samarali ishlatilmoqda.

Asinxronlashtirilgan sinxron mashinalar. Agar sinxron mashinada bir-biriga perpendikulyar bo'lgan ikkita qo'zg'atish chulg'ami bo'lib, ularga ikki fazali o'zgaruvchan kam chastotali kuchlanish manbai ulansa, u holda bu chulg'amlardan sinusoidal toklar o'tadi va qo'zg'atish chulg'amida magnitlanish o'qi buriladigan MYK va aylanma magnit maydonini hosil qiladi. Bu maydon rotorga nisbatan kam qiymatli sirpanish bilan aylanadi.

Shu sababli, bunday mashinalarni ***asinxronlashtirilgan sinxron mashinalar*** deyiladi. Bunday mashinalarning tuzilishi va ishlash prinsipi bo'ylama va ko'ndalang o'qlari bo'yicha qo'zg'atiladigan sinxron mashinalarniki kabi bo'ladi, ammo qo'zg'atish chulg'amlariga barqaror ish jarayonida o'zgarimas tok berilsa, o'tish jarayonlarda esa bu chulg'amlarga o'zgaruvchan chastotali kuchlanish beriladi. Bu mashinalar ham dvigatel, generator va sinxron kompensator rejimlarida ishlashi mumkin.

Bu mashinalarning xarakteristikalarini (sinxron ish rejimida) va ko'ndalang qo'zg'atish chulg'amining roli ham xudi bo'ylama-ko'ndalang o'qlaribo'yicha qo'zg'atiladigan mashinalarniki kabi bo'ladi.

Hozirgi vaqtda Ukrainaning Burshtinsk IES da ikkita 200 MW li ikki o'qi buyicha qo'zg'atishli asinxronlashtirilgan turbogenerator ishlab turibdi. Ta'kidlash

lozimki, Rossiyada Ukraina bilan hamkorlikda quvvati 800 MW bo'lgan asinxronlashtirilgan turbogeneratorning loyihasi ustida ham ishlar olib borilmoqda.

Asinxronlashtirilgan turbogeneratorlar (ASTG).

Turbogeneratorlarning quvvati oshgan sari ularning parametrlari yomonlasha boradi; bu hol esa energetika sistemasining ekspluatatsiya shartlariga salbiy ta'sir ko'rsatadi. Reaktiv qarshiliklar qiymatlarining oshishi, generatorlarning inersiya momentlarining kamayishi, hamda elektr uzatish liniyalari (EUL) uzunligining va ular orqali uzatiladigan quvvatlarning oshishi elektr sistemalarining *dinamik turg'unligini pasaytiradi*. Energetika sistemasida aktiv yuklamaning kamaygan soatlarida ortiqcha reaktiv quvvatning hosil bo'lishi EUL da me'yordan ortiq kuchlanishning oshishi byjudga keladi. Sinxron generatorlar katta qiymatli reaktiv quvvatni iste'mol qilish rejimida, hatto kuchli ta'sir qiluvchi regulyatorlar bo'lganda ham turg'un ishlay olish qobiliyatiga ega emaslar.

Agar EUL da *magnitlanish o'qi buriladigan* sinxron turbogeneratorlar (shu jumladan, ASTG lar) qo'llanilsa. Yuqorida ko'rsatilgan muammolarni echishda katta ijobiy natijalar olinadi. ASTG ning odatdagi sinxron generatoridan farqi shuki, uning rotorida biri-biridan fazoda 90° burchakka siljigan ikki fazali qo'zg'atish chulg'ami joylashtirilgan bo'lib, ular boshqariladigan statik o'zgartgichga ulanadi. Ikki fazaga alohida o'zgarmas tok berib ishlatilsa, ASTG odatdagi sinxron rejimda ishlaydi. Bunday rejimda ishlaydigan sinxron generatorlarni *ikki o'qi bo'yicha qo'zg'atishli* yoki *bo'ylama-ko'ndalang qo'zg'atishli* sinxron mashinalar deyiladi.

3.3. O'TA O'TKAZUVCHAN QO'ZG'ATISH CHULG'AMLI SINXRON MASHINALAR

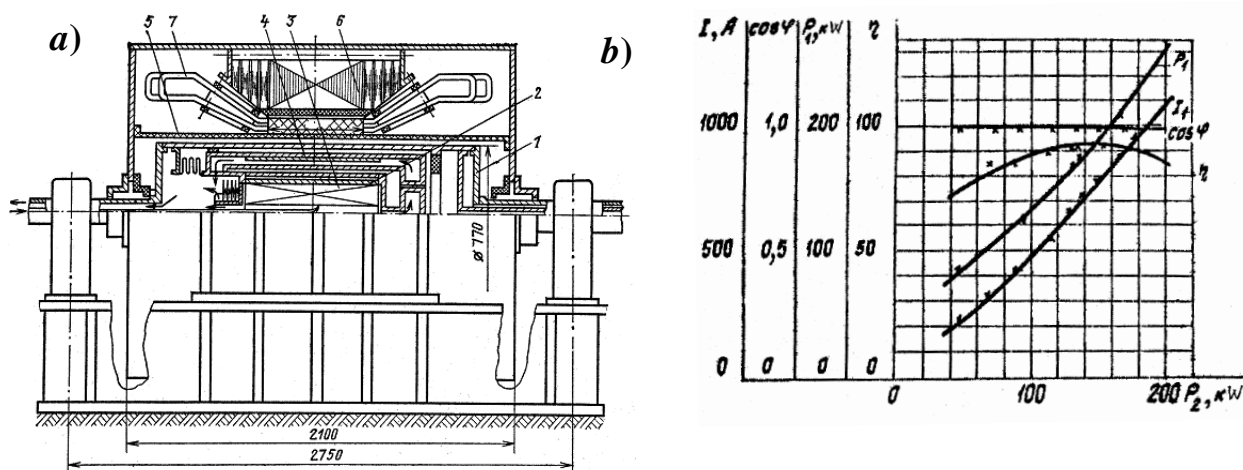
Hozirgi vaqtda qo'zg'atish chulg'amlari o'ta o'tkazuvchan materiallardan tayyorlangan sinxron mashinalarga bo'lgan qiziqish oshib bormoqda. Ayrimmetallar absolyut nul temperaturada o'ta o'tkazuvchanlik kuzatiladi. O'ta o'tkazgichlarning qarshiligi amaliy jihatdan nulga teng. Bu holda ma'lum bir kritik

temperatura va magnit induksiya hamda kritik tok zichligi saqlanadi. Hozirgi vaqtda sanoat maqsadlari uchun niobiy va titan yoki niobiy va qalay qotishmalaridan tayyorlangan o'ta o'tkazuvchan materiallar foydalanilmoqda. Bunday o'tkazuvchan materiallar uchun kritik temperaturaning qiymati $4,2 \div 5$ K, kritik tok zichligi 1000 A/mm^2 , kritik magnit induksiyasi $4 \div 7$ Tl ga teng.

Elektr mashinalari chulg'amlari uchun o'ta o'tkazuvchan materiallarni qo'llash kichik kesim yuzasidan juda katta tok o'tkazib kuchli magnit maydonni hosil qilishga va chulg'amning massasini kamaytirishga imkoniyat yaratadi.

O'ta o'tkazuvchan materiallar asosan o'zgarmas tok manbaiga ulanadigan mashinalarning qo'zg'atish chulg'amlari o'rnida ishlatiladi (3.2-rasm). Ularning o'zgaruvchan tok oqadigan chulg'amlar o'rnida ishlatish texnik jihatdan mumkin, lekin elektr isroflar va juda kichik kritik toklar bo'lgani uchun qulay hisoblanmaydi. Shuning uchun hozirgi vaqtda sinxron va o'zgarmas tok mashinalari qo'zg'atish chulg'amlari uchun ishlatiladigan o'ta o'tkazuvchan materiallarni yaratish ustida ishlar olib borilmoqda.

Qo'zg'atish chulg'ami o'ta o'tkazuvchan materialdan tayyorlangan bo'lsa, kritik temperaturada bu materialni tutib turish uchun maxsus sovitish qurilmasi ichiga solish kerak.



3.2-rasm. Quvvati 1200 kW, 3000 ayl/min bo'lgan o'ta o'tkazgich qo'zg'atish chulg'amli turbogenerator (a): 1 – rotor; 2 – qo'zg'atish g'altagi (3) ni siqib turuvchi rotor bandaji (kamari); 4 – ekran; 5 – shisha (steklo)plastikdan tayyorlangan vakuum idishi; 6 – elektrotexnik po'lat plastinalaridan yig'ilgan stator; 7 – mis o'tkazgichining ichidan suv bilan sovitiladigan stator chulg'ami; b) – quvvati 200 kW, 3000 ayl/min bo'lgan o'ta o'tkazgich qo'zg'atish chulg'amli turbogeneratorning yuklama bilan ishlashidagi xarakteristikasi

Bunday sovitish qurilmasiga *kriostat* deyiladi. Kriostat Dyuar idishi bo'lib, uning ichida qo'zg'atish chulg'ami joylashtirilib suyuq geliy bilan sovitilib turadi. Issiqlikni kamaytirish maqsadida bu idish azot bilan to'ldirilgan boshqa idish ichiga joylashtiriladi. Sinxron mashinalarda kriostat rotorda joylashtiriladi, o'zgaras tok mashinalarda esa kriostat statorda joylashtiriladi.

O'ta o'tkazuvchan materialdan bo'lgan chulg'amda kuchli magnit maydoni hosil bo'lgani uchun, odatdagi magnit o'tkazgichni ishlatsa magnit isroflar ancha ko'payib ketadi, va shu sababli, yakor chulg'ami joylashtirilgan muhit pazziz yoki nomagnit materialdan yasaladi, natijada mashinaning og'irligi kamayadi va o'lchamlari kichiklashadi.

Ferromagnit po'lat o'zakning bo'lmasligi esa mashinaning xarakteristikalariga yakor reaksiyasining ta'siri sezilarsiz bo'ladi. Oddiy mashinalarga qaraganda o'ta o'tkazuvchan chulg'amli mashinalarda havo oralig'ida magnit induksiyasining qiymatini $3\div 4$ marta, chizig'iy yuklamani esa $1\div 2$ marta oshirish mumkin bo'ladi, natijada mashinaning aktiv hajmi $4,5\div 8$ martagacha kichiklashadi.

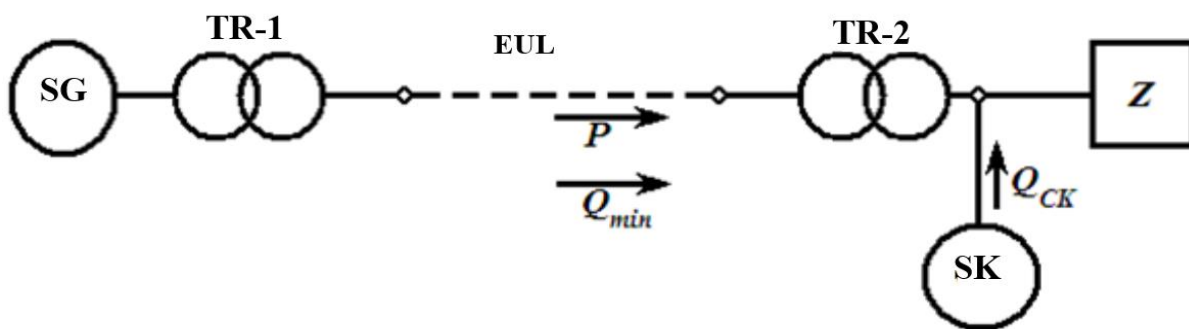
Elektr mashinalarida o'ta o'tkazuvchan materiallardan tashqari krioo'tkazuvchan materiallarni ham qo'llash ustida izlanishlar olib borilmoqda. Bunday material juda kuchli sovitilganda o'zining qarshiligini kamaytiradi, lekin o'ta o'tkazuvchanlik xossaga ega bo'lmaydi. Krioo'tkazuvchan materialga tozalangan alyuminiy misol bo'ladi. Alyuminiy 20 K temperaturada o'zining qarshiligini 10^4 marta kamaytiradi. Krioo'tkazuvchan materiallar transformatorlar chulg'amlarini tayyorlash uchun ham ishlatish mumkin.

3.4. SINXRON KOMPENSATOR

Sinxron kompensator (SK) shunday sinxron mashinaki, reaktiv quvvatni generatsiya qilish uchun qo'llaniladi. Sinxron kompensatorni elektr tarmoqqa, uning quvvat koeffitsientini oshirish uchun kiritiladi.

Istamolchilaruchun (elektmotorlar, transformatorlar va boshqa induktiv yuklamalar) elektr energiyani faqat aktiv tashkil etuvchisi emas, balki reaktiv tashkil etuvchisi ham oʻta zarur. Reaktiv energiya ularda magnit maydon hosil qilish vazifasini bajaradi, xolos. Foydali ish bajarmaydi, generator va istemolchi orasidagi elektr uzatish liniyasida (EUL) sirkulyasiya boʻlib unda Joule isroflarini hosil qiladi. EUL oʻtkazgichlaridan oqayotgan tokning zichligi cheklanganligi sababli, liniyada energiyani aktiv tashkil etuvchisini istemolchiga etkazib berishda xalal beradi.

SK ning qoʻllanishidan maqsad, istemolchilarga zarur boʻlgan reaktiv quvvatni elektr stansiyada oʻrnatilgan sinxron generator emas, balki istemolchi yaqinida oʻrnatilgan sinxron kompensator ishlab chiqaradi. Bu kabi katta reaktiv quvvat talab etuvchi isteʼmolchilar, asosan transformator, asinxron motor va reaktori mavjud boʻlgan korxonalaridir.



3.3-rasm. Sinxron kompensatorni elektr tarmogʻiga ulanishi

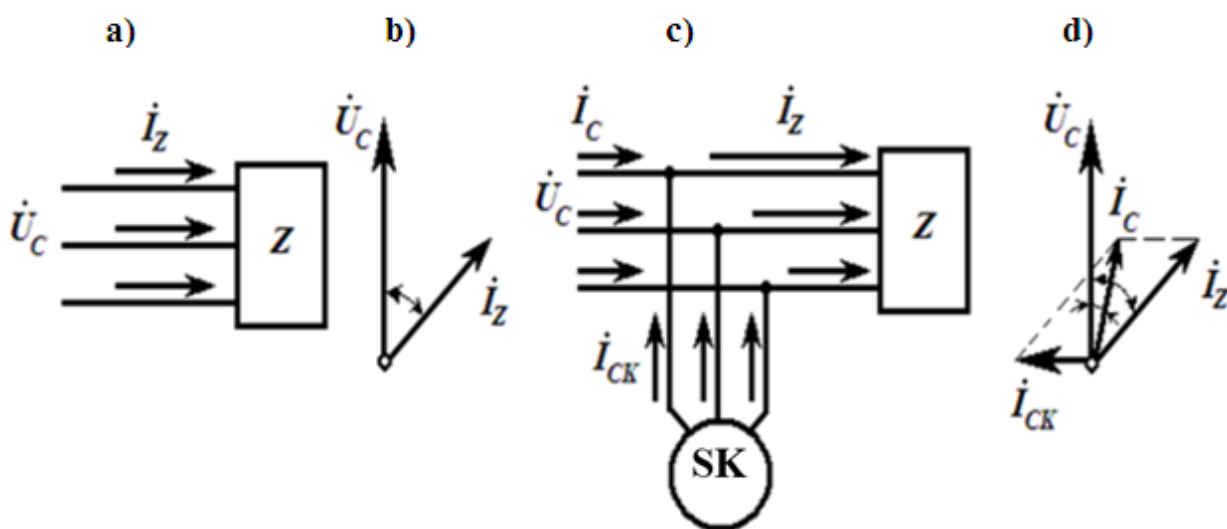
Quyida keltirilgan 3.3-rasmda sinxron generator (SG), kuchaytiruvchi va pasaytiruvchi transformatorlar (TR-1 va TR-2), EUL, istemolchi (Z) va istemolchining bevosita kirish klemmalariga ulangan sinxron kompensator (SK) larni oʻz ichiga olgan elektr energetik tizimning prinsipial sxemasi koʻrsatilgan.

Tarmoqqa ulangan SK, validan yuklamasi boʻlmagan ($P_2=0$), yaʼniy u.i. rejimidagi sinxron motor kabi ishlaydi va istemolchi Z (masalan, asinxron motorlar guruhi) uchun zarur boʻlgan Q_{sk} reaktiv quvvat ishlab chiqaradi. Natijada, SG va EUL ning reaktiv quvvati minimal qiymat ga Q_{min} cha pasaytiriladi.

Elektr tarmogʻiga SK kiritish bilan bogʻliq jarayonni tushuntirish uchun 3.4-rasmdagi sxema ishlashini koʻraylik. Kuchlanishi U_c boʻlgan tarmoqqa Z

istemolchini kiritilganda (3.4, a-rasm) undagi mavjud katta induktiv yuklanish hisobiga tarmoq da \dot{U}_c kuchlanishdan φ_z burchakka kechikuvchi i_z toki oqa boshlaydi. Z istemolchiga parallel SK ulanganda va SK da o'ta qo'zg'atilganlik rejimi o'rnatilganda (3.4, c-rasm) tarmoq \dot{U}_c kuchlanishiga nisbatan 90° burchakka ilgari ketuvchi i_{CK} toki hosil bo'ladi. Tarmoqdagi natijaviy tok

$$\dot{i}_c = \dot{i}_z + \dot{i}_{CK} \quad (3.3)$$



3.4-rasm. Sinxron kompensatorni tarmoq quvvat koeffitsiyentini oshirish uchun qo'llash: a) sinxron kompensatorsiz b) vector diagrammasi, c) sinxron kompensator ulangan xolatda d) vector diyagrammasi

Bu tokning tarmoq kuchlanishi \dot{U}_c ga nisbatan faza siljishi (φ_c burchak) SK ulang unga qadar bo'lgan faza siljishidan ancha kichik (burchak). Bundan tashqari, SK ulanishi bilan I_c kamayadi. Bunga iqror bo'lish ($I_c < I_z$) uchun quyidagi fikrlarni ko'rib chiqamiz: SK valida yuksiz bo'lmagani sababli, uning aktiv quvvati kichik va kompensator yu.i. isroflariga teng. Bu isroflarni e'tiborga olmay, SK ulanganga qadar bo'lgan tarmoqdagi aktiv quvvatni

$$P_c = P_z = \sqrt{3} I_z U_c \cos \varphi_z \quad (3.4)$$

SK ulangandan keyingi tarmoq aktiv quvvatiga tenglashtirish mumkin:

$$P'_c = \sqrt{3} I_c U_c \cos \varphi_c \quad (3.5)$$

Ifodalar (3.3) va (3.5) dagi quvvatlarni $P_c = P_c'$ teng deb qabul qilsak, quvvat koeffitsientlari $\cos\varphi_c > \cos\varphi_z$ va toklar $I_c < I_z$ bo'ladi. Natijada sinxron generator va EUL reaktiv quvvatdan ozod bo'lib, ulardagi quvvat isroflari kamayadi.

Ba'zi holatlarda SK chala qo'zg'atilgan rejimda ishlaydi. Bunga zarurat paydo bo'lishi, tarmoqda ko'p miqdorda sig'im (reaktiv) yuklanishi bo'lib, istemolchi yuklanishining induktiv tashkil etuvchisi uni kompensatsiya qila olmaydi (masalan, istemolchining ko'plab induktiv yuklanishi vaqtincha o'chirilgan holat). Aksariyat SK ning qo'zg'atish darajasi avtomatik uskunalar yordamida boshqariladi.

Sinxron kompensatorlar EUL da uzoq masofalarga energiya uzatishda ham ishlatiladi. Katta induktiv yuklamali liniya oxirida (istemolchida) kuchlanish liniya boshlanishidagidan ancha kichik bo'lishi mumkin; kichik yuklanishlarda, aksincha, liniyadagi sig'im yuklanishlari ta'sirida liniya oxiridagi kuchlanish, liniya boshlanishidagi kuchlanishdan yuqori bo'lishi mumkin. Agar liniya oxirida (istemolchilarda) SK ulansa va katta yuklanishlarda o'ta qo'zg'atilganlik rejimida, kichik yuklanishlarda esa chala qo'zg'atilganlik rejimida ishlatilsa, u holda liniya oxiridagi kuchlanishni o'zgarmas qiymatda saqlash mumkin.

SK larning qizish jarayoni ildamllovchi toklar (o'ta qo'zg'atilganlik rejimi)da, kechikuvchi tokdagiga nisbatan (chala qo'lg'atilganlik rejimi) og'irroq kechadi, shusababli kompensatorning nominal quvvati deb, o'ta qo'zg'atilganlik rejimidagi quvvatga aytiladi.

Misol 3.4.1. Kuchlanishi $U_c = 6,3$ kV bo'lgan o'zgaruvchan tok tarmog'iga yuklanish quvvati 1500 kV·A, quvvat koeffitsienti $= 0,7$ bo'lgan istemolchi ulangan. Tarmoq quvvat koeffitsientini $\cos\varphi' = 0,95$ ($\sin\varphi' = 0,31$) oshirish maqsadida o'rnatiladigan sinxron kompensatori quvvatini aniqlang. Qo'shimcha, kompensator o'rnatilganga qadar va o'rnatilgandan keyin tarmoq yuklanishi tokini aniqlang.

Echish. SK o'rnatilganga qadar tarmoq reaktiv quvvati

$$Q = S \sin \varphi = 1500 \cdot 0,7 = 1050 \text{ kV}\cdot\text{Ar},$$

tarmoq yuklanish toki

$$I_c = S / (\sqrt{3} U_c) = 1500 / (\sqrt{3} \cdot 6,3) = 138 \text{ A};$$

Shu tokning aktiv tashkil etuvchisi

$$I_{c.B} = I_c \cos \varphi = 138 \cdot 0,7 = 97 \text{ A}.$$

SK ulangandan so'ng reaktiv quvvat kamaydi

$$Q' = S \sin \varphi' = 1500 \cdot 0,31 = 450 \text{ kV}\cdot\text{Ar}.$$

Shunday qilib, qurilmaning quvvat koeffitsientini $\cos \varphi = 0,7$ qiymatidan $\cos \varphi' = 0,95$ gacha oshirish uchun quvvati

$$Q_{c.K} = 1050 - 450 = 600 \text{ kV}\cdot\text{Ar}$$

bo'lgan SK kiritish zarur bo'ladi bunda, tarmoq tokining aktiv tashkil etuvchisi ($I_{c.K} = 97 \text{ A}$) o'zgarmaydi, reaktiv tashkil etuvchisi esa quyidagiga teng bo'ladi

$$I'_{c.p} = Q' / (\sqrt{3} \cdot U_c) = 450 / (\sqrt{3} \cdot 6,3) = 42 \text{ A}.$$

Demak, SK ulangandan so'ng tarmoqdagi tok quyidagicha bo'ladi

$$I'_c = \sqrt{I_{c.B}^2 + I'_{c.p}{}^2} = \sqrt{97^2 + 42^2} = 104 \text{ A}.$$

Aksariyat, quvvat koeffitsientini $0,92 \div 0,95$ gacha oshiriladi, chunki $\cos \varphi = 1,0$ gacha o'zgartirishdan olingan iqtisod (foyda), sinxron kompensator quvvatini oshirish uchun xarajatlarni qoplamaydi. Agar, ko'rilayotgan misolda quvvat koeffitsientini birgacha oshirish zaruligi bo'lganda edi, u holda sinxron kompensatori quvvati $1050 \text{ kV}\cdot\text{Ar}$, ya'ni xarajatlar $\cos \varphi' = 0,95$ dagi xarajatlarga nisbatan taxminan ikki marta ko'proq bo'lar edi.

Sinxron kompensatorlar bu katta quvvatli elektr mashinalaridir: 10 dan 160 ming. $\text{kV}\cdot\text{A}$ gacha. Ularni, aksariyat, vali gorizonta joylashtirib yasaladi, kuchlanishi 6,6 dan 16 kV gacha, chastotasi 50 Hz. SK rotorining qutblari soni $2p = 6 \div 8$, bu esa rotor aylanishlar sonining 1000 va 750 ay/min. ga mos keladi. Xozirgizamon SK larida asinxron ishga tushirish qabul qilingan, shu sababli SK rotorini ishga tushirish chulg'ami bilan ta'minlangan.

Kompensator vali aylanma momentni boshqa mexanizmga uzatmaydi, shu sababli uning loyihasida faqat rotor tortish kuchi va magnit tortilish kuchini e'tiborga olinadi. Natijada, SK vali sinxron motor valiga nisbatan kichik kesim

yuzaga ega. Bu ko'rsatkich SK ning tashqi o'lchamlari (gabariti)ni kamaytirish imkonini beradi. SK vali ulanish qismi bo'lmaganligi sababli, SK ga vodorodli sovutkich ishlatish maqsadida, nisbatan oson germetizatsiya qilish mumkin.

SK ning muxim tavsiflaridan biri, uning asosiy parametrlarini aniqlovchi V-simon tavsifidir: stator va qo'zg'atish chulg'amlari toklarining qiymatlari. Bu tavsiflar sinxron motorning yu.i. rejimidagi ($P_2=0$) V-simon tavsifidan farq qilmaydi. Bu tavsiflar tarmoqning xarhil kuchlanishlari uchun quriladi.

Sinxron kompensator aktiv yuklanishsiz (elektromagnit quvvati $P_{em}\approx 0$) va burchak $\theta=0$ da ishlaydi, bu esa Skning katta o'ta yuklanuvchanlik xususiyatini oshiradi.

3.5. REAKTIV SINXRON DVIGATELLAR

Reaktiv sinxron dvigatellar rotoriningbo'ylama va ko'ndalang o'qlari bo'yicha magnit o'tkazuvchanligi har xil bo'ladigan konstruksiyaga ega bo'lishi kerak. Bunday dvigatelning qutblarida qo'zg'atish chulg'ami bo'lmaydi. Mashina normal ishlaganda asosiy magnit oqim faqat stator chulg'aming aylanma MYK tomonidan hosil qilinadi. Magnit oqim bunday mashinalarda qarshiligi kam bo'lgan yo'l bilan tutashadi va qutblarning bo'ylama o'qi bo'yicha o'tib aylantiruvchi momentni hosil qiladi (3.5,a-rasm). *Bu moment* reaktiv sinxron dvigatelda bo'ylama va ko'ndalang o'qlari bo'yicha magnit o'tkazuvchanlik har xil bo'lgani sababli byjudga kelganligidan, uni *reaktiv moment* deyiladi.

Ma'lumki, katta quvvatli sinxron dvigatellarning reaktiv momentini hisoblashda yakor chulg'aming aktiv qarshiligini $r_a\approx 0$ deb, quyidagi formula bilan aniqlanardi:

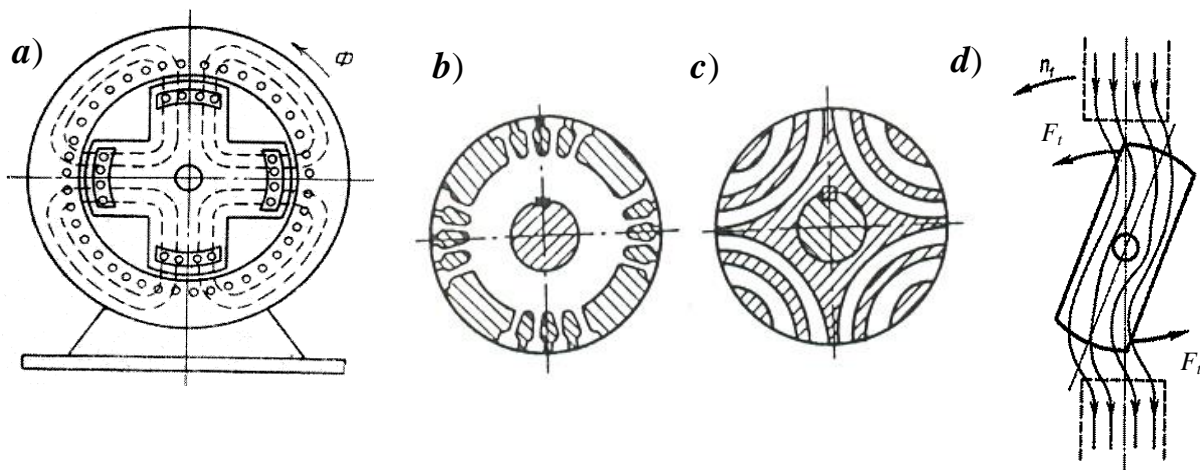
$$M_p = \frac{m_1 \cdot U_1^2}{2\omega_1} \left(\frac{1}{x_q} - \frac{1}{x_d} \right) \sin 2\theta \quad (3.6)$$

Lekin, avtomatika qurilmalarida ishlatiladigan sinxron reaktiv dvigatellar kam quvvatli, demak, ularning yakor chulg'ami aktiv qarshiligi r_a katta quvvatli mashinalarnikiga nisbatan katta qiymatga ega bo'lganligidan, u reaktiv momentga

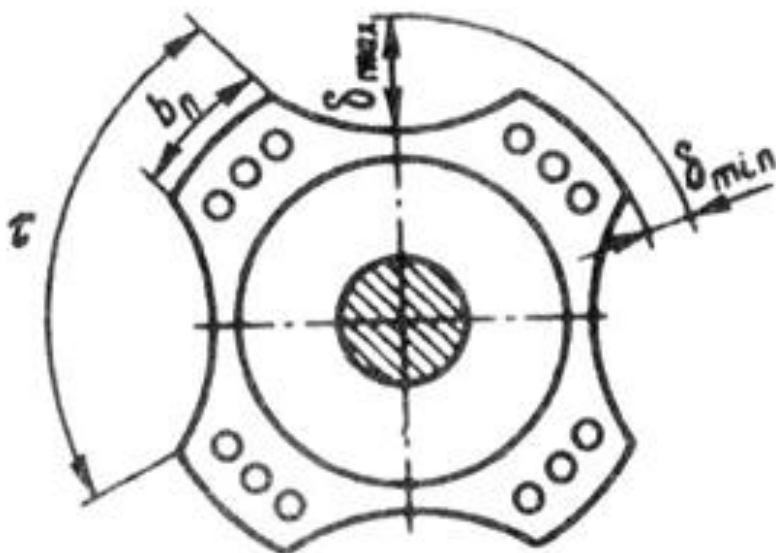
ta'sir qiladi, shuning uchun uni hisobga olish zarur bo'ladi (3.5.1-rasm).

Bu holda reaktiv moment quyidagi formulabilan aniqlanadi:

$$M_r = \frac{P_{em}}{\omega_1} = \left[\frac{m_1 U^2}{2 \cdot \omega_1} \cdot \frac{X_d - X_q}{X_d X_q + r_a^2} \right] \cdot [(X_d X_q + r_a^2) \cdot \sin 2\theta - 2r_a (X_d + X_q) \cdot \sin^2 \theta + 2r_a X_q]. \quad (3.7)$$



3.5-rasm. To'rt qutbli ishga tushirish (dempfer) chulg'amli ayon qutbli sinxron reaktiv dvigatelning odatdagi magnet o'tkazgich konstruksiyasi (a) va uning noayon ko'rinishdagi modifikatsiyasi (b); takomillashtirilgan, ya'ni mashinaning ko'ndalang o'qi bo'yicha induktiv qarshiligi x_q ni kamaytirish maqsadida nomagnet oraliqlarga quyma alyuminiy sterjenlardan hosil qilingan dempfer chulg'amli segmentlangan magnet o'tkazgich (c) va ikki qutbli sinxron dvigatel uchun reaktiv momentning vujudga kelish sxemasi (d); F_t – tangensial kuch



3.6-rasm. Reaktiv sinxron motor rotorining konstruktiv turi

Ta'kidlash lozimki, sinxron mashina rotorining konstruksiyasi noayon ko'rinishda bo'lganda ham uning bo'ylama va ko'ndalang o'qlari bo'yicha magnet

o'tkazuvchanligini har xil qilish mumkin. Shu maqsadda rotor po'lat o'zagining ko'ndalang o'qiga alyuminiy quyiladi (3.5,b-rasm). 3.5,c-rasmda esa bunday modifikatsiyaning takomillashgan, ya'ni ko'ndalang o'qqa segment ko'rinishdagi alyuminiy sterjenlar quyilgandagi konstruksiya, induktiv qarshiliklarni nisbati x_d/x_q ni taxminan $4\div 5$ gacha etkazishga va natijada nisbatan kattaroq reaktiv moment olishga imkon beradi.

3.6-rasmda sinxron reaktiv dvigatelning ananaviy turi keltirilgan bo'lib, bu asinxron motorining rotoridan faqat botiqlar mavjudligi bilan farq qiladi, rotorni ayon qutbli bo'lishini ta'minlaydi. Bu botiqlar qancha katta bo'lsa, x_d/x_q nisbatlar shunchalik katta va shuning uchun reaktiv moment katta. Shu bilan birga, botiqliklarning ortishi bilan o'rtacha havo bo'shlig'i oshadi, bu statorning magnitlovchi tokining ko'payishiga hamda natijada dvigatel quvvat va foydali ish koeffitsientlari ($\cos\varphi$, FIK) pasayishiga olib keladi. Bundan tashqari, botiqliklarning ortishi bilan ishga tushirish kletkasining hajmi kamayadi, bu asinxron momentning pasayishiga, ya'ni ishga tushish va sinxronizmga kirish momentining pasayishiga olib keladi.

Eng yaxshi natijalar rotor o'lchamlarining quyidagi nisbati bilan olinadi:

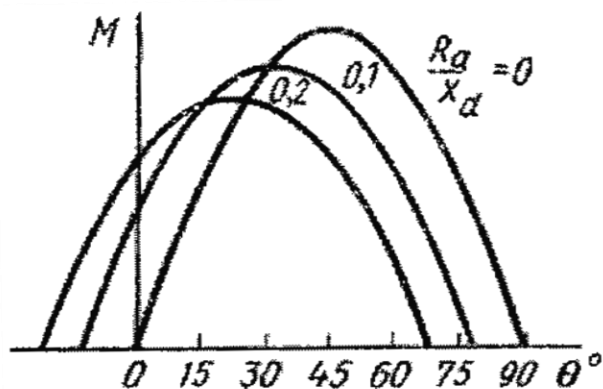
$$b_p/\tau=0,5\div 0,6 \text{ va } \delta_{max}/\delta_{min}=10\div 12$$

Bunday holda, $x_d/x_q\approx 2$, nisbatga erishish mumkin.

Yanada mukammal hisoblanadi, bu po'lat chiziqlar 2 alyuminiy bilan to'ldirilgan (3.5, b-rasm). Rotorning ushbu konstruksiyasi $x_d/x_q\approx 4\div 5$ nisbatlarini olishga imkon beradi. Shu sababli, M_{rmax} momenti sezilarli darajada kuchayadi va magnitlovchi tokni maqbul darajada ortib ketmasligini ta'minlaydi.

Reaktiv sinxron dvigatelning stator chulg'ami uch fazali elektrtarmog'iga ulanganda hosil bo'lgan aylanma magnit maydon rotorni o'zorqasidan ergashtiradi (3.5, d-rasm) va rotor magnit maydonning aylanish yo'nalishida sinxron chastotada aylanadi.

3.7-rasm. Kam quvvatli reaktiv sinxron dvigatelning aktiv va induktiv qarshiliklari nisbati r_a/x_d ning har xil qiymatidagi burchak xarakteristikallari



Burchak $\theta = 45^\circ$ bo'lganda moment o'zining maksimum qiymatiga erishadi. Reaktiv dvigatelning energetik ko'rsatkichlari (η , $\cos\varphi$) kichikligi uning kamchiligidir. FIK ning kichik bo'lishiga sabab, yakor chulg'amidagi elektr isroflarining katta bo'lishidir. Quvvat koeffitsientining kichik bo'lishi esa, magnit maydon hosil qiluvchi magnitlovchi tokning katta bo'lishidir. Reaktiv dvigatellar 50 W dan 100 W gacha mo'ljallab ishlab chiqariladi. Ular avtomatik qurilmalarda va boshqa ayrim sohalarida ishlatiladi. Konstruksiyasi oddiy, o'zgaras tok manbasiga ehtiyojning bo'lmasligi va tannarxining kamligi reaktiv sinxron dvigatelning *afzalligi* hisoblanadi.

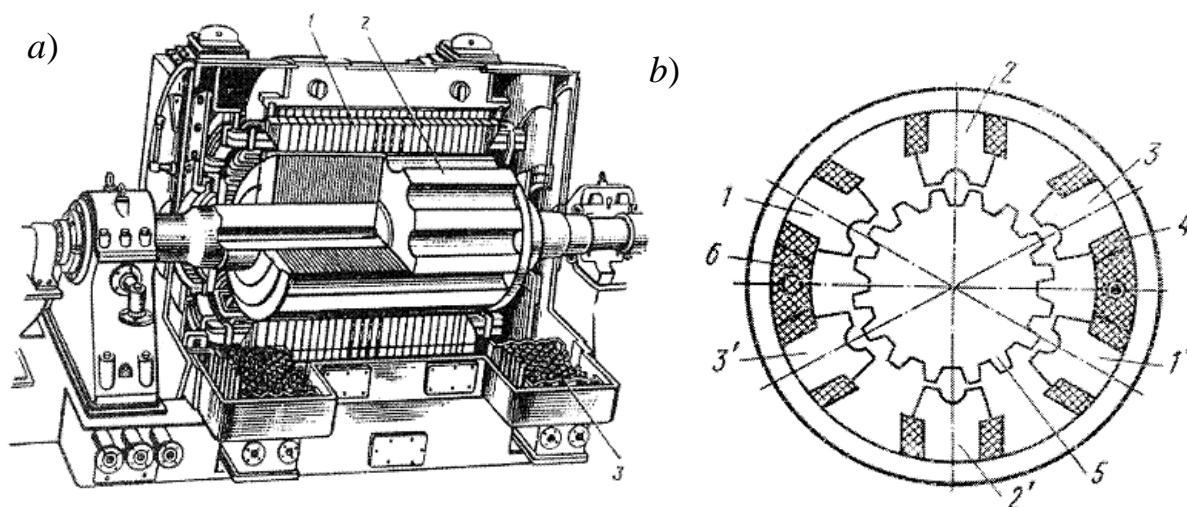
3.6. INDUKTORLI GENERATORLAR

Induktorli generatorlar sinxron generatorning ko'rinishlaridan bir hisoblanib, juda katta chastotali EYK ga ega bo'ladi. Yuqori chastota (1000÷10000 Hz) xo'jalik turlarining ko'pgina sohalarida, shuningdek, induksion qizdirishda, metallarni elektr yoyi bilan eritishda, elektr payvandlashda, detallarni yuqori chastotali elektr energiya bilan qizdirib ishlov berishda, yuqori tezlikli elektr yuritmalarida va boshqalarda ishlatiladi.

An'anaviy sinxron generatorning yakor chulg'amida hosil bo'ladigan EYK ning chastotasi $f = pn/60$ bilan aniqlanadi. Chastota f ni, aylanish chastota n ni oshirish hisobiga ko'paytirish mumkin, lekin uni rotorning mexanik mustahkamligi cheklab qo'yadi. Juft qutblar sonini ko'paytirib, chastotani oshirishda esa qutb bo'linmasining o'lchamlari o'zgaradi. Shuning uchun an'anaviy konstruksiyali

sinxron generatorlar $f \leq 400$ Hz bo'lgan chas-totalarda ishlab chiqariladi. Yuqori ($f > 400$ Hz) chastotalarni olish uchun esa *induktorli generatorlar* ishlatiladi.

Induktorli generatorlar katta quvvatli sinxron generatorlar uchun qo'zg'atgich bo'lib ham xizmat qiladi. Masalan, quvvati 2700 kV·A bo'lgan uch fazali kontaktsiz induktorli generator (3.8, a-rasm) katta quvvatli TBB seriyali turbogeneratorlarning qo'zg'atgichi sifatida qo'llaniladi. Bugenerator ishlab chiqargan katta chastotali EYK to'g'rilagich orqali o'zgarma ga aylantirilib turbogeneratorning qo'zg'atish chulg'amiga beriladi.



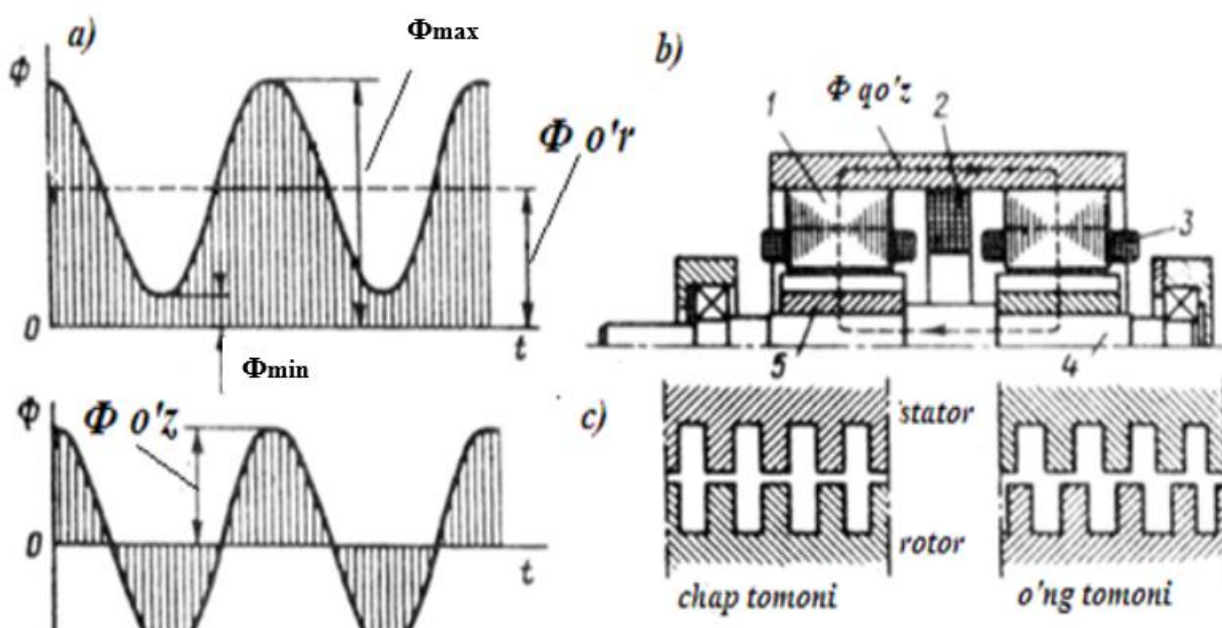
3.8-rasm. Katta quvvatli TBB seriyali turbogeneratorning qo'zg'atgichi sifatida ishlatiladigan quvvati 2700 kV·A bo'lgan uch fazali kontaktsiz yuqori chastotali induktorli generator (a) (bunda: 1 – stator; 2 – rotor; 3 – gaz sovitgich) va uning elektromagnit sxemasi (b) (bunda: 1 - 1'; 2 - 2'; 3 - 3' – qutblar; 4 – yakor chulg'am; 5 – rotor; 6 – qo'zg'atish chulg'am)

Induktorli generatorning statori alohida po'lat plastinalardan yig'i-ladi. Stator po'lat o'zagi pazlarida chulg'amlar joylashtiriladi. Pazlar ochiq yoki yarim yopiq shaklda bo'ladi. Rotor po'lat o'zagialohida-alohida plastinalardan yig'ilib, undagi pazlarga hech qanday chulg'am o'rnatilmaydi, shuning uchun ham induktorli generatorlar kontaktsiz hisoblanadi.

Statorda yakor chulg'am va qo'zg'atish chulg'am joylashtiriladi. Yakor chulg'am stator po'lat o'zagi tishlariga o'raladi. qo'zg'atish chulg'am esa har xil joylashishi mumkin. Qo'zg'atish chulg'amining joylashishiga qarab

induktorligeneratorlar bir xil qutbli (3.9-rasm) va har xil qutbli (3.8, *a* va 3.11-rasmlar) turlarga bo‘linadi.

Har xil qutbli generatorlarda qo‘zg‘atish chulg‘amining g‘altagi statordagi kata pazlarda joylashtiriladi (3.8, *b*-rasm) va har xil qutblar ketma-ketkeladi. Shuning uchun ham bunday generatorlarga *har xil qutbli generatorlar* deyiladi. Bularda qo‘zg‘atish chulg‘amining magnit oqimi stator va rotor paketlarining bir xil ishorali qutbidan boshqa ishorali qutbiga o‘tadi.



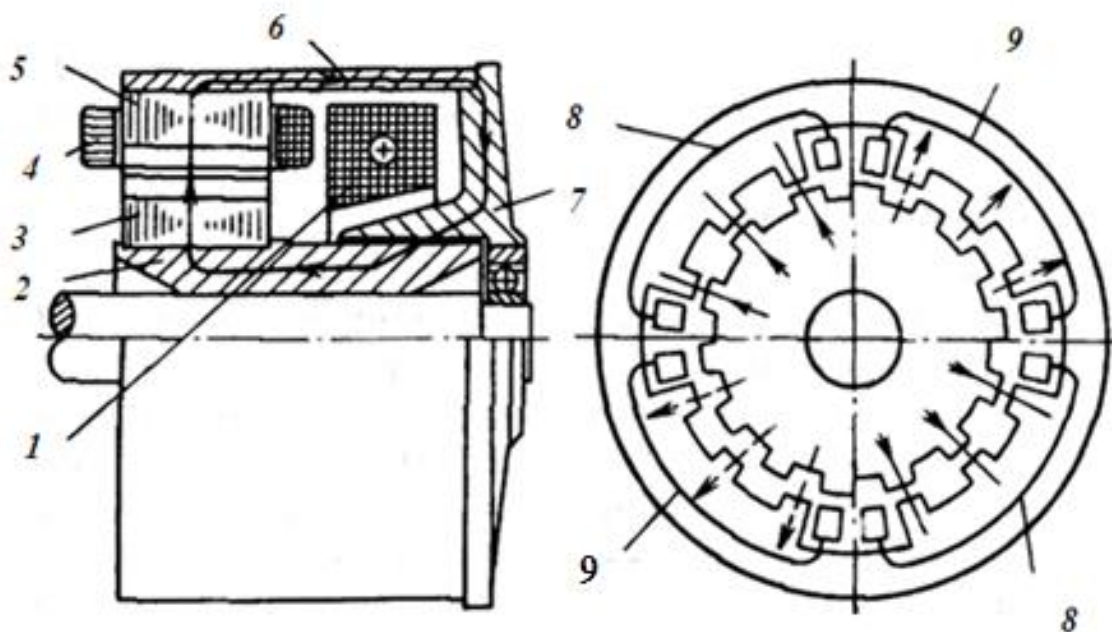
3.9-rasm. Ikkitalik induktorli generator turi: a) Magnit oqimining grafigi; b) Generatorning tuzilishi; c) Stator va rotor tishlarining o‘zaro joylashishi; 1-stator magnit o‘zagi; 2-qo‘zg‘atish chulg‘ami; stator chulg‘ami; 4-val; 5-rotor magnit o‘zagi

Induktorli generatorlarda stator va rotor tishlari ma’lum bir nis-batda bo‘ladi:

$$Z_1 = 2 \cdot Z_2 \cdot m \cdot q, \quad (3.8)$$

bu erda: m – fazalar soni; q – bir qutb va bir fazaga to‘g‘ri keluvchi pazlar soni; Z_2 – rotortishlar soni.

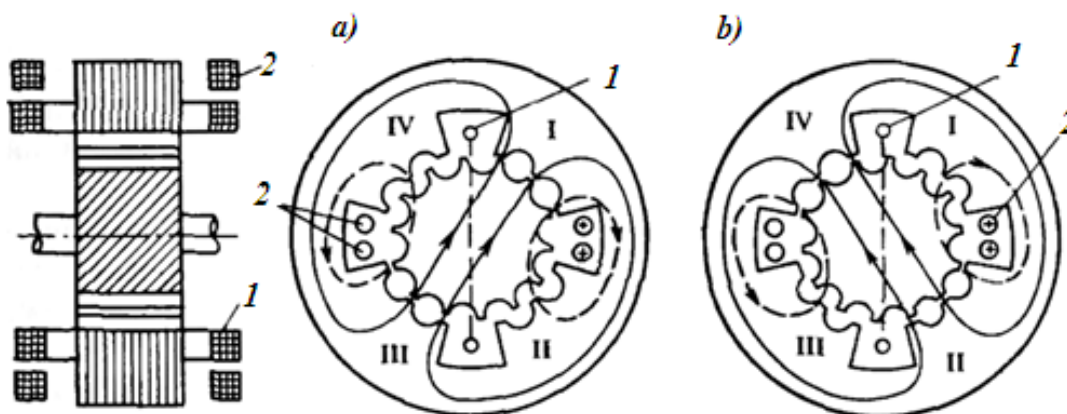
Stator va rotorda tishlar bo‘lganligi sababli, magnit oqimi qutb bo‘linmasida birxilda tarqalmaydi. Uning ko‘proq qismi rotor tishi stator tishi ostiga to‘g‘ri kelgan qismida joylashsa, oqimning kam qismi esa rotor pazi stator tishi ostiga to‘g‘ri kelgan joyda bo‘ladi.



3.10-rasm. Bir xil qutbli induktorli mashina: 1- qo'zg'atish chulg'ami; 2- rotor vtulkasi; 3- rotor magnet o'zagi; 4- statorchulg'ami; 5- stator magnet o'zagi; 6- qo'zg'atish chulg'ami magnet oqimi; 7- podshipnik qalqoni; 8- Yakor chulg'ami-1; 9- yakor chulg'ami-2

Magnit induksiya o'zgarmas va o'zgaruvchan tashkil etuvchilardan iborat bo'ladi. Uning o'zgaruvchan tashkil etuvchisi B_{δ} yakor chulg'amlarida EYK ni hosil qiladi. Bu EYK ning davri rotorning tish bo'linmasi bo'yicha buri-lishga bog'liq bo'lib, chastotasi quyidagicha topiladi:

$$f_1 = Z_2 n / 60. \quad (3.9)$$



3.11-rasm. Har xil qutbli induktorli mashina: 1- stator chulg'ami; 2- qo'zg'atish chulg'ami; I,II,III,IV- stator va rotor tishlari to'g'ri keladigan magnet zonalar

Uch fazali induktorli generatorda yakor chulg'aming har qaysi faza-siga stator qutblarining bitta jufti to'g'ri keladi. Qo'zg'atish chulg'ami ikki qutbli

magnit maydonni hosil qiladi, ya'ni bu chulg'am paydo qilgan har qaysi qutb statorning uchta qutbidan tashkil topgan (uch qismga bo'lingan). Stator qo'shni qutblarining tishlari rotor tishlariga nisbatan 1/6 tish bo'linmasiga siljigan, shuning uchun rotor 1/6 tish bo'linmasiga burilganda magnit oqimning maksimumi bitta qutbdan boshqasiga ko'chadi. Rotor ay-langanda yakor chulg'aming har bitta fazasida bir fazali mashinadagi kabi chastotasi $f_1 = Z_2 n/60$ (bunda z_2 – rotor tishlarining soni) bo'lgan EYK:

$$E = 4,44 f_1 W_{ak.ch.a} \Phi_{\sim max}, \quad (3.10)$$

hosil bo'ladi, lekin qo'shni fazalarning EYK vaqt bo'yicha 120° ga siljigan bo'ladi. (3.10) da $\Phi_{(\sim)max} = 0,5 (\Phi_{(\sim)max} - \Phi_{(\sim)min})$ – bitta qutb magnit oqimining o'zgaruvchan tashkil etuvchisi.

3.7. AVTOMOBIL VA TRAKTORLARDA HAMDA TEMIR YO'L VAGONLARIDA KENG QO'LLANILADIGAN CHANGAKSIMON QUTBLI SINXRON GENERATORLAR

Avtotraktor generatorlari. Oldin ta'kidlanganidek, elektr mashinalarida energiyaning o'zgarishi, magnit zanjirining magnit maydon energiyasi yig'ilgan joyi mashina havooralig'ida yuzaga keladi. Bunda magnit maydonining shakli asosan mashinaning energetik ko'rsatkichlarini belgilaydi. Yig'ilgan g'altakli chulg'amda mashina havo oralig'ida taxminan sinusoidal taqsimlangan magnit maydonni havo oralig'iga maxsus shakl berish hisobiga uning magnit o'tkazuvchanligini o'zgartirish orqali erishish mumkin. Buning uchun rotordajoylashgan qutb uchligiga *changalsimon* shakl beriladi (3.12, a-rasm). Bunday shakldagi qutb uchliklar mashinaning o'qi bo'yicha joylashgan bitta qo'zg'atish g'altagida havo oraliqda aksial (ya'ni shu o'q bo'yicha) yo'nalgan alohida qutblar oqimlarini radial yo'nalishga o'zgartirib, rotorning uncha katta bo'lmagan diametrida sinxron generatorning ko'p qutbli konstruksiyasini olishga imkon beradi. Qutblarining konstruksiyasi changalsimon shaklga ega bo'lgan rotorli sinxron generatorlar *avtomobil va traktorlardakeng qo'llaniladi*. Bu generator – ventil generatoridir (uning korpusida kremniy diodi asosida to'g'rilagich bloki

joylashgan). Generator avtomobildaakkumulyatorbatareyasi bilan parallel ishlab uni zaryadkalab turadi, shuning uchununingchiqishidagi kuchlanish o'zgarmas qiymatga ega bo'lishi lozim.

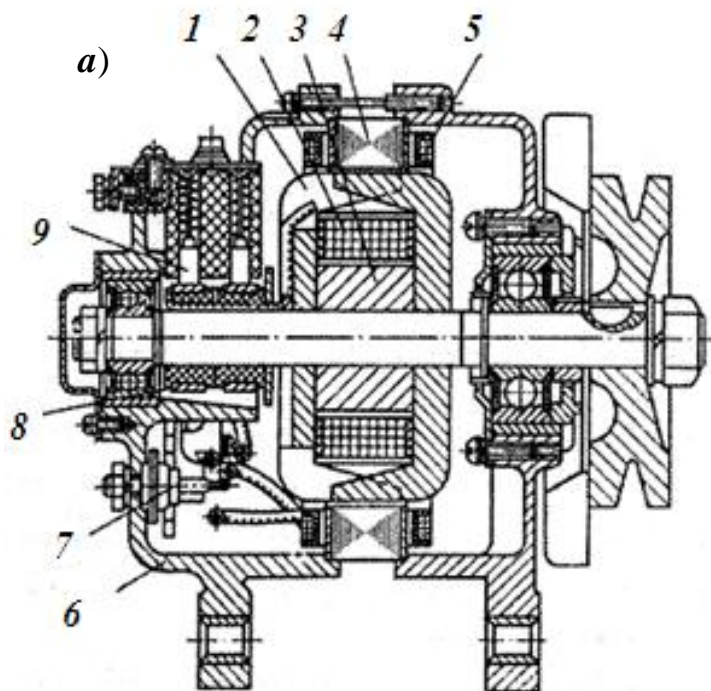
3.12, *a*-rasmda changalsimon rotorli Γ -250 tipli *avtomobil generatori* ko'rsatilgan. Bunda ikkita changalsimon qutb uchligi (1) o'n ikki qutbli magnit sistemani byjudga keltiradi. Qo'zg'atish chulg'ami (2) vtulka (3)da joylashtiriladi. 18 ta pazli stator (4) yupqa elektrotexnik po'lat listlaridan yig'ilgan. Stator chulg'ami (5) uch fazali bir qatlamli, bitta qutbga va har qaysi fazaga to'g'ri keladigan pazlar soni $q=0,5$. Korpus (6) (podshipnik qalqonlari) alyuminiy qotishmasidan tayyorlangan. Uch fazali o'zgaruvchan kuchlanish to'g'rilagich (7) vositasida o'zgarasga aylantiriladi. o'z-garvas tok rotorda joylashgan qo'zg'atish chulg'amiga ikkita halqa (8) va ikkita cho'tka yordamida beriladi.

Changalsimon qutbli kontaktsiz sinxrongeneratop

Agar yuqorida keltirilgan changalsimon qutbli mashinaning konstruksiyasini kontaktsiz qilib, ya'ni qo'zg'atish chulg'ami halqasimon ko'rinishda statorda joylashtirilsa muhim ahamiyatli sifatga ega bo'ladi (3.13-rasm). Generatorning qo'zg'atish chulg'ami ikkita qo'zg'almas halqasimon g'altak (1) podshipnik qalqonlari (5, 11) tokchasida joylashtirilgan. G'altaklarning toklari vujudga keltirgan magnit maydon kuch chiziqlari asosan quyidagi yo'ldan, ya'ni: shimoliyqutblar (9) dan havo oralig'I orqali o'tib yakor o'zagi (3)ning tishlariga; yakor yarmosi va tishlari bo'yicha yana bir marta havo oralig'I orqali o'tib janubiy qutblar (8) magnitga; janubiy qutblar yarmosi (7) bo'yicha; yarmo (7) vaqalqon (5) orasidagi havo oraliq orqali o'tib; qalqon (5), stanina (4) va chap tomonidagi qalqon (11) lar bo'yicha; qalqon (11) va shimoliy qutblar yarmosi (10) orasidagi havo oralig'idan hamda yarmo (10) bo'yicha yana shimoliy qutblarga o'tib berk zanjir hosil qiladi. Qo'zg'atish maydoni qisman tarqalib yakor chulg'ami bilan ilashadi. Val (6) qutblarning yarmolari (7, 10) va qutblari (8, 9) bilan aylanganda yakor chulg'ami bilan oqim ilashish davriy ravishda o'zgarib unda EYK hosil bo'ladi.

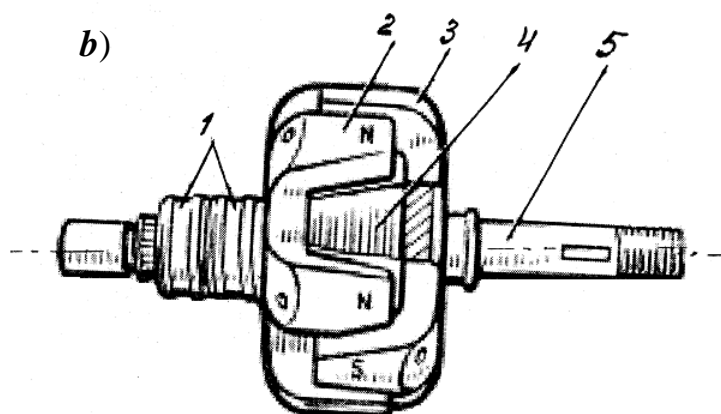
3.12-rasm. G-250 tipli avtomobil generatori (a) (bunda:

- 1 – changalsimon qutb uchligi;
- 2 – qo‘zg‘atish chulg‘ami;
- 3 – vtulka;
- 4 – stator;
- 5 – stator chulg‘ami;
- 6 – korpus (podshipnikqalqoni);
- 7 – to‘g‘rilagich;
- 8 – kontakt halqa;
- 9 – cho‘tkva va uning changalsimon qutb uchlikli rotori;

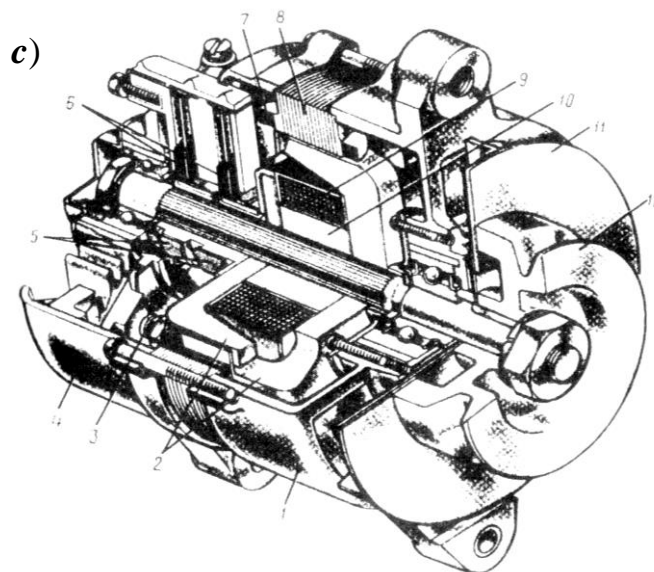


(b) bunda:

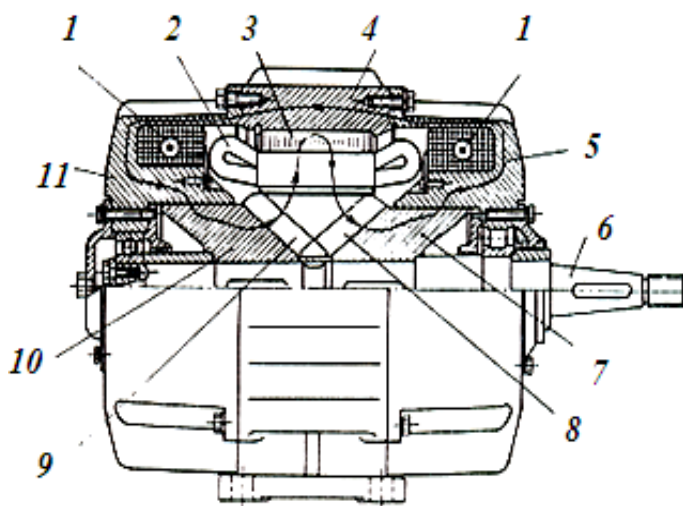
- 1 – kontakt halqalar;
- 2 va 3 – qo‘shni changalsimon qutb uchliklari;
- 4 – qo‘zg‘atish chulg‘ami;
- 5 – rotorning vali



(c) changalsimon qutbli kontaktsiz sinxron generatop tuzilishi: 1 va 4 – qalqonlar; 2- changalsimon qutb uchligi; 3-diodlar; 5- kontakt halqalar; 6-mis-grafitli cho‘tkva; 7-g‘altak; 8-stator; 9- qo‘zg‘atish g‘altagi; 10-vtulka 11-ventilyator; 12- shktiv.



3.13-rasmda ko‘rsatilgan changalsimon qutbli kontaktsiz sinxron generator konstruksiyasi 3.12-rasmdagi bilan shu bilan farq qiladiki, uning rotorida kontakt halqa yo‘q, chunki qo‘zg‘atish chulg‘ami statorda joylashtirilgan.



3.13-rasm. Rotori changalsimon qutblardan iborat bo'lgan kontaktsez sinxron generator, *bunda:*

1 – halqasimon qo'zg'atish g'altaklari; 2 – yakor chulg'ami; 3 – yakorning magnet o'tkazgichi; 4 – stanina (tana gardishi); 5, 11 – podshipnikqalqonlari; 6 – val; 7, 10 – janubiy va shimoliy qutblarning yarmosi; 8, 9 – janubiy va shimoliy qutblar

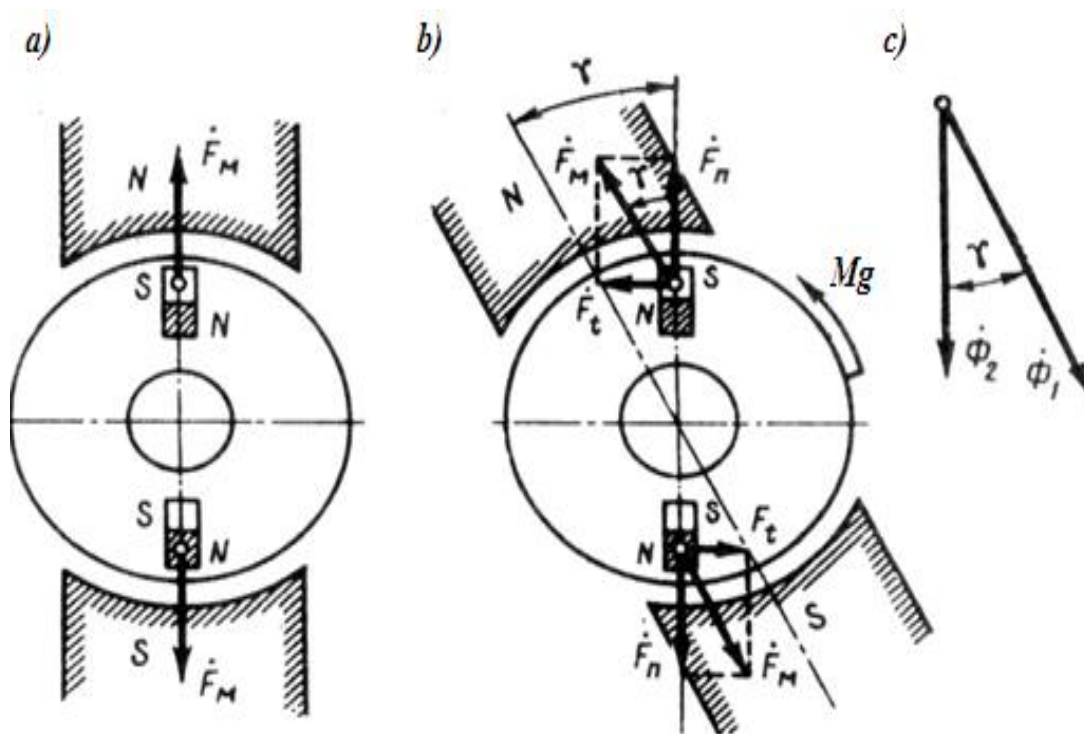
Mashinadan og'ir sharoitlarda uzoq muddatda ishlatishda yuqori ishonchlilik talab qilinganda *kontaktsez sinxron generatorlar qo'llaniladi*. Quvvati 10 kW va undan katta quvvatli bunday generatorlar, masalan, *temir yo'l vagonlari elektr ta'minoti sistemasi uchun qo'llaniladi*.

3.8. GISTEREZISLI SINXRON ELEKTROMEXANIK O'ZGARTKICHLARNING TUZILISHI VA ISHLASH PRINSPI

Gisterezisli dvigatellarning ishlash prinspi gisterezis momentining ta'siriga asoslangan bo'lib. 3.14, a-rasmda doyimiy magnitning ikkita qutibi (stator maydoni) orasida joylashgan magnet qattiq materialdan tayyorlangan silindr (rotor) ko'rsatilgan. Tashqi magnet maydon ta'sirida rotor magnetlanadi. Doyimiy magnitning shimoliy tomonida janubiy qutb tortilib turibti, doyimiy magnitning janubiy qutibiga rotorning shimoliy qutibi tortilib turibti. Rotorning yuza qismiga radial yo'nalgan F_m kuchlar ta'sir ko'rsatadi. Agar doyimiy magnitning qutblarini rotor atrofida aylantirsak, magnet kechikish (gisterezis) xodisasiga asosan rotorning bir qismi magnet maydonning aylanish yo'nalishi o'zgarishi bilan bir vaqtda qayta magnetlanmaydi va rotor maydoni va tashqi maydon o'qlari orasida γ burchak paydo bo'ladi.

F_m kuchlari rotorga ta'sir ko'rsatadi xamda o'zining yo'nalishini γ burchakga o'zgartiradi, ushbu kuchlarning tangensial tashkil etuvchisi F_t gisterezis momenti M_g ni xosil qiladi (3.14, b-rasm).

Magnit kechikish xodisasi shuni bildiradiki, elementar magnitni bildiruvchi ferromagnit materialning zarralari (tashqi magnit maydonga joylashtirilgan) tashqi magnit maydonning yo'nalishiga mos ravishda yo'nalish olishga xarakat qiladi. Agar tashqi maydon o'zining yo'nalishini o'zgartirsa, elementar zarralar o'zining yo'nalishini o'zgartiradi. Ammo magnit –qattiq materiallarda elementar zarralarning o'z yonalishini o'zgartirishi ichki kuch molekulyar ishqalanishga olib keladi. Ushbu zarralarning yo'nalishini o'zgartirish uchun ma'lum miqdorda MYK kerak bo'ladi, shuning oqibatida rotorning qayta magnitlanishi tufayli tashqi maydon yo'nalishi o'zgarishidan bir muncha orqada qoladi. Bu orqada qolish (magnit kechikish) Φ_2 rotorning magnit oqimi vektori va Φ_1 stator magnit oqimi vektorlari orasidagi gisterzis o'g'ish burchagi γ bilan xarakterlanadi, (3.14, c-rasm). Ushbu burchak rotor materialining magnit xususiyatlariga bog'liq.



3.14-rasm. Gisterzis momentiga tushincha

Berilgan quvvatning bir qismi, *gisterzisga bo'ladigan isrofini* anglatuvchi, molekulyar ishqalanish kuchini engishga sarflanadi. Ushbu isrofnig qiymati rotorni qayta magnitlash chastotasiga hamda sirpanishga bo'g'liq bo'ladi $f_2=f_1 s$:

$$P_g = sP_{gs} \quad (3.11)$$

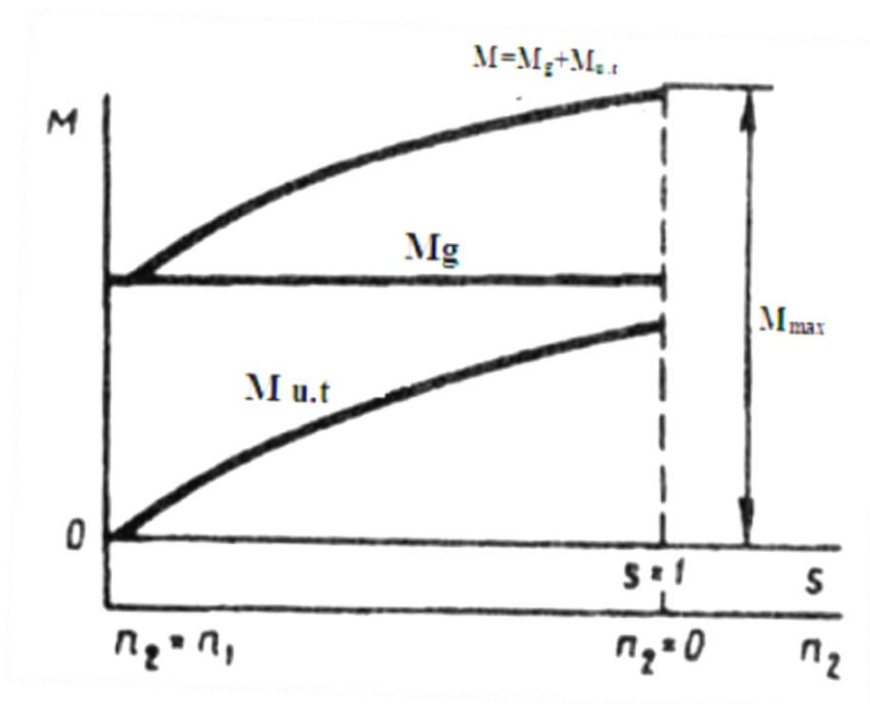
Bu yerda P_{gs} - rotor qo'zg'almas bo'lgandagi gisterezisga bo'lgan isrof ($s=1$). Rotorga berilayotgan elektromagnit quvvat, rotordagيا isroflarni sirpanishga o'lganga teng:

$$P_{em} = P_g / s = P_{gq}, \quad (3.12)$$

Aylanuvchi moment esa – elektromagnit quvvatni burchak tezlikka nisbatiga teng:

$$M_g = P_{em} / \omega_1 = P_{Hz} / \omega_1 \quad (3.13)$$

Shunda, gisterezis momenti qiymati rotorning aylanish tezligiga bog'liq emas (sirpanishga). $M_g = f(s)$ grafigi abtsissa o'qiga parallel bo'lgan to'g'ri chiziq bo'ladi (3.15-rasm).



3.15-rasm. Gisterezis dvigateling mexanik xarakteristikalar

Gisterezis siljish burchagi gisterezis xalqasining kengligiga bog'liq: magnit materialning gisterezis xalqasi qancha keng bo'lsa, siljish burchagi shuncha kata bo'ladi. 3.14, a-rasmda ikkita gisterezis xalqasi ko'rsatilgan: oddiy po'lat (2-egrichiziq) va vikalloy qorishmasi (1-egrichiziq).

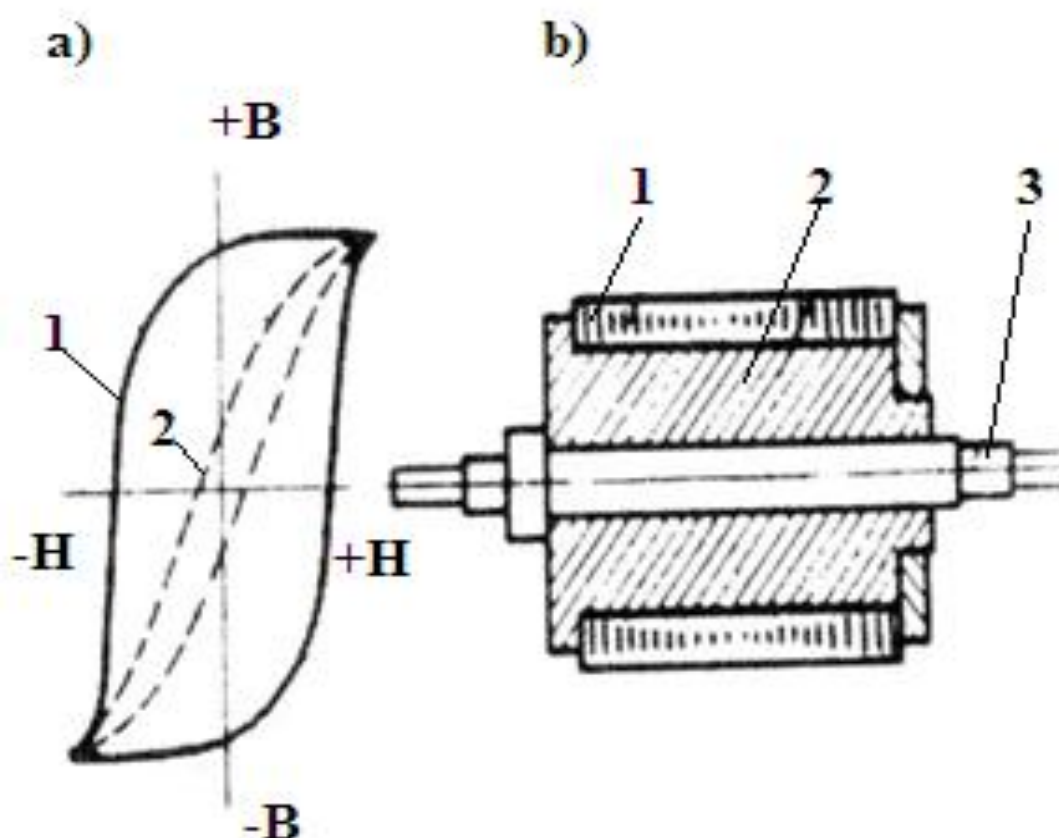
Rotor oddiy po'latdan tayyorlansa etarli kattalikdagi gisterezis momenti bilan ta'minlay olmaydi. Faqat vikall kabi magnit qattiq materiallargina kata gisterezis

momentini olish imkonini beradi. Gisterezis dvigatellarining rotori odatda yig'ma tayyorlanadi. Rotorning magnit qattiq qismi vtulka 2 ga, taxlangan yoki massiv turdagi xalqal tarzda o'rnatiladi (3.14, b-rasm). Keyin esa val 3ga o'rnatiladi.

Massiv rotorli mashinalarda, aylanuvchi magnit maydon rotorda uyurma toklarini xosil qiladi. Natijada stator magnit maydoni bilan ushbu tok o'zaro ta'sirlashishi oqibatida, qiymati sirpanishga mutanosib ravishda o'zgaruvchi elektromagnit moment paydo bo'ladi:

$$M_{u.t} = sP_{u.t.q} / \omega_1 \quad (3.14)$$

bu yerda $P_{u.t.q} - s=1$, ya'ni qisqatutashuv rejimidagi uyurmaviy tok xosil qilgan isrof, W; ω_1 - burchak sinxron tezlik, rad/sek.



3.16-rasm. Oddiy elektrotexnik po'lat (1) va vikall qorishmasinig (2) gisterezis xalqasi (a) va gisterezis dvigatelning yig'ilgan rotorning tuzilishi (b)

Eng katta momentning qiymati $M_{u.t}$, rotor qo'zg'almas bo'lganda ($s=1$), ya'ni elektr dvigatelning ishga tushish paytiga to'g'ri keladi. Shundan so'ng aylanish tezligi

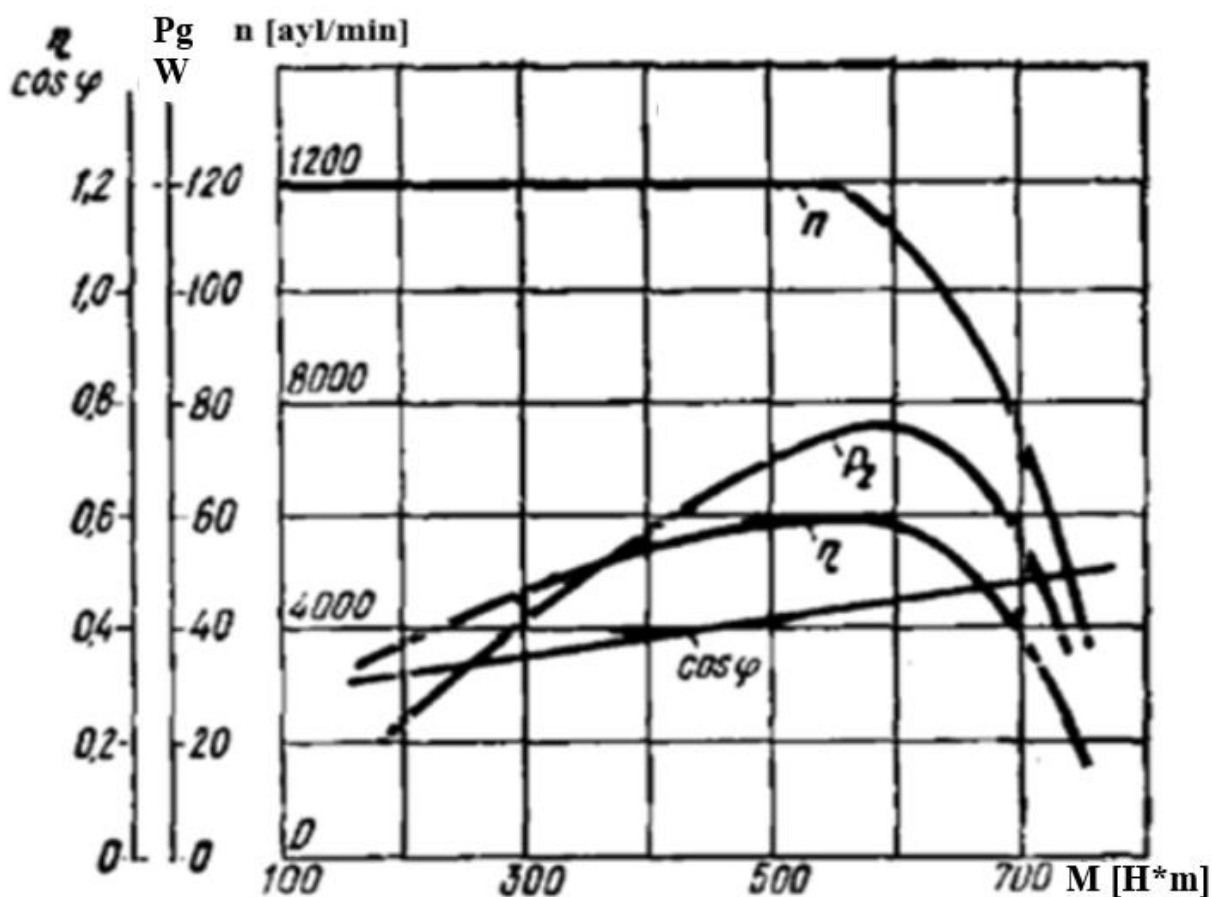
ortishi bilan (sirpanish kamayishi), $M_{u.t}$ kamayadi (3.8.2-rasmga qarang), sinxronaylanish chastotasida nolga tengbo'ladi.

Shundayqilib, gisterezis dvigatelning aylanish momenti gisterezis momenti M_g va uyurmaviy tok xosil qilgan moment $M_{u.t}$ larning birgalikdagi ta'sirlariga teng:

$$M = M_{u.t} + M_g = sP_{u.t.q} / \omega_1 + P_{g.q} / \omega_1. \quad (3.15)$$

3.15-rasmda gisterezis dvigatelning sirpanishga bog'liq natijaviy momenti keltirilgan: $M = f(s)$. Ushbu egrichiziqning xarakteri $M_{u.t}$ va M_g momentlarining nisbatlariga bog'liq.

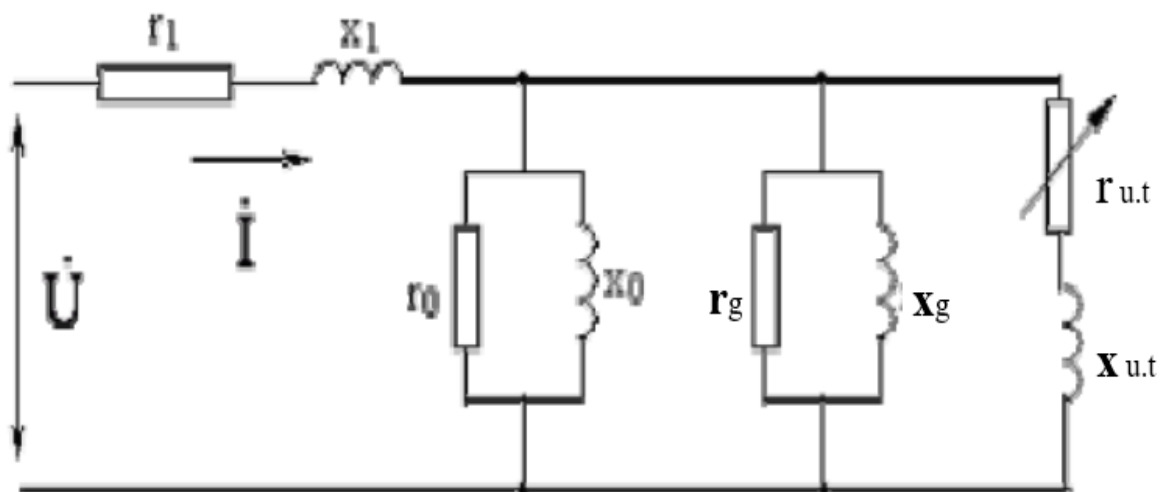
Gisterezis dvigateli sinxron va asinxron aylanish chastotasida ishlashi mumkin. Dvigatelning asinxron rejimda ishlashi samarasiz bo'ib, qiymati sirpanishning ko'payishiga bog'liq bo'lgan, rotorni qayta magnitlash uchun isrofnig kata bo'lishiga sabali.



3.17-rasm. Gisterezisli dvigatelning ish xarakteristikalari

Gisterezis dvigatellarning afzalliklari – tuzilishining soddaligi, ishlashda shovqinsizligi va ishonchligi, katta ishga tushish moment, sinxronizmga silliq tushishi, foydali ish ko'ffisientinig FIK nisbatan kattaligi, ishga tushish tokining kichikligi ($I_{i.t} / I_{nom} = 1,3 - 1,4$).

Gisterezis dvigatellarinig kamchiliklari – quvvat ko'ffisientinig kichikligi ($\cos\varphi=0,4\div 0,5$) va nisbatan narxinig kattaligi. Bundan tashqari, yuklamaning birdan tebranishi gisterezis dvigatellarida aylanishning bir maromda bo'lmazligiga olib keladi. Bu gisterezis dvigatellarining ishga tushirish chulg'aminging yo'qligi bilan tushintiriladi, u yuklamaning birdaniga o'zgarishida rotorga nisbatan tichlantiruvchi (dempferlovchi) ta'sir ko'rsatadi. Eng ko'p tebranish rotori shixtovka qilingan gisterezis dvigatellarida vjudga keladi, sababi bu dvigatel rotorida uyurmaviy toklar cheklangan. Tebranishlar xosil qilgan bir meyyorda bo'lmagan aylanishlar tufayli gisterezis dvigatellari qo'llash soxasini chegaralaydi.



3.18-rasm. Gisterezisli dvigatelning almashtirish sxemai

3.18-rasmda Gisterezisli dvigatelning almashtirish sxemasi keltirilgan. Sxemadagi r_1 va x_1 stator faza chulg'aminging aktiv va reaktiv qarshiligi, r_0 – po'lat o'zakdagi isrofni anglatuvchi aktiv qarshilik, x_0 – xavo oralig'idagi magnit o'tkazuvchanlikni anglatuvchi induktiv qarshilik, r_g va x_g – konturning aktiv va reaktiv qarshiligi (birinchisi gisterezis isrofinging anglatuvchi qarshilik, ikkinchisi esa

magnit qattiq materialning magnit o'tkazuvchanligin anglatadi), r_{ut} va x_{ut} konturning uyirmaviy toki xosil qilgan aktiv va reaktiv qarshiligi.

3.9. QADAMLI (IMPULSLI) DVIGATELLARNING TUZILISHI VA ISHLASH PRINSPI

Ventilli - induktorli dvigatelllar (QD), elektr signallarni (kuchlanishlar impulsini) burchak yoki chiziqli (qadamli) xarakatga o'zgartiruvchi ijrochi dvigatellar sifatida ishlatiladi. Qadamli dvigatellar dasturli boshqariladigan elekt yuritmalarda keng qo'llaniladi.

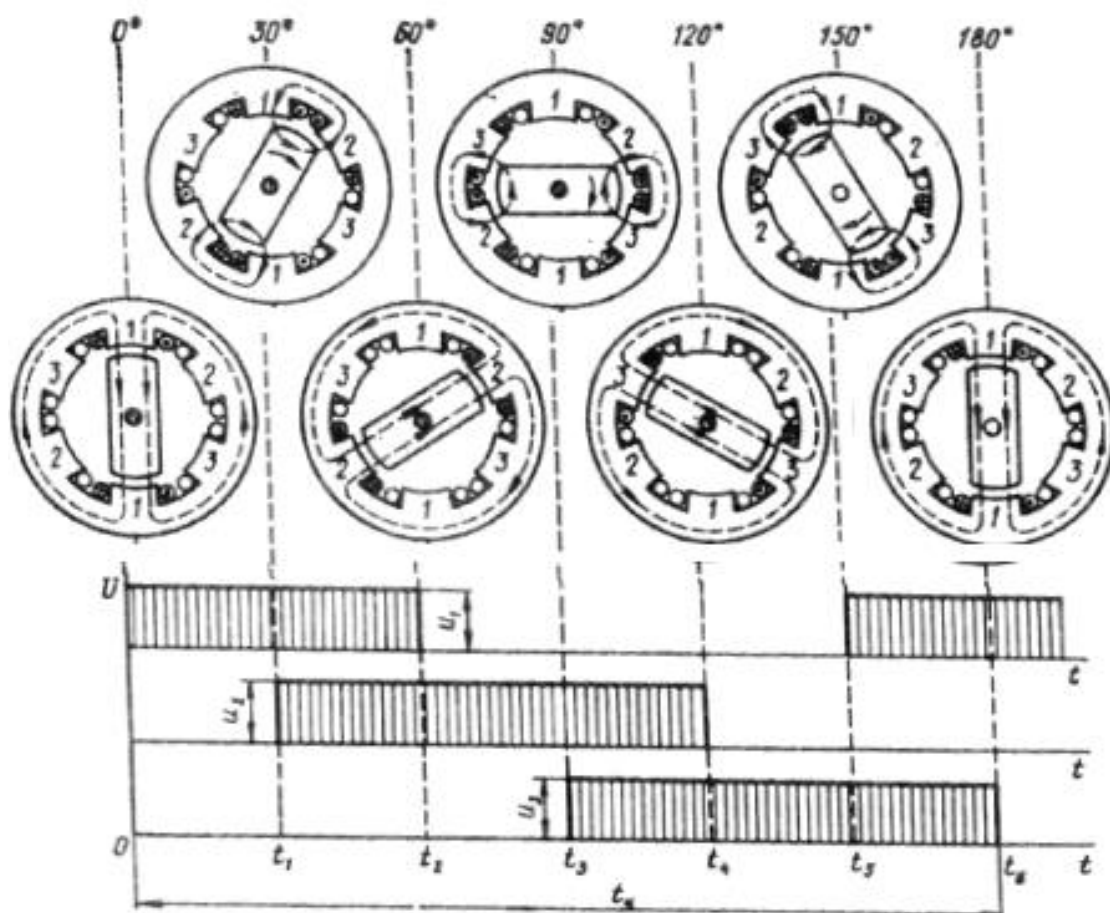
Qadamli dvigatellarning ikki xil turi mavjud bo'lib, ular aktiv (qo'zg'atiladigan) va reaktiv rotorli bo'ladi. Aktiv rotorli qadamli dvigatellar qo'zg'atish chulg'amiga ega yoki rotor doimiy magnitdan tayyorlangan bo'ladi, reaktiv rotorli qadamli dvigatellarning qo'zg'atish chulg'ami bo'lmaydi, ularning rotor magnit-yumshoq materiallardan tayyorlanadi. Qadamli dvigatellarning boshqarish chulg'ami odatda statorga joylashgan bo'ladi va bir yoki ko'p fazali (ko'pincha uch yoki to'rt fazali) qilib tayyorlanadi.

Rotori ikki qutbli, statori oltita ayon qutbli (xar bir fazasiga 2 qutb) bo'lgan uch fazali reaktiv qadamli dvigatelning tuzilishi va ishlash prinsipini ko'rib chiqamiz (3.19-rasm).

Birinchi fazadagi boshqarish chulg'amiga impulsli tok berganimizda, rotor elektromagnit kuchlar ta'siri ostida 1-1 qutblar o'qi bo'yicha joylashadi. t_1 vaqt o'tgach ikkinchi fazadagi boshqarish chulg'amiga impulsli tok beriladi. Bu xolatda rotorga bir vaqtning o'zida ikki MYK (1-1 va 2-2 qutblar)lar ta'sir qiladi. Natijada rotor soat strelkasi bo'ylab 1-1 va 2-2 qutb o'qlari orasiga joylashadi, ya'ni $\alpha_q = 30^\circ$ qadamga buriladi. t_2 vaqt o'tgach birinchi fazadagi impuls toki to'xtatiladi va rotor $\alpha_q = 30^\circ$ qadamga burilib, 2-2 qutb o'qi bo'yicha joylashadi. t_3 vaqt o'tgach uchinchi fazadagi boshqarish chulg'amiga tok beriladi va rotor yana 30° ga buriladi, ya'ni 2-2 va 3-3 qutb o'qlari orasiga joylashadi. t_4 , t_5 va t_6 vaqt

oraliqlarida xam rotor 30° qadamli burilishni amalga oshiradi va sikl oxirida (moment t_6) rotor 180° ga aylanib, 1-1 qutb o‘qi bo‘ylab joylashadi.

Qadamli dvigatelda keyingi sikllar takrorlanadi. Shunday qilib, ko‘rib chiqilgan uch fazali reaktiv dvigatel fazadagi boshqarish chulg‘amlarini aloxida-birgalikda ulashning olti taktli kommutatsion sxemasidan foydalanilgan xolda ishlaydi: 1 → 12 → 2 → 23 → 3 → 31 →



3.19-rasm. Reaktiv qadamli dvigatelning ishlash prinsipiga oid

Qadamli reaktiv dvigatellar bir qutbli kuchlanishlar impulsi yordamida ishlaydi, impulsning qutbini o‘zgartirish reaktiv momentni yo‘nalishini o‘zgartirmaydi. Ko‘rib chiqilgan reaktiv qadamli dvigatelning rotori aylanish yo‘nalishini o‘zgartirish uchun chulg‘amlar kommutatsiyasi sxemasini o‘zgartirish kerak bo‘ladi, masalan: 1 → 13 → 3 → 32 → 2 → 21 ...

Agar ushbu dvigatelda chulgʻamlarni aloxida boshqarish sxemasi qoʻllanilsa, yani kommutatsiya sxemasi $1 \rightarrow 2 \rightarrow 3 \rightarrow \dots$, unda dvigatelning qadami $\alpha_q = 60^\circ$ boʻladi.

Dvigatelning qadami (grad)

$$\alpha_q = \frac{360^\circ}{2p_2 m_b k}, \quad (3.16)$$

bu erda $2p_2$ - rotor qutblar soni; m_b – bir-biridan fazoviy siljirilgan boshqarish chulgʻami fazalari soni; k - boshqarish chulgʻami fazalarini ulash usulini belgilovchi koeffitsient, (aloxida ulaganda $k=1$, aloxida– birgalikda ulaganda – $k=2$).

Qadam α_q ni kamaytirish, qadamli dvigatelning turgʻunligi va aniq ishlashini oshiradi. Qadam α_q ni kamaytirish uchun rotor qutibi soni $2r_2$ koʻpaytiriladi. Shunday qilib, koʻrib chiqilgan dvigatelga toʻrtta qutbli rotorni oʻrnatsak ($2r_2 = 4$), unda olti taktli kommutatsiyada qadam $\alpha_q = 15^\circ$ boʻladi.

Aktiv rotorli (qoʻzgʻatish chulgʻamli yoki rotorida doimiy magnit joylashgan) qadamli dvigatellar yuqori aylantirish momentini olish va boshqarish signali boʻlmagan paytda rotorning xolatini aniqlash imkoniyatini beradi.

Qadamli dvigatellarning muxim parametrlaridan biri– boshqarish impulsining maksimal chastotasida qadamni yoʻqotmasdan rotorning sinxronizmga kirishidir. Reaktiv qadamli dvigatellarning nominal yuklamadagi chastotasi $1000 \div 1300$ Hz ni tashkil etadi. Qadamni uzaytirish bilan priemistosti chastotasi kamayib ketadi. Qadamli dvigatellar toʻgʻri burchakli kuchlanish impulsi bilan boshqaradigan m – fazali tizimli kommutator bilan birgalikda ishlaydi.

Yuqorida koʻrib chiqilgan qadamli dvigatelning ishlash prinsipida dvigatel valiga tushadigan yuklama momenti xisobga olinmagan. Agar qadamli dvigatelning valiga yuklama momenti taʼsir qilsa, unda boshqarish impulsini bir fazadan ikkinchisiga berilganda, statorning MYK si α_q burchakka buriladi, rotor esa MYK dan statik xato burchagi θ_s ga orqada qolib buriladi:

$$\Delta \theta_c = \arcsin\left(\frac{M_N}{M_{\max}}\right), \quad (3.17)$$

Bu erda M_{max} – rotor bilan stator MYK si orasidagi siljish burchagi $\theta=90$ el.grad bo‘lgandagi maksimalstatik moment.

Boshqarish kuchlanish impulslarini bir fazadan ikkinchi fazaga o‘tkazishdagi elektrmagnit jarayonlarning o‘tish tezligi, qadamli dvigatellarning tez ishlashini bildiradi. Ushbu jarayonlarning o‘tish tezligi elektromagnit vaqt doimiysi bilan baxolanadi:

$$T_e = \frac{L_f}{r_f}, \quad (3.18)$$

Bu erda L_f – stator bir fazasining induktivligi ,[Gn]; r_f – stator bir fazasining aktiv qarshiligi,[Om].

Qadamli dvigatellarning tez ishlashini ko‘paytirish uchun stator chulg‘aming fazasiga $R_{qo'sh}$ qarshilik ketma-ket ulanadi.

$$T_e = L_f / (r_f + R_{qo'sh}), \quad (3.19)$$

Qadamli dvigatelning energetik ko‘rsatkichi sifatida iste‘mol qilinayotgan quvvat P_1 xisoblanadi. Qadamli dvigatelning aylanish tezligini roslash uchun stator faza chulg‘amlariga berilayotgan boshqarish impulsi chastotasini o‘zgartirish kerak bo‘ladi.

3.10. VENTILLI - INDUKTORLI DVIGATELLAR

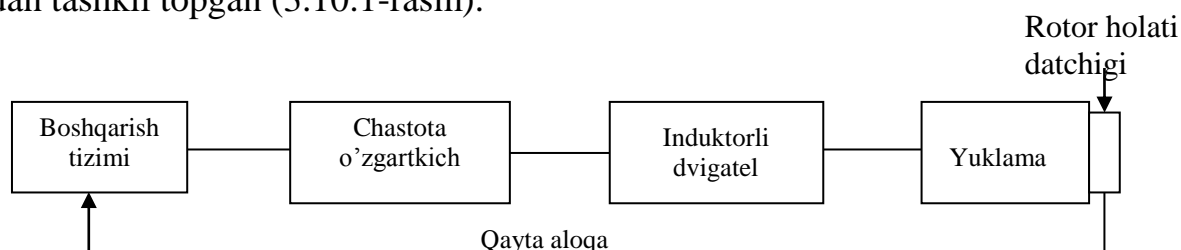
Ventilli - induktorli dvigatellar (VID), elektr signallarni (kuchlanishlar impulsini) burchak yoki chiziqli (qadamli) xarakatga o‘zgartiruvchi ijrochi dvigatellar sifatida ishlatiladi. Ventilli - induktorli dvigatellar dasturli boshqariladigan elekt yuritmalarda keng qo‘llaniladi.

Ventilli - induktorli dvigatellar reaktiv rotorli bo‘ladi. Reaktiv rotorli qadamli dvigatellarning qo‘zg‘atish chulg‘ami bo‘lmaydi, ularning rotor magnit-yumshoq materiallardan tayyorlanadi. Ventilli - induktorli dvigatellarning boshqarish chulg‘ami odatda statorga joylashgan bo‘ladi va bir yoki ko‘p fazali (ko‘pincha uch yoki to‘rt fazali) qilib tayyorlanadi. Ularning xozirgi kunda quyidagi turlari mavjud:

- 1) Switched Reluctance Motor;

- 2) Ventilli-reaktiv dvigatel;
- 3) Boshqariladigan ventilli-reaktiv dvigatel;
- 4) Magnit qarshiligi o'zgaruvchan kommutatsiyali reaktiv dvigatel;
- 5) Doimiy aylanish rejimidagi qadamli dvigatel yoki «intellektual» elektromexanik o'zgartkich.

Ventilli-induktorli dvigatel induktorli mashina va elektr yuritmani rostlash tizimidan tashkil topgan (3.10.1-rasm).



3.20-rasm. Ventilli-induktorli dvigatelning struktura sxemasi

3.20-rasmda ko'rsatilgan chastota o'zgartkich – induktorli dvigatelning faza chulg'amlarini beligilangan shakldagi impuls bilan ta'minlaydi. Boshqarish tizimi – fazalar chulg'ami ta'minotining boshqarish algoritmini amalga oshiradi. Induktorli dvigatel – elektromexanik energiya o'zgartirgich. Ventilli – induktorli dvigatel chastota o'zgartirgich va boshqarish tizimisiz ishlash olmaydi. Ushbu dvigatellar kuch elektronika va mikroprosessorli boshqarish tizimlari rivojlanishi oqibatida paydo bo'lgan.

Induktorli dvigatelning tuzilishi quyidagicha:

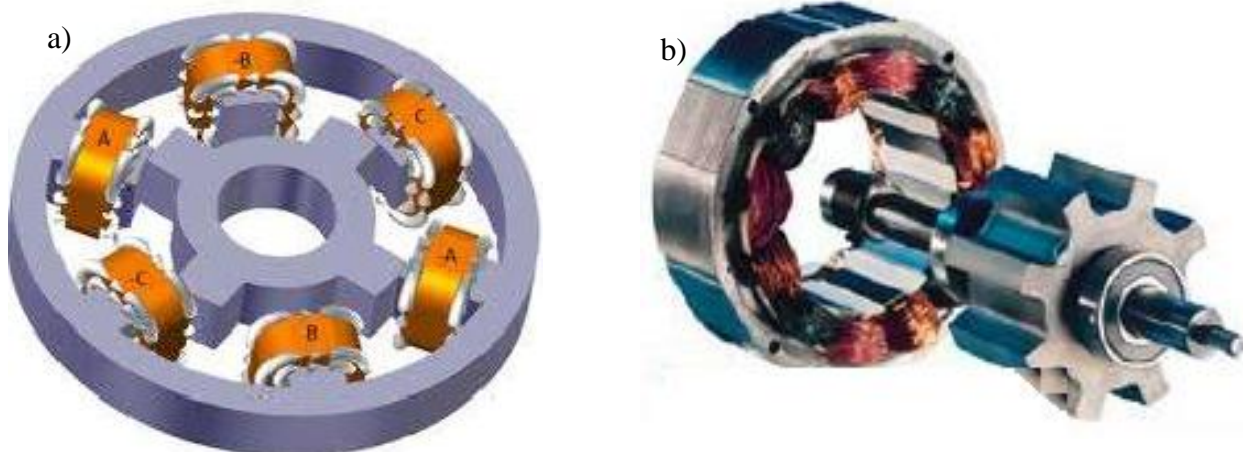
A) Stator va rotor magnit o'zagi ayon qutbli qilib tayyorlangan (shixtovka qilingan);

B) Stator va rotor qutblarining to'g'ri nisbati $2/2$, $4/2$, $6/4$, $8/6$, $10/8$, $12/10$, $14/12$ (3.20 va 3.21-rasmlar)

S) Stator chulg'ami bir yoki ko'p fazali g'altaklardan tashkil topgan.

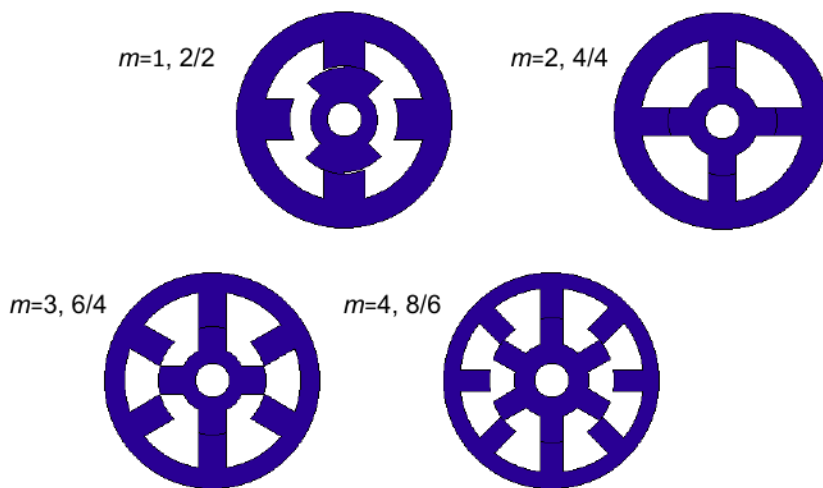
D) Faza chulg'ami, 2 (yoki 4) g'altakdan iborat bo'lib diametral qarshi tomondagi qutblarga joylashtiriladi (3.10.2-rasm, a).

E) Rotori passiv rotorli bo'lib, qo'zg'atish chulg'amisiz va doimiy magnitdan ham tayyorlanmaydi.



3.21-rasm. a) Statori 6 ta, rotori 4 ta qutbdan; b) statori 10 ta rotori 8 qutbdan iborat bo'lgan induktorli dvigatel

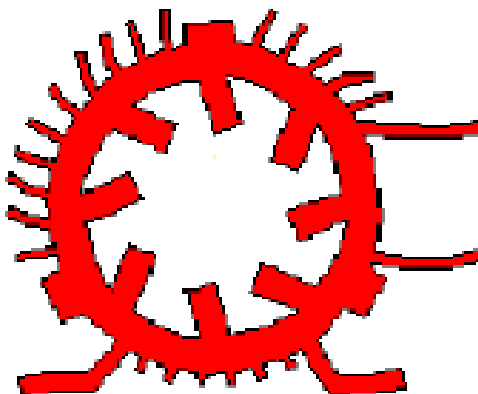
Induktorli dvigatel ishlaganda uning magnit o'zagiga elektromagnit kuchlar ta'sir ko'rsatadi. Ushbu elektromagnit kuchning azimutal tashkil etuvchisi va radial tashkil etuvchisi majud bo'lib, azimutal tashkil etuvchisi aylantiruvchi momentni tashkil etsa, radial tashkil etuvchi magnit o'zakning deformatsiyasiga sabab bo'ladi. Magnit o'zakning deformatsiyasi tebranishni xosil qiladi, vibratsiya o'z navbatida ovoz to'liqlarini xosil qiladi.



3.22-rasm. Stator faza chulg'amlari va stator bilan rotor qutblar nisbati har-hil bo'lgan indkotorili dvigatellarning konstruktiv turlari

Radial elektromagnit kuch ta'sir qilgan tebranish bilan jismning xususiy tebranishi bir-biriga to'g'ri kelsa, mexanik rezonans vjudga keladi, buning oqibatida

deformatsiyaning amplitudasi va shovqin chiqishi ko‘payadi. Ventilli –induktorli dvigatellarning asosiy kamchiliklaridan biri uning ko‘p shovqin chiqarishidir.



3.23-rasm. Ventil-induktorli dvigatellarning radial elektromagnit kuch ta‘sirida deformatsiyalanishi

Ventil-induktorli dvigatellarning avzalliklari:

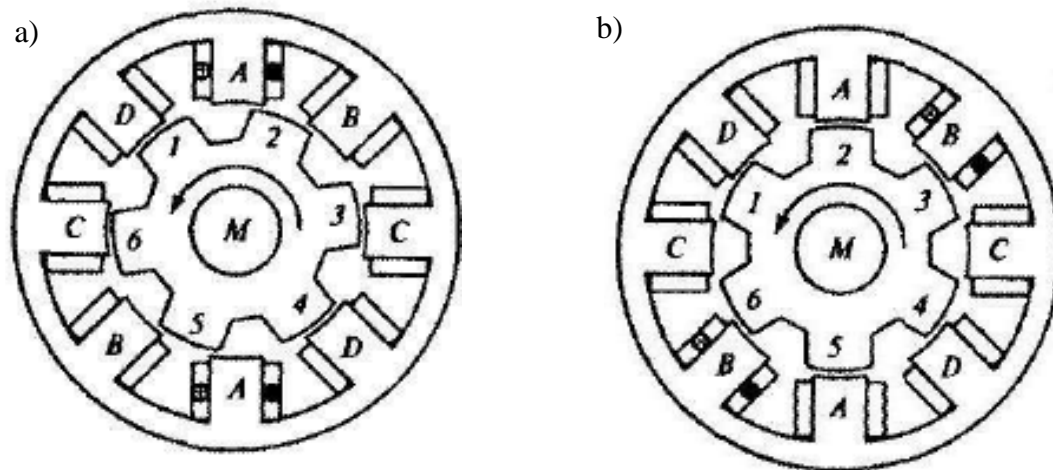
- 1) Tuzilishining oddiyligi va sirpanuvchi kontaktlarning yo‘qligi;
- 2) Elektr mashinasining ishonchliligi va uzoq muddat ishlashi;
- 3) Xar-qanday aylanish tezlikda ishlay olishi;
- 4) Qiyin ish rejimida ham ishlay oladi;
- 5) Rostlash diapazonining kengligi (silliq va iqtisodiy samarali);
- 6) To‘g‘ridan-to‘g‘ri ta‘sir etuvchi yuritmani yaratish mumkin.

Ventil – induktorli dvigatelning kamchiliklari:

- 1) Vibratsiya va shovqin darajasining yuqoriligi (pulslanuvchi moment, radial tortilish);
- 2) Rotor xolatini aniqlovchi datchikning kerak bo‘lishi;
- 3) Magnit o‘zakni tayyorlashda listlarni shtamplaganda chiqindining ko‘pligi;
- 4) Toklarning no sinusoidalligi tarmoqqa ta‘sir qilmasligi uchun filtrlarni o‘rnatish kerakligi.

Induktorli mashinaning ishlash prinsipi, ronorning xolati eng yuqori magnit o‘tkazuvchanlik tomonga burilishiga asoslangan. A fazadagi boshqarish chulg‘amiga impulsli tok berganimizda, rotor elektromagnit kuchlar ta‘siri ostida 2-5 qutblar A faza o‘qi bo‘yicha joylashadi, shundan so‘ng A fazadagi chulg‘amning tokini uzib, B fazasidagi chulg‘amga tok beriladi. Bu xolatda rotorga V fazasi chulg‘ami xosil qilgan MYK ta‘sir qiladi, natijada rotor soat strelkasiga teskari

burilib, 3-6 qutblar, B fazasi o‘qi bo‘ylab joylashadi va dvigatelda keyingi sikllar takrorlanadi. Aylanishni uzliksizligini ta’minlash va maksimal moment olish uchun avval A faza uzilib, keyin B faza qo‘shilgani maqsadga muvofiq.



3.24-rasm. Statori 8 rotori 6 ta qutbli dvigatelni ishlash prinsipi: a) A fazasiga impuls berilgandagi va b) B fazasiga impuls berilgandagi xolati

Shunday qilib, ko‘rib chiqilgan to‘rt fazali reaktiv induktorli dvigatel fazadagi boshqarish chulg‘amlarini aloxida ulashning to‘rt taktli kommutatsion sxemasidan foydalanilgan xolda ishlaydi: $A \rightarrow B \rightarrow C \rightarrow D \dots$.

Faza chulg‘amlarining ketma-ket kommutatsiyasi rotorni bir tomonga aylanishini ta’minlaydi (kommutatsiyani boshqarish uchun rotor xolatini aniqlovchi datchikning signali kerak bo‘ladi).

Aloxidagi simmetrik kommutatsiyada rotorning aylanish tezligi:

$$A \rightarrow B \rightarrow C \rightarrow D \rightarrow A \rightarrow \dots \quad n = \frac{60 f_1}{Z_r}$$

Bu erda f_1 – fazalarga ketma-ket berilayotgan impulsning chastotasi, Z_R – rotorning qutblari soni.

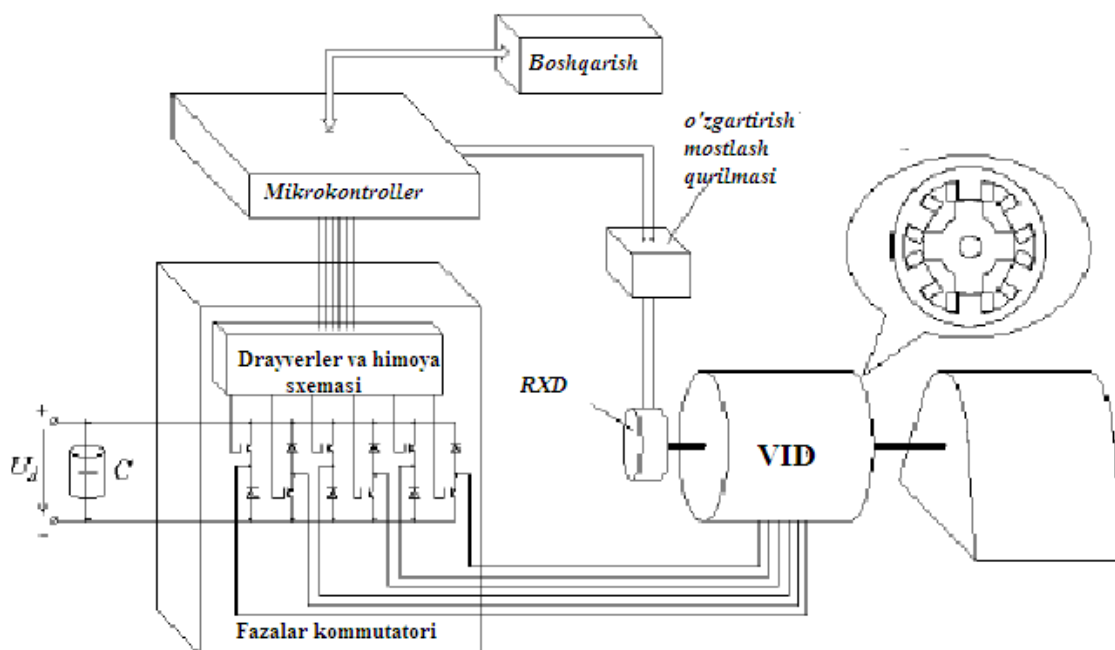
Birgalikdagi simmetrik kommutatsiyada rotorning aylanish tezligi:

$$AB \rightarrow BC \rightarrow CD \rightarrow DA \rightarrow AB \rightarrow \dots \quad n = \frac{120 f_1}{Z_r}$$

Nosimmetrik kommutatsiyada rotorning aylanish tezligi:

$$A \rightarrow AB \rightarrow B \rightarrow BC \rightarrow C \rightarrow CD \rightarrow D \rightarrow DA \rightarrow A \dots \quad n = \frac{90 f_1}{Z_r}$$

Yuqoridagidan ko‘rinib turibdiki eng katta tezlik birgalikdagi simmetrik kommutatsiyaga to‘g‘ri keladi.

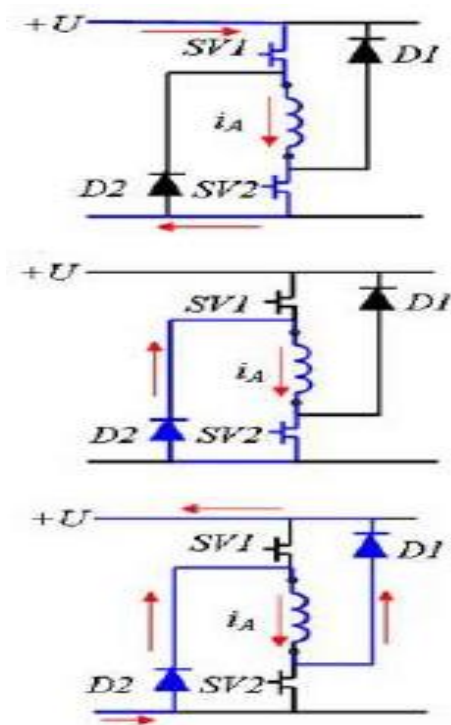


3.25-rasm. Ventil - induktorli dvigatelning struktura sxemasi

3.25-rasmda ventil – induktorli dvigatelning struktura sxemasi ko‘rsatilgan bo‘lib, RXD – rotor xolatini aniqlovchi datchik dan chiqqan signal o‘zgartirish moslash qurilmasiga boradi, undan chiqqan signal mikrokontrollerga borib shundan so‘ng fazalar kommutatoriga boradi. Fazalar kommutatori tashqi manbadan berilayotgan impulsni ketma-ket ravishda faza chulg‘amlariga uzatadi. Sxemadagi kondensator S filtr xamda reaktiv quvvat manbayi sifatida ishlatiladi.

3.26-rasmda induktorli dvigatelning fazalar kommutatsiyasi sxemasi keltirilgan bo‘lib, SV1 va SV2 kalitlar qo‘shilganda fazadan tok oqib o‘tadi va rotor belgilangan xolatga burilib, faza chulg‘ami magnet energiyani to‘playdi. Fazani o‘chirganimizda (SV1 kalit uzilgan) to‘plangan energiya yo‘qolmaydi, bu magnet energiyasi, qarama-qarshi diod D2 va kalit SV2 orqali o‘tadigan tokni xosil qiluvchi o‘z induksiya EYK ni vjudga keltiradi. Xosil bo‘lgan tok faza chulg‘ami qarshiligi R, diod D2 va kalit SV2 qarshiliklarda so‘nib 0 gacha pasayadi.

Agar mos xolat bo‘lsa tok nolga teng emas va tormozlovchi momentni xosil qiladi. Magnet maydonni tezroq so‘ndirish uchun kalitlar SV1 va SV2 uzish orqali fazalarga teskari qutbli kuchlanish beriladi.



3.26-rasm. Fazalar kommutatsiyasi

3.11. SINXRON TAXOGENERATOR

Sinxron taxogenerator oddiy o'zgaruvchan tok taxogeneratori xisoblanadi. 3.27-rasmda to'rt qutbli sinxron taxogeneratorning konstruktiv sxemasi keltirilgan.

Elektrotexnik po'lat plastinkalardan tayyorlangan stator 1 pazlariga, taqsimlangan bir fazali chulg'am joylashtirilgan. Statorning ichida disk shaklidagi doimiy magnitdan tayyorlangan rotor 2 joylashgan. Rotor aylanganda stator chulg'amida ta'sir etuvchi qiymati quyidagicha bo'lgan EYK xosil bo'ladi:

$$E_0 = 4,44k_0\omega f F_{dm} = 4,44k_0\omega \frac{pn}{60} F_{dm} = Cn, \quad (3.20)$$

bu yerda $f = \frac{pn}{60}$; $C = 4,44k_0\omega \frac{p}{60} F_{dm}$.

Shunday qilib, taxogenerator yuksiz ishlaganda, aylanish tezligiga proporsional bo'lgan $U_o = E_o$ kuchlanish olamiz. Ammo uning chastotasi aylanish tezligining funksiyasidir. Yuklama bilan ishlayotgan taxogeneratorning nominal yuklama Z_N ning reaktiv (induktiv va sig'im)

3.28-rasmda rotor sirpanuvchi dvigatelning konstruksiyasi ko'rsatilgan. Po'lat korpus 1 da, statorning magnit o'zagi 2 joylashgan bo'lib, unga uch yoki ikki fazali (sig'imli tayyorlanishda) chulg'am 4, ferromagnit toroitlar 6 va statorning g'ildiragi 7 joylashtirilgan. Stator magnit o'zagi va torroit orasiga ikkita o'zgaras tok chulg'ami g'altagi 5 joylashtirilgan.

Rotor oddiy mashinalarnikiga nisbatan farq qilib, uning o'qi bilan stator o'qi bir-biriga mos kelmaydi. Rotorning 10 valiga shixtovkaqilingan chulg'amsiz rotorning o'zagi 3, ikki paket unipolyar magnitotkazgich 8 va i g'ildirak 9 joylashtirilgan.

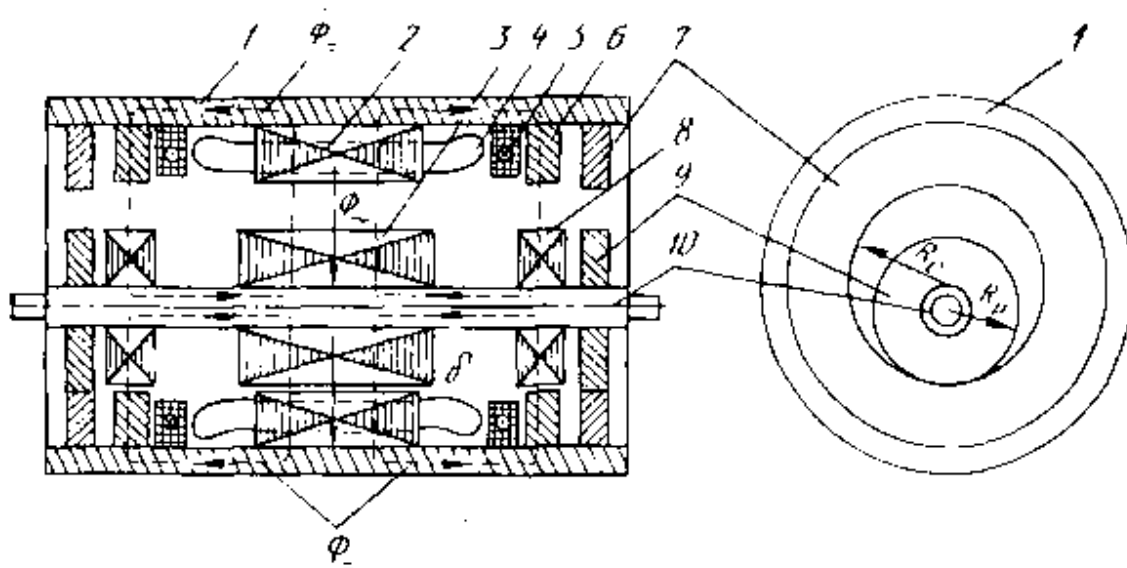
Dvigatelning konstruksiyasi shunday tayyorlanganki unda rotor bilan stator yuzalari bir biriga tegmaydi. Ularning orasida g'ildiraklar sababli minimal xavo oralig'i δ ta'minlangan.

Dvigatelning ishlash prinsipi quyidagicha. O'zgaras tok chulg'amiga kuchlanish berganimizda unipolyar maydon xosil bo'ladi (Φ -magnit maydoni yo'nalishi 3.28-rasmda strelka bilan ko'rsatilgan), xavo oralig'i eng kam bo'lgan tomonda rotor va stator magnit o'zaklari orasida eksentrisitet birtomonlama magnit tortilish byjudga keladi. Keyin ikki yoki uch fazali stator chulg'amiga o'zgaruvchan tok berganimizda, statorda aylanuvchi magnit maydon paydo bo'lib, xavo oralig'ida unipolyar maydon bilan qo'shiladi.

3.28-rasmda quyidagi grafiklar keltirilgan: 1) $B_{\delta 1}=f(x)$ unipolyar, $B_{\delta 2}=f(x)$ ikkiqutbli aylanuvchi va $B_{\delta x}=B_{\delta 1}+B_{\delta 2}=f(x)$ natijaviy maydon. Natijaviy maydon nosimmetrik bo'lib, shuning uchun $B_{\delta x}$ vektori va aylanuvchi magnit maydon vektorlari maksimumi mos tushgan bir tomonlama tortish kuchini xosil qiladi.

Ko'rib chiqayotgan vaqtda magnit maydonning maksimum nuqtasi 3.30-rasmdagi A nuqtaga to'g'ri keladi deb qarasaq (3.30-rasm, a), bunday xolatda Q kuch ta'sirida rotor statorning A nuqtasiga tortiladi. Agar endi natijaviy maydon fazoda biron burchakka burilsa, Q magnit tortishi xam shunday burchakka buriladi (3.30-rasm, b). Q kuchini Q_x va Q_y tashkil etuvchilarga ajratsak, unda Q_x kuchini rotorni burish orqali statorga tortishishini ko'ramiz. Q_x kuchi ta'sirida rotor va uning g'ildiraklari α burchakga buriladi va minimal xavo oralig'i V nuqtaga

ko‘chadi.



3.28-rasm. Rotori sirpanuvchi sinxron dvigatelning konstruktiv sxemasi

Shunday qilib, natijaviy nosimmetrik maydonning aylanishi natijasida minimal xavo oralig‘i A nuqtasi sinxron tezlik ω_0 bilan siljiydi. Rotor va uning g‘ildiraklari o‘zining o‘qi atrofida ω_0 tezlikdan kam bo‘lgan ω tezlik bilan maydonning aylanish yo‘nalishiga qarshi tomonga aylanadi. Bunda maydon bilan sinxron, ammo kam tezlik bilan rotorning markazi O qo‘zg‘aladi.

$$\beta = \frac{2\pi R_s - 2\pi R_r}{R_r}, [\text{rad}] \quad (3.21)$$

bu erda R_s va R_r – stator va rotor g‘ildiraklari radiusi.

(3.12.1) tenglamaga muvofiq rotor valining burchak tezligi quyidagicha bo‘ladi:

$$\omega = \omega_0 \frac{R_s - R_r}{R_r} [\text{rad/sek}] \quad (3.22)$$

yoki

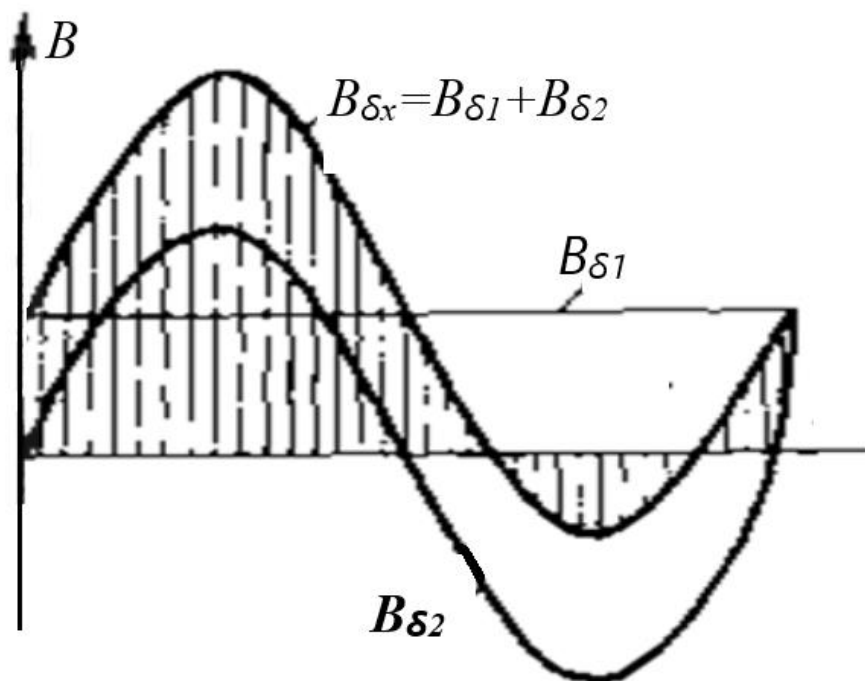
$$\frac{\pi n}{30} = \frac{\pi n_0}{30} \cdot \frac{R_s - R_r}{R_r},$$

Bu erdan

$$n = n_0 \frac{R_s - R_r}{R_r} = 60 f_1 \frac{R_s - R_r}{R_r}, \left[\frac{\text{ob}}{\text{min}} \right]. \quad (3.23)$$

Bu erda $n_0 = 60 f_1$, chunki $r = 1$.

$\frac{R_s - R_r}{R_r}$ qiymati birdan ancha kichik bo'lgani uchun rotorning tezligi sinxron tezlikdan ancha kichik bo'ladi. Tarmoq chastotasi 50 Hz bo'lganda uning aylanish tezligi 2÷200 ayl/min ga etishi mumkin.



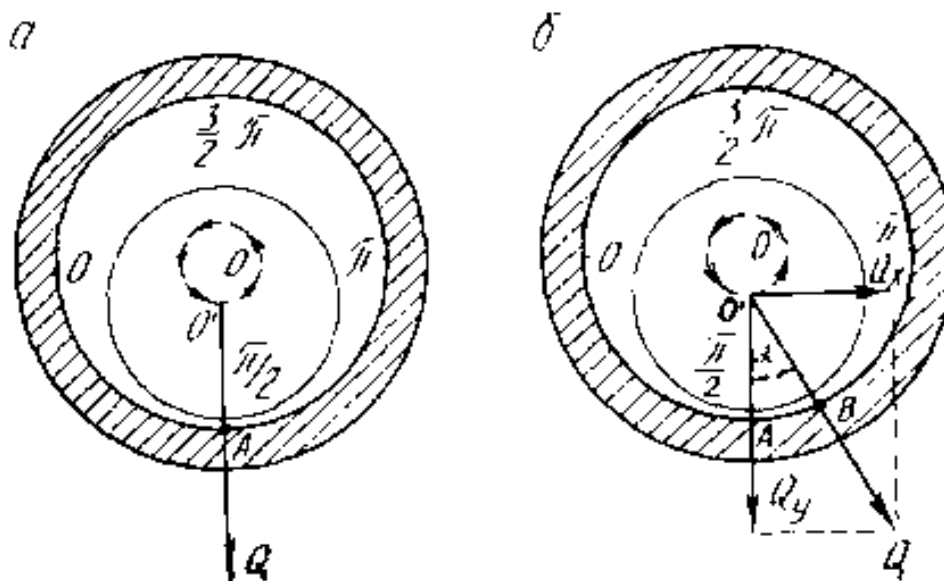
3.29-расм.
Носимметрик магнит
майдоннинг хаво
оралиғидаги
тарқалиши

Shunday qilib, sirpanuvchi rotorli dvigatellarda maxsus reduktor qurilmalarisiz, tezlikni bir necha barobar kamaytiruvchi reduksion koeffitsientga ega bo'la olamiz.

Stator va rotor g'ildiraklari yuzasi silliq bo'lgan rotorli sirpanuvchi dvigatellarda etarli yuklama momenti xosil bo'lganda dvigatel vali sirpanib, asinxron dvigatel sifatida ishlaydi. Bunday xolatda dvigatelning mexanik xarakteristikasi gisterezis dvigatelinikiga o'xshagan bo'ladi. Rotorli sirpanuvchi dvigatellarining stator va rotor g'ildiraklari sirpanmasligi uchun tishli qilib tayyorlanadi.

Rotorli sirpanuvchi dvigatelning asosiy afzalliklari: reduktorsiz ancha tezlikni kamaytirish; katta aylanuvchi moment (nominal va ishga tushish); kam inersiyali; tayanch bo'lib ishlaganda ($n=0$ da) quvvat va tokning sezilarli oshmasligi. Kamchiliklari: sirpanuvchi rotorning aylanishini boshqa valga ulashda

maxsus kinematik qurilmaning kerakligi; ikki tomonlama manbaning kerakligi; markazdan qochma kuch ta'siridagi vibratsiyaning sezilarliligi.



3.30-rasm. Rotori sirpanuvchi dvigatelning ishlash prinsipiga oid

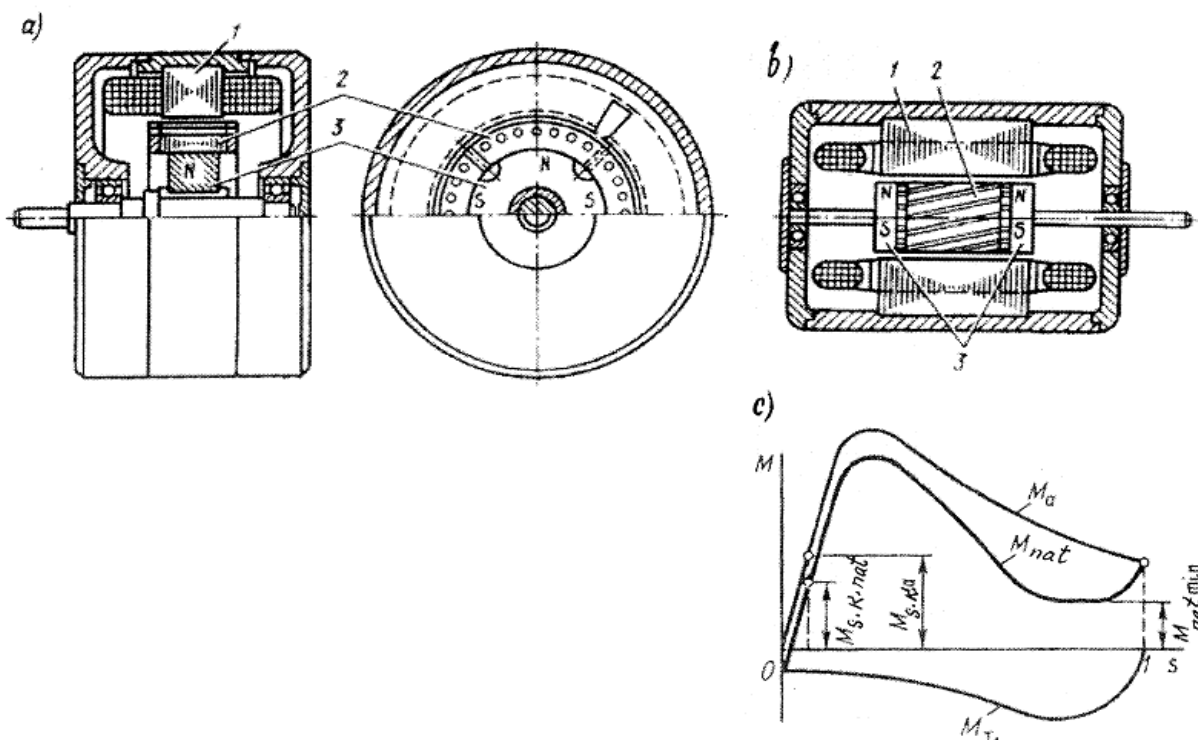
3.13. DOIMIY MAGNITLI SINXRON DVIGATELLAR

Bunday sinxron dvigatellarning o'ziga xos xususiyati shundan iboratki, ularda qo'zg'atish magnet maydonini hosil qilish uchun rotorda doimiy magnetlar joylashtiriladi. Ular dvigatelni sinxronizmga kiritish, qisqa tutashgan chulg'am esa sinxron dvigatelni asinxron usulda ishga tushirish vazifasini bajaradi.

Konstruksiyasining soddaligi, kontakt halqalarining bo'lmasligi (ya'ni kontaktsizligi), FIK ning nisbatan katta bo'lishi, qo'zg'atish chulg'ami bo'lmaganidan elektr isroflarining kamligi hamda mashinada magnet maydon hosil qilish uchun o'zgarmastokmanbasigazaratning yo'qligibunday dvigatellarning *afzalligi* hisoblanib; magnet maydonini boshqarishning qiyinligi, narxining nisbatan qimmatligi ularning *kamchiligidir*.

3.31, *a*-rasmda doimiy magnetlarning rotorda radial joylashishi, 3.31, *b*-rasmda esa aksial joylashishi ko'rsatilgan. Bu dvigatelsinxron usulda ishga tushirilganda asinxron momentdan tashqari yana tormozlovchi moment ham

hosil bo‘ladi (3.31, c-rasm). Tormozlovchi moment rotor qutblarida hosil bo‘lgan magnet maydoni bilan shu maydon hosil qilgan statoragi tokning ta’sirlashishi natijasida byjudga keladi.



3.31-rasm. Doimiy magnet rotorda radial joylashgan (*a*) va aksial, ya’ni mashina o‘qi bo‘yicha joylashgan (*b*) sinxron dvigatellar (bular: *1* – stator; *2* – qisqa tutashgan, ya’ni ishga ushirish chulg‘ami; *3* – doimiy magnetlar) hamda sinxron dvigatelni ishga tushirish-da elektromagnit momentlarning o‘zgarishlarigrafigi (*s*) (bunda: M_α – asinxron moment; M_t – tormoz momenti; M_{nat} – natijaviy moment; $M_{s.k.nat}$ – natijaviy momentning dvigatelni sinxronizmga kiritish qiymati; $M_{s.k.a}$ – asinxron momentning sinxron dvigatelni sinxronizmga kiritish qiymati)

Doimiy magnetli sinxron dvigatellarning energetik ko‘rsatkichlari yaxshi, yuklanish qobiliyati yuqori va aylanish chastotasi barqaror bo‘ladi. Bunday sinxron mikrodvigatellar avtomatikada keng ishlatiladi.

3.14. GIBRID QO‘ZG‘ATISHLI SINXRON MASHINALAR

Xozirgi kunda doimiy magnetli elektr mashinalarga qiziqish kuchaygan. Sababi oxirgi 10 yillikda bunday mashinalarni qo‘llash soxasi bir muncha kengaygan. Bunday bo‘lishiga sabab, birinchidan, doimiy magnetli mashinalardagi afzalaliklar, masalan: mashinalarda energiyaning yuqori zichligi, foydali ish

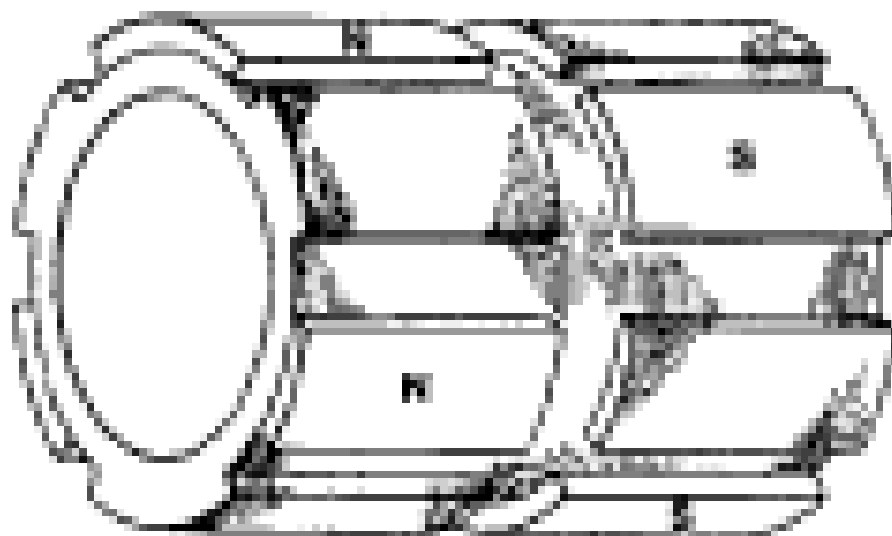
koefitsienti va ishonchlilikning yuqoriligi, xamda inersiya momentining kamligi. Bundan tashqari ushbu mashinalarni ishlab chiqarishdagi magnit materiallarning ko'payishi tufayli ishlab chiqarish xarajatlarning kamayishiga xam sabab bo'ldi. Yuqoridagilarni inobatga olsak yaqin yillarda bunday doimiy magnitli mashinalarning tannarxi 1 kg uchun 30 AQSH dollariga etishi mumkin.

SHu bilan birgalikda afzalliklardan tashqari doimiy magnitli elektr mashinalari bir qator kamchiliklarga xam ega. Masalan – ularda magnit maydonni rostlashning imkoni mavjud bo'lmaganligi sababli, ularni aylanish tezligi keng diapazonida rostlanadigan generatorli elektr yuritmalarda qo'llashning imkoni mavjud emas. Ammo bunday generatorlarni rostlash uchun tiristorli o'zgartkichlar ishlatilsa ham, rostlash usulining o'ziga yarasha kamchiliklari ham mavjud. Masalan, bunday usulda rostlash doimiy magnitlarni magnitsizlab qo'yishga va chastotaning ko'pligi tufayli po'lat o'zakdagi magnit isroflarning ortishiga olib keladi.

Gibrid qo'zg'atishli sinxron generatorlarda yuqoridagi kamchiliklarni bartaraf etish uchun doimiy magnitlardan tashqari qo'zg'atish chulg'ami xam mavjud bo'ladi. Bunda yakor chulg'amida xosil bo'lgan EYK asosiy magnit oqimini o'zgartirish yo'li bilan rostlanmaydi, balki natijaviy magnit maydonning yakor chulg'ami bilan ilashishini o'zgartirish yo'li bilan rostlash imkonini beradi. Ushbu xolatda po'latdagi isroflarni ko'payishiga sabab bo'ladigan magnit zanjirining xaddan tashqari to'yinishi va doimiy magnitlarning magnitsizlanish xavfi byjudga kelmaydi.

Gibrid qo'zg'atishli mashinalarning statori va rotoru birgalikda ishlovchi ikki aksial qismdan iborat bo'ladi. Rotorning xar ikkala yarim qismi, po'latdan va magnitdan tayyorlangan qutblardan iborat. Po'latdan tayyorlangan ayon qutblari, rotor magnit o'zaklari materialidan tayyorlanadi, doimiy qutblar esa rotorning yuza qismiga maxkamlangan, po'lat va magnit qutblarning burchak o'lchamlari bir xil bo'ladi. Rotorning xar bir yarim qismida bir qutbli qutblar joylashtirilgan. Qutblar shunday joylashtirilganki, rotorning birinchi yarmida doimiy magnit, qarama – qarshi tomonidagi yarim qismida esa aksial yo'nalish bo'yicha po'latdan

tayyorlangan qutb joylashtiriladi. Rotorning ikkinchi yarmidagi qutblar, yarmo xosil qiluvchi magnet o'zakka o'rnatilgan.



3.32-rasm. Gibrid qo'zg'atishli sinxron mashinaning rotori

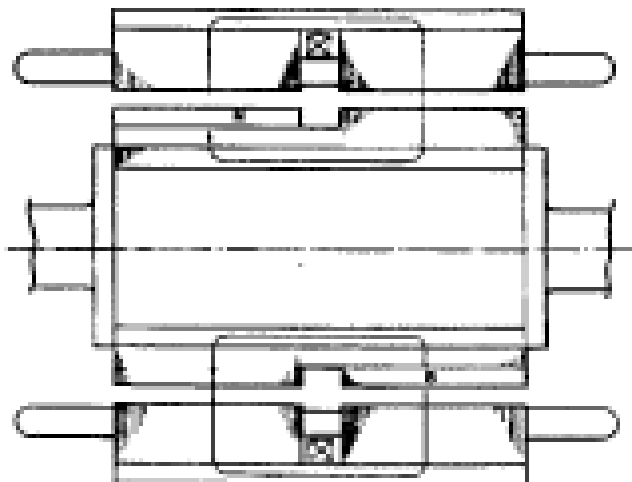
Gibrid qo'zg'atishli mashinalarning stator magnito'zagi an'anaviy sinxron mashinalarning stator magnet o'zagiga o'xshagan bo'lib, ammo u xam ikki qismdan iborat. Statorning xar bir qismi umumiy magnet o'zakka o'rnatilgan tishli zona va yarmodan tashkil topgan. Statorning ikkala tomonidagi pazlar bir o'qda joylashgan va unga 3 fazali stator chulg'ami o'rnatiladi. Stator magnet o'zagidagi tishlar va yarmo rotor kabi ma'lum bir xavo oralig'i bilan ajratilgan.

Stator yoki rotor yarim tomonlari o'rtasida aksial magnet oqimini xosil qiluvchi xalqasimon qo'zg'atish chulg'ami joylashtirilgan.

Gibrid qo'zg'atishli sinxron mashinaning doimiy magnitlari azimutal va aksial tashkil etuvchiga ega bo'lgan uch o'lchamli magnet maydonini xosil qiladi. Qo'zg'atish chulg'ami natijaviy magnet maydon shaklini o'zgartiruvchi aksial magnet maydonni xosil qiladi. Qo'zg'atish tokining yo'nalishi va qiymatiga qarab, oqim ilashuvchanligini o'zgartiradigan, natijaviy magnet maydonining yo'nalishini azimutdan aksialgacha o'zgartirish imkoni mavjud.

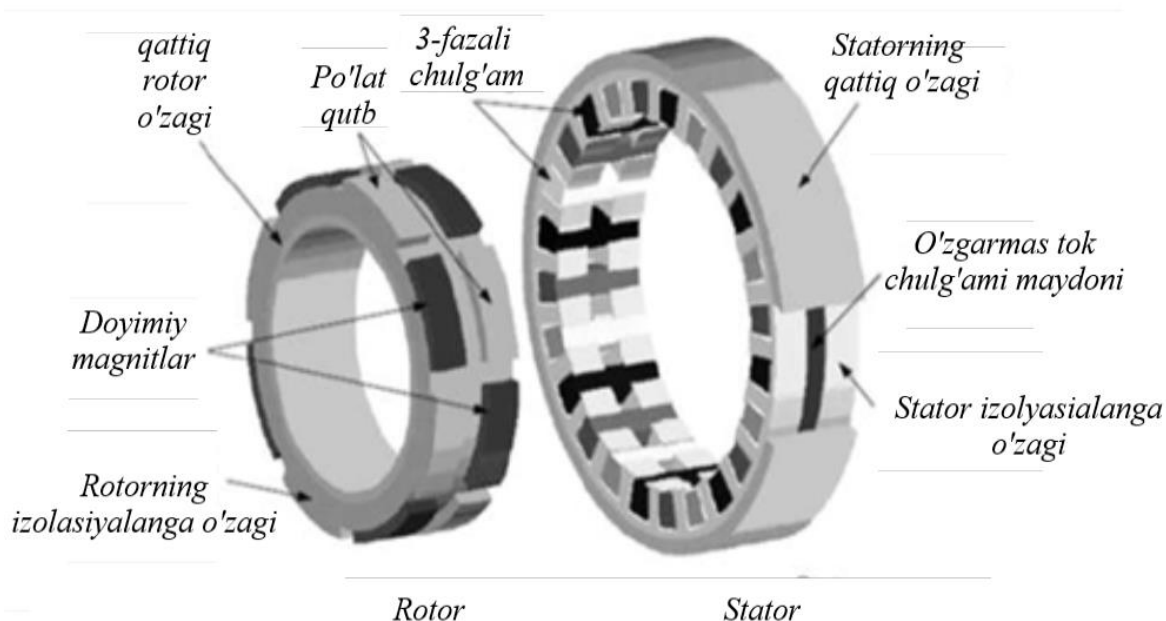
Gibrid qo'zg'atishli sinxron mashinaning yana boshqa turi mavjud bo'lib, uning stator magnet o'zagi xuddi an'anaviy sinxron mashinaning stator magnet

o‘zagi singaridir. Ushbu stator 36 pazga ega bo‘lib, agarda qutbga to‘g‘ri kluvchi pazlar soni $q=1$ bo‘lsa, ushbu chulg‘am 12 magnit qutbini xosil qiladi.



3.33-rasm. Gibrid qo‘zg‘atishli sinxron mashina

Bunday tuzilishdagi mashina EYK ni keng diapazonda o‘zgartirish imkoniniberadi. Bunda qo‘zg‘atishga ketadigan energiya isrofi kam bo‘lgan qo‘zg‘atish chulg‘ami ishlatiladi.



3.34-rasm. Gibrid qo‘zg‘atishli sinxron mashinaning rotor va statorining tuzilishi

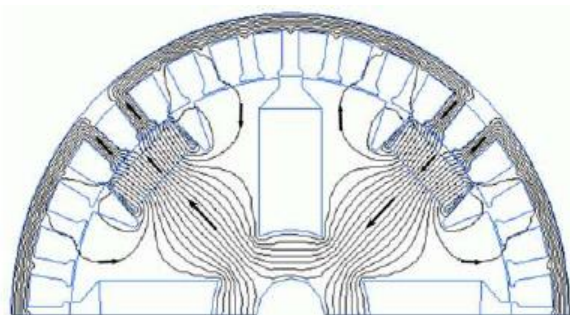
Ushbu konstruksiyali gibrid qo‘zg‘atishli mashinaning rotori shixtovka qilingan elektrotexnik po‘latdan tayyorlangan. Magnit o‘tkazgich birnechta ayon

qutbli po‘lat qutblardan va bir nechta doimiy magnitli qutblardan iborat. Qo‘shni po‘lat qutblar orasida pazlar bo‘lib, unga qo‘zg‘atish chulg‘ami joylashtiriladi.

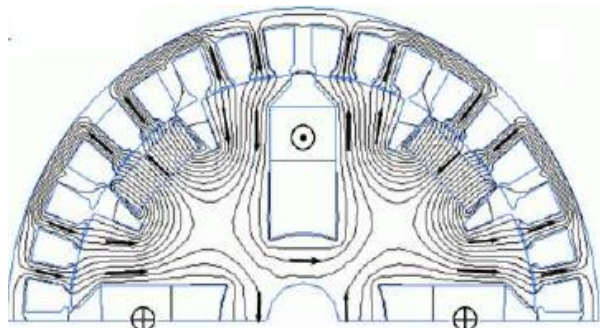
YUqorida ko‘rib chiqilayotgan konstruksiyali gibril qo‘zg‘atishli sinxron mashinaning qo‘zg‘atish chulg‘ami o‘zining xususiy magnit maydonini xosil qiladi va undagi qo‘zg‘atish tokini $I_f=0 \div I_{fmax}$ gacha o‘zgartirish mumkin.

Bunda qo‘zg‘atish chulg‘ami xosil qilgan magnit maydoni doimiy magnitxosil qilgan magnit maydoniga ta‘sir ko‘rsatib, xavo oralig‘idagi natijaviy magnit maydonning shaklini va stator chulg‘ami oqim ilashimligini o‘zgartiradi.

Doimiy magnit xosil qilgan magnit maydoni quyidagi 3.35-rasmda ko‘rsatilgan.



3.35-rasm. Doimiy magnit xosil qilgan magnit oqim yo‘nalishlari



3.36-rasm. Gibril qo‘zg‘atishli sinxron mashinaning $I_f=I_{fmax}$ magnit oqimi

Gibril qo‘zg‘atishli sinxron mashinalar changalsimon qutbli sinxron mashinalarga nisbatan isrofi kamligi va bo‘ylama o‘q bo‘yicha yakor chulg‘aming induktivligi kamligibilan afzalliklarga ega.

NAZORAT SAVOLLARI

1. Bo‘ylama – ko‘ndalang qo‘zg‘atishli sinxron mashinalarning stator tuzilishi an‘anaviy sinxron mashinalarnikidan farqi?
2. Bo‘ylama – ko‘ndalang qo‘zg‘atishli sinxron mashinalarning rotor chulg‘aming tuzilishi?
3. Bo‘ylama – ko‘ndalang qo‘zg‘atishli sinxron mashinalarning ishlash prinsipini tushuntiring.

4. Bo'ylama - ko'ndalang o'qlari bo'yicha qo'zg'atiladigan sinxron mashinalarning ekspluatatsion xarakteristikalari?
5. Qanday mashinalarni asinxronlashtirilgan sinxron mashinalar deyiladi?
6. Asinxronlashtirilgan turbogeneratorlar qaerlarda qo'llaniladi?
7. Qo'zg'atish chulg'amlari o'ta o'tkazuvchan materiallardan tayyorlangan sinxron mashinalarni gapirib bering.
8. Kriostat sovitish qurilmasi nima?
9. O'ta o'tkazuvchan materiallardan tayyorlangan sinxron mashinalarning afzallik va kamchiliklari?
10. O'ta o'tkazuvchan chulg'amli sinxron mashinani tuzilishi va o'ziga xos xususiyatlari?
11. Sinxron kompensatorlar nima uchun qo'llaniladi?
12. SKning qo'zg'otilish darajasi qanday boshqariladi?
13. Sinxron kompensatorning nominal quvvatideb nimaga aytiladi?
14. SKning muxim tavsiflaridan biri nimada?
15. Reaktiv sinxron dvigatellar rotorining bo'ylama va ko'ndalang o'qlari bo'yicha magnit o'tkazuvchanligi qanday bo'lishi kerak?
16. Reaktiv moment deb nimaga aytiladi?
17. SRD rotorining Hzeksiyali konstruksiyasini tushuntirig'n?
18. Reaktiv sinxron dvigatelning burchak xarakteristikalari?
19. Reaktiv sinxron mashinalarning afzallik va kamchiliklari?
20. Induktorli sinxron generatorlar
21. Induktorli sinxron generatorlarning vazifasi?
22. Induktorli sinxron generator stator chulg'amlari qanday joylashtiriladi?
23. Induktorli sinxron generator qo'zg'atish chulg'aming turlari?
24. Uch fazali induktorli generator nima?
25. Nima uchun rotordajoylashgan qutb uchligiga changalsimon shakl beriladi?
26. Qutblarining konstruksiyasi changalsimon shaklga ega bo'lgan rotorli sinxron generatorlar qaerlarda qo'llaniladi?
27. Changalsimon qutbli kontaktsiz sinxron generatorphaqida gapirib bering.

28. Gisterezisli dvigatellarning ishlash prinsipi?
29. Gisterezisli dvigatellarning tuzilishi.
30. Magnit kechikish xodisasi nimani bildiradi?
31. Gisterezis dvigatellarning afzalliklari va kamchiliklari?
32. Ventilli - induktorli dvigatellarning ishlashi va tuzilishi?
33. Qadamli dvigatellarning turlari?
34. Qadamli dvigatellarning muxim parametrlari?
35. Ventilli - induktorli dvigatellar qo'llanilishi va turlarini gapmrib bering.
36. Ventilli - induktorli dvigatellar tuzilishi va ishlash prinsipi.
37. Ventilli - induktorli dvigatellar afzallik va kamchiliklari?
38. Sinxron taxogenerator nima?
39. Rotori sirpanuvchi sinxron elektr mashinalar qo'llanilishi?
40. Rotori sirpanuvchi sinxron elektr mashinalar ishlash prinsipini gapiring.
41. Doimiy magnitli sinxron dvigatellarning o'ziga xos xususiyatlari.
42. Doimiy magnitli sinxron dvigatellarning afzallik va kamchiliklari?
43. Gibril qo'zg'atishli sinxron generatorlar haqida tushuncha bering.
44. Gibril qo'zg'atishli sinxron generatorlar afzallik va kamchiliklari?

IV BOB. MAXSUS MAQSADLI VA ZAMONAVIY O‘ZGARMAS TOK MASHINALARINING AYRIM TURLARI

Maxsus maqsadli O‘T mashinasining unipolyar (qutblari bir nomli) va magnitogidrodinamik turlari ham mavjud bo‘lib, ular tor sohalari uchun mo‘ljallanishini ta’kidlash bilan chegaralanib mazkur bobda maxsus maqsadli o‘zgarmas tok mashinalarining amalda keng qo‘llaniladigan hamda istiqbolli turlariga oid ma’lumotlar keltirilgan.

Elektr mashinasozligi sanoatida quvvati bir necha vatt dan bir necha ming kilovattgacha bo‘lgan, turli sharoitlarda ishlatishga mo‘ljallangan o‘zgarmas tok mashinalari ishlab chiqariladi.

O‘zgarmas tok elektr mashinalariga qo‘yiladigan talablarga qarab ular umumiy maqsadlarda ishlatiladigan mashinalar bilan maxsus mashinalarga bo‘linadi. Ko‘pchilik ishlatilish sohalari uchun umumiy bo‘lgan talablar kompleksini qanoatlantiradigan elektr mashina *umumiy maqsadlarda ishlatiladigan elektr mashina* deyiladi; ularga quyiladigan talablar jumlasiga ayrim sohalarda ishlatiladigan elektr mashinalargagina xos bo‘lgan spetsifik talablar kirmaydi. Elektr mashinalarning ayrim ishlatilish sohalarigagina xos bo‘lgan spetsifik talablarni hisobga olgan holda yasalgan mashina *maxsus elektr mashina* deyiladi.

Sanoatda keng ko‘lamda foydalaniладigan umumiy maqsadlarda ishlatiladigan elektr mashinalar ham, maxsus mashinalar ham seriyalar bilan tayyorlanadi.

Mashinalar seriyasi konstruksiyasi bir tipda bo‘lib, qo‘yiladigan talablarning umumiy kompleksini qanoatlantiradigan elektr mashinalarning quvvati oshib boradigan qatoridir.

Umumiy maqsadlarda ishlatiladigan o‘zgarmas tok mashinalarining eng ko‘p tarqalganlari yagona Π (**DC-direct current, o‘zgarmas tok mashinalari**) seriyadagi mashinalardir. Quvvati 0,3 dan 200 *kWt* gacha bo‘lgan shu seriyadagi elektr mashinalarga 110 va 220 V kuchlanishga mo‘ljallangan, aylanish tezliklari

3000, 1500, 1000, 750 va 600 *ayl/minut* bo‘lgan elektr dvigagellar va 115 hamda 230 V kuchlanishga mo‘ljallangan, aylanish tezliklari 2850 va 1450 *ayl/minut* bo‘lgan generatorlar kiradi.

II (DC) seriyadagi elektrodvigatellar aylanish tezliginn keng chegarada va bir me’yorda rostdash talab qilinadigan sanoat yuritmalarida ishlatishga, generatorlar esa o‘zgaras tok elektr zanjirlarini ta’minlashga mo‘ljallangan.

Maxsus elektr mashinalar sanoatning qaysi tarmog‘ida ishlatishga mo‘ljallangan bo‘lsa, shu tarmoqning talablariga muvofiq holda loyihalanaadi. Shuning uchun maxsus o‘zgaras tok elektr mashinalarining juda ko‘p turlari bor. Ushbu bobda shunday mashinalarning eng ko‘p tarqalgan turlari ko‘rib chiqiladi.

4.1. Kranlarda va metallurgiyada ishlatiladigan dvigatellar hamda tortuvchi dvigatellar

Anchagina ortiqcha yuklama bilan ishlaydigan va tez-tez teskari aylanib turadigan mexanizmlarning yuritmasi uchun MII seriyadagi o‘zgaras tok dvigatellari ishlatiladi. Bu dvigatellardan kran-ko‘tarish qurilmalari bilan metallurgiya qurilmalarining elektr yuritmasida foydalaniladi.

Tortuvchi elektrodvigatellar elektrlashtirilgan transportning harakatlanuvchi tarkibini yurgizish uchun mo‘ljallangan.

Bir xil rejimda ishlaydigan mashinalarga nisbatan tortuvchi dvigatellarning ishlash sharoiti ancha og‘ir: ular tez- tez ishga tushirib tuxtatib turiladi, ishlash jarayonida kuchlanish ko‘p o‘zgarada, dvigatel cho‘tkalari va cho‘tka tutqichlariing vibratsiyasiga sabab bo‘luvchi dinamikaviy ta’sirlar ostida bo‘ladi va xokazo.

Ana shularga ko‘ra tortuvchi dvigatellarning konstruksiyasi, ayniqsa mustahkam, kommutatsiyasi yaxshi sozlangan, cho‘tka tutqichlar maxsus konstruksiyada ishlangan bo‘ladi.

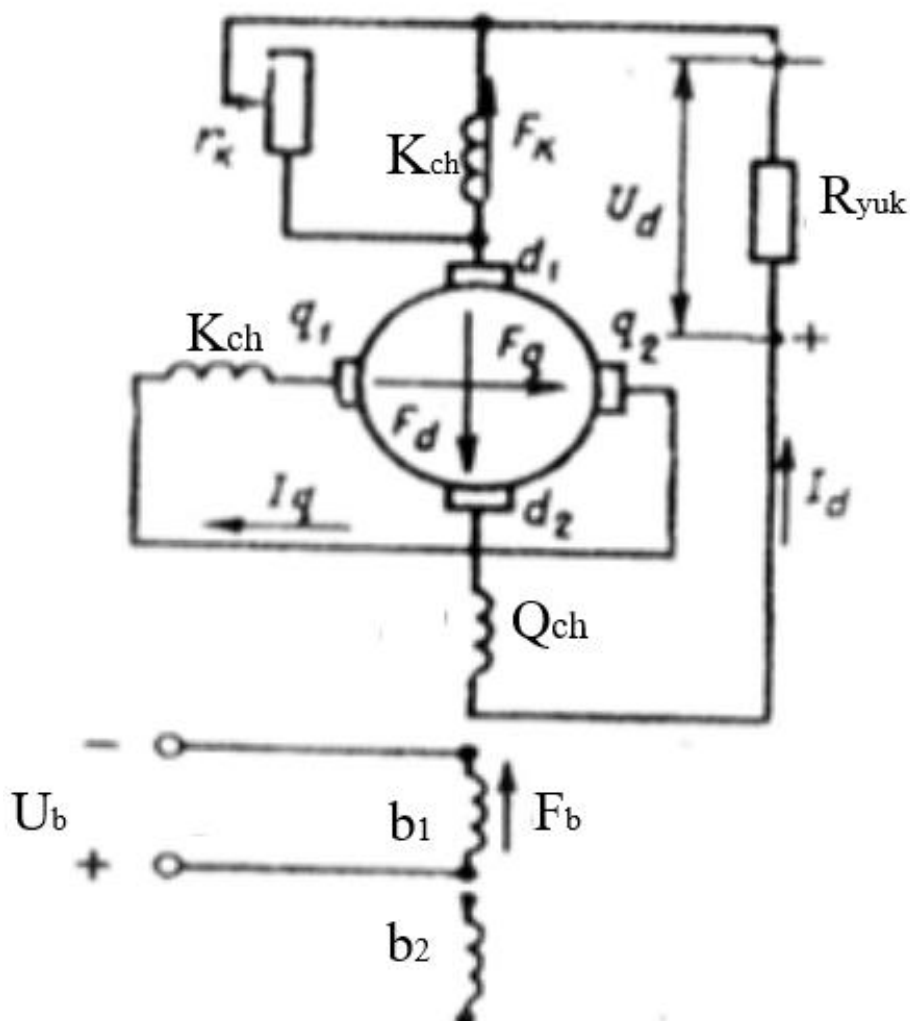
Tortuvchi elektr dvigatellar ketma-ket qo‘zg‘atiladigan va aralash qo‘zg‘atiladigan (ketma-ket qo‘zg‘atishli kuchliroq) chulg‘amli qilib yasaladi. Shuni eslatib o‘tamizki, ketma-ket qo‘zg‘atishli dvigatellar og‘ir ish sharoitlarida

boshqa dvigatellarga nisbatan yaxshiroq ishlaydi.

4.2. Elektr-mashinaviy kuchaytirgich

Generator rejimida ishlaydigan va elektr signallarini kuchaytirish uchun mo'ljallangan elektr mashina *elektr-mashinaviy kuchaytirgich* (EMK — EMU) deyiladi. Elektr-mashinaviy kuchaytirgichlar avtomatika sistemalarida ishlatiladi.

Mustaqil qo'zg'atishli o'zgaras tok generatori eng oddiy EMK (EMU) dir (4.1-rasmga). Generatorning chiqish klemmasidagi kuchlanish qo'zg'atish tokiga bog'liq bo'lgani sababli (4.2-rasmga) qo'zg'atish tokini o'zgartirish yo'li bilan generatorning chiqish klemmalaridagi kuchlanishni boshqarish mumkin.



4.1-rasm. Ko'ndalang maydonli EMK sxemasi

Demak, qoʻzgʻatish chulgʻamining zanjiridagi kichik quvvat bilan yakor zanjiridagi katta quvvatni boshqarish mumkin.

Lekin mustaqil qoʻzgʻatishli generator prinsipida yasalgan EMK lar keng koʻlamda ishlatilmaydi, chunki ular quvvat boʻyicha etarli darajada katta kuchaytirish koeffitsientini xosil qila olmaydi ($80 \div 100$ dan oshmaydi).

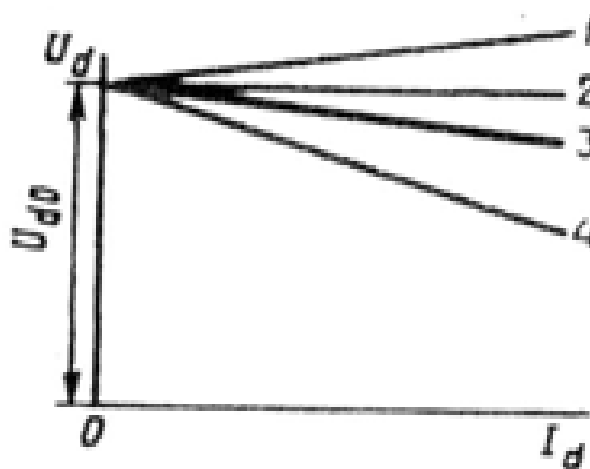
Kuchaytirgichdan chiqishdagi quvvatning kuchaytirgichga kirish oldidagi quvvatga nisbati kuchaytirish koeffitsienti deyiladi.

Avtomatikada koʻndalang maydonli elektr-mashinaviy kuchaytirgichlar eng koʻp ishlatiladi.

Odatdagi oʻzgaras tok generatoridan farq qilib, koʻndalang maydonli elektr-mashinaviy kuchaytirgichda yakor chulgʻamidagi tok xosil qiladigan magnit oqim —yakor reaksiyasining koʻndalang oqimi asosiy ishchi oqim hisoblanadi.

EMK kollektorida ikkita choʻtkalar komplekti oʻrnatilgan. Choʻtkalarning bir komplekti q_1q_2 (4.1-rasm) asosiy qutblarning koʻndalang oʻqi boʻylab, yaʼni geometrik neytralda joylashgan; choʻtkalarning ikkinchi komplekti d_1d_2 asosiy qutblarning boʻylama oʻqi boʻylab joylashgan. q_1q_2 choʻtkalar qisqa tutashtirilgan, d_1d_2 choʻtkalarga esa EMK ning ish zanjiriga ulangan.

Kuchaytirgichda yakor chulgʻamidan tashqari, bitta yoki bir nechta boshqarish chulgʻamlari (b_1, b_2), kompensatsion chulgʻam K va qoʻshimcha qutblar chulgʻami QQ boʻladi. Kuchaytirgich yakori elektr dvigatel vositasida aylantiriladi.



4.2-rasm. Elektromashina kuchaytirgichning tashqi xarakteristikasi

Agar boshqarish chulgʻamlaridan biriga U_b kuchlanish berilsa, u holda bu chulgʻamda boshqarish toki i_b paydo boʻladi, bu tok boshqarish chulgʻaming magnitlovchi kuchi:

$$F_b = i_b \cdot w_b \quad (4.1)$$

ni xosil qiladi. Bu kuch, oʻz navbatida, magnit oqimi F_b , ni vujudga keltiradi va bu oqim taʼsirida q_1q_2 choʻtkalar zanjirida EYK E_q paydo boʻladi. Bu EYK unchalik katta emas, lekin q_1q_2 choʻtkalar qisqa tutashtirilganligi sababli EYK E_q ancha katta tok I_q hosil qiladi. Yakor chulgʻamidagi tok I_q magnitlovchi kuch F_q va asosiy qutblarning koʻndalang oʻqi, yaʼni geometrik neytral boʻylab yoʻnalgan va fazoda qoʻzgʻalmas boʻlgan magnit oqimi F_q ni hosil qiladi. Qoʻzgʻalmas oqim F_q da aylanayotgan yakor chulgʻamida EYK E_d hosil boʻladi, bu EYK boʻylama choʻtkalar d_1d_2 dan olinadi.

Yuklama R_{yuk} , EMK ning chiqish klemmlariga ulanganda EYK E_q choʻtkalar d_1d_2 zanjirida ishchi tok I_d ni hosil qiladi.

Shunday qilib, boshqarish chulgʻaming kichikroq quvvati ikki bosqichda kuchaytiriladi: dastlab bu quvvat „boshqarish zanjiri-koʻndalang zanjir“ bosqichida, soʻngra esa „koʻndalang zanjir -boʻylama (ishchi) zanjir“ bosqichida kuchaytiriladi.

Quvvatning har qaysi bosqichda kuchaytirilishi *kuchaytirish koeffitsienti* bilan xarakgerlanadi.

“Boshqarish zanjiri - koʻndalang zanjir“ bosqichida kuchaytirish koeffitsienti koʻndalang zanjirdagi quvvat $P_q = E_q I_q$ ning boshqarish quvvati $R_b = U_b I_b$ ga nisbati bilan aniqlanadi:

$$K_{k_1} = \frac{P_q}{P_b} \quad (4.2)$$

“Koʻndalang zanjir - boʻylama (ishchi) zanjir“ bosqichida ham kuchaytirish koeffitsienti shu zanjirlardagi quvvatlarning nisbati bilan aniqlanadi:

$$K_{k_2} = \frac{P_d}{P_q} \quad (4.3)$$

bunda $P_d = U_d I_d$ - kuchaytirgichning ish zanjiridagi, yaʼni d_1d_2 choʻtkalar zanjiridagi quvvat.

EMK ning umumiy kuchaytirish koeffitsienti kuchaytirish

koefitsientlarining ko'paytmasiga teng:

$$K = K_{k_1} \cdot K_{k_2} = \frac{P_q}{P_b} \cdot \frac{P_d}{P_q} = \frac{P_d}{P_b} \quad (4.4)$$

EMK ning kuchaytirish koefitsienti $2000 \div 20000$ gacha yetishi mumkin. Shuni esda saqlash kerakki, EMK ning chiqish klemmlaridagi quvvat (P_d) yuritma elektrodvigatelning o'zgartirilgan mexanikaviy quvvatidir. Lekin bu quvvat kattaligi (20 kW va o'ndan ortiq bo'lishi mumkin) boshqarish zanjirining odatda $0,1 \div 1,0 \text{ W}$ ga teng kichik boshqarish quvvati yordamida boshqariladi.

Kuchaytirgichda bir necha boshqarish chulg'aming borligi EMK dan olinadigan quvvatni to'g'ri va teskari aloqalardan foydalanib, bir vaqtning o'zida bir necha signallar bilan boshqarishga imkon beradi.

Yuqorida aytib o'tilganidek, EMK da qo'shimcha qutblar chulg'ami va kompensatsion chulg'am K bo'ladi.

Qo'shimcha qutblar chulg'ami bo'ylama cho'tkalar $d_1 d_2$ da kommutatsiyani yaxshilashga xizmat qiladi.

Kompensatsion chulg'amga kelsak, u reaksiyaniig bo'ylama o'q bo'yicha magnitsizlovchi ta'sirini yuqotishga mo'ljallangan.

Gap shundaki, EMK ning ish zanjiridagi tok (yuklama toki) I_d yakorning bo'ylama o'q bo'yicha magnitlovchi kuchi F_d ni xosil qiladi, bu kuch boshqarish chulg'aming magnitlovchi kuchi F_b ga qarshi yo'nalgan. Bu kuch magnitlovchi F_d kuchdan ancha kam. Shuning uchun xatto kuchaytirgich yuklamasi kichik bo'lganda ham yakor reaksiyasining bo'ylama o'q bo'yicha magnitsizlovchi ta'siri shu qadar kuchli bo'ladiki, bunda kuchaytirgich magnitsizlanadi va uning chiqish klemmlaridagi kuchlanish nolga tushadi.

Bu nomaqbul hodisa ro'y bermasligi uchun EMK statorida yakorning ish zanjiriga ketma-ket ulangan kompensatsion chulg'am joylashgiriladi. Ish zanjirida tok I_d paydo bo'lishi bilan kompensatsion chulg'amda magnitlovchi kuch R_k vujudga keladi; bu kuch bo'ylama o'q bo'yicha yakor reaksiyasining magnitlovchi kuchi F_d ga qarshi yo'naladi. Shu yo'l bilan yakor reaksiyasining bo'ylama o'q bo'yicha magnitsizlovchi ta'siri yuqotiladi (kompensatsiya qilinadi). To'liq

kompensatsiya qilish uchun magnitlovchi kuchlar F_d va F_K o‘zaro mutlaqo teng bo‘lishi kerak, chunki xatto ozgina chala kompensatsiya bo‘lsa ($F_K < F_d$) yoki o‘ta kompensatsiyalanib ketsa ($F_K > F_d$), bu hol magnit oqimi Φ_b ga, binobarin, EMK ning xossalriga ancha katta ta’sir ko‘rsatadi. Kompensatsiya protsentning o‘ndan bir ulushi qadar aniqlikda rostlangan bo‘lishi kerak. Lekin kompensatsion chulg‘amni amalda bunday aniqlik bilan hisoblab bo‘lmaydi.

Shuning uchun magnitlovchi kuch F_K kattaligi EMK ni sozlashda kompensatsion chulg‘amga parallel ulangan reostat r_k vositasida uzil-kesil rostlanadi.

Avtomatik boshqarish va rostlash sxemalarida EMU seriyadagi elektrmashinaviy kuchaytirgichlar keng ko‘lamda ishlatiladi. Bu seriyadagi kuchaytirgichlar elektrodvigatel bilan bir korpusda bo‘ladi yoki aloxida mashina tayyorlanib, so‘ngra elektrodvigatel bilan birga umumiy ramaga o‘rnatiladi. EMU 12-II tipidagi elektrmashinaviy kuchaytirgich konstruksiyasini ko‘rib chiqamiz, bu kuchaytirgich o‘zgaras tok elektrodvigateli bilan birga qurilgan agregatdir. EMU ning yakori odatdagi konstruksiyada oddiy kalava chulg‘amli qilib yasalgan. Elektrmashinaviy kuchaytirgichdagi barcha chulg‘amlar uchlari chiqish qutillaridagi klemmalarga ulanadi.

EMU 12 - II tipidagi kuchaytirgichda parallel qo‘zg‘atishli o‘zgaras tok elektrodvigateli ishlatilgan. Lekin boshqa tipdagi, masalan EMU 12-A tipidagi kuchaytirgichlarda uch fazali asinxron dvigatellar ishlatiladi.

EMK ning ish xossalari ko‘p jixatdan uning $n = const$ va $i_b = const$ dagi tashqi xarakteristikasi $U_d = f(I_d)$ bilan aniqlanadi.

Kuchaytirgichdan chiqishdagi kuchlanish U_d yuklama toki I_d ga bog‘liq xolda quyidagi ifodadan aniqlanadi:

$$U_d = E_d - I_d \sum r_d \quad (4.5)$$

bunda $\sum r_d$ yakorning bo‘ylama zanjiridagi elektr qarshiliklar yig‘indisi (Om); bunga yakor chulg‘amining qarshiligi, qo‘shimcha qutblar chulg‘amining qarshiligi r_q , kompensatsion chulg‘am qarshiligi r_k va cho‘tkalar kontaktining qarshiligi r_r kiradi.

Kuchaytirgichning magnit zanjiri to‘yinmaganligi sababli kuchlanish U_d yuklama toki I_d ning chiziqli funksiyasi bo‘ladi, ya’ni EMK ning tashqi xarakteristikasi amalda to‘g‘ri chiziq bo‘ladi (4.2- rasm).

Tashqi xarakteristikaning absissalar o‘qiga qiyalanish burchagi (xarakteristikaning qattikligi) yakor reaksiyasining kompensatsiyalanish darajasiga bog‘liq bo‘ladi. To‘liq *kompensatsiyalanganda* kompensatsion chulg‘amning magnitlovchi kuchi F_K yakor reaksiyasining bo‘ylama o‘q bo‘yicha magnitlovchi kuchi F_d ga teng. Bu xolda tashqi xarakteristika ancha qattiq bo‘ladi (3-egri chiziq), chunki yuklama toki I_d oshganda kuchlanish U_d ning kamayishi faqat yakor zanjirida bo‘ylama o‘q bo‘yicha kuchlanish tushishi $I_d \Sigma r_d$ ning ko‘payishi xisobiga sodir bo‘ladi.

Chala kompensatsiyalanganda $F_K < F_d$ tashqi xarakteristika uncha qattiq bo‘lmaydi (4-egri chiziq). Bunga sabab, chala kompensatsiyalanganda magnitlovchi kuch F_d tok I_d ning ortishi bilan ko‘payib, boshqarish chulg‘amining magnit oqimini ancha susaytiradi, natijada EMK da chiqishdagi kuchlanish sezilarli darajada kamayadi.

Agar kuchaytirgichda *ozroq o‘ta kompensatsiyalanish* bo‘lsa, ($F_K > F_d$), ya’ni magnitlovchi kuch F_k faqat bo‘ylama o‘qdagi yakor reaksiyasi (F_d) ni emas, balki kuchlanish tushishini ham to‘liq kompensatsiyalasa, kuchaytirgichning tashqi xarakteristikasi mutlaqo qattiq bo‘lib qoladi va absissalar o‘qiga parallel joylashadi (2 - egri chiziq).

Bu xolda yuklama har qanday o‘zgarganda ham EMK ning chiqish klemmlaridagi kuchlanish o‘zgarmasdan qoladi.

O‘ta kompensatsiyalanish ancha ko‘p bo‘lganda tashqi xarakteristika ko‘tariluvchi ko‘rinishda bo‘ladi (1-egri chiziq), chunki magnitlovchi kuch F_k F_d ni kompensatsiyalabgina qolmay, balki qo‘shimcha bo‘ylama oqim xam xosil qiladi; bu oqim boshqarish magnit oqimiga qo‘shilib, EYK E_d ni oshiradi.

O‘ta kompensatsiyalanishda kuchaytirgich turg‘un ishlamaydi, chunki EMK ning o‘z-o‘zidan qo‘zg‘atish xavfi tug‘iladi, bunda kuchaytirgichning chiqish klemmlarida kuchlanishning ortishi yuklama tokini ko‘paytiradi, natijada

kuchlanish yana ortadi va xokazo, ya'ni yuklama tokining cheksiz ko'paya borish hodisasi ro'y beradi.

Odatda kuchaytirgich salgina chalaroq kompensatsiyalashga mo'ljallanib, ya'ni tok I_d nominal qiymatidan nolgacha kamayganida kuchlanish U_d $12 \div 20\%$ ko'payadigan qilib sozlanadi.

Odatdagi o'zgaras tok generatoridan farq qilib, ko'ndalang maydonli EMK da inertlik juda kam bo'ladi, ya'ni u boshqarish chulg'amida kuchlanishning har kanday o'zgarishidan tez ta'sirlanadi.

Elektr zanjirning o'tish jarayonining tezligini xarakterlovchi vaqt doymiysi τ shu zanjirning induktivligi L ga to'g'ri mutonasib va uning aktiv qarshiligi R ga teskari mutonasib bo'ladi:

$$\tau = \frac{L}{R}$$

Shuning uchun EMK ning tez ishlash xususiyatini oshirish maqsadida uning boshqarish chulg'ami induktivligi kam va aktiv qarshiligi katta qilib ishlanadi. Buning uchun chulg'amning bir qismi bifilyar (qo'sh sim) usulda o'raladi.

Ko'ndalang cho'tkalar q_1q_2 zanjirida yakor chulg'ami induktivligining kam bo'lishi xam EMK ning tez ishlashini oshirishga yordam beradi.

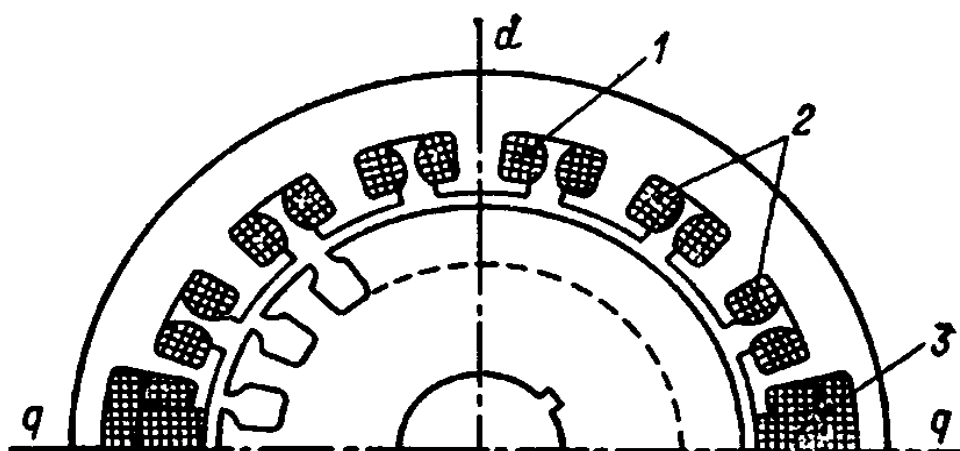
Avtomatik boshqarish sxemalarida EMKning ishlatilishiga doyrir ba'zi misollarni ko'rib chiqamiz.

Mustaqil qo'zg'atishli generatorda kuchlanishni EMK vositasida avtomatik rostlash sxemasini ko'rib chiqamiz.

EMK da ikkita boshqarish chulg'ami bor, bitta chulg'am akkumulyator batareyasiga ulangan va o'zgaras MYK F_1 ni hosil qiladi, ikkinchi chulg'am esa boshqariladigan generator kuchlanishiga ulangan va MYK F_1 ga qarshi yo'nalgan MYK F_2 ni hosil qiladi. Shunday qilib, boshqarishning umumiy MYKsi $F_b = F_1 - F_2$ ga teng.

Generatorning kuchlanishi kamayganida MYK F_2 kamayadi, umumiy MYK F_b esa ko'payadi, natijada generatorniig qo'zg'atish toki ortib, generatorning kuchlanishi belgilangan qiymatga etadi.

EMK dan o'zgarmas tok dvigatelining aylanish tezligini avtomatik ravishda stabillash uchun ham foydalanish mumkin. Shu maqsadda EMK dvigatelning qo'zg'atish chulg'ami bilan ketma-ket ulanadi.

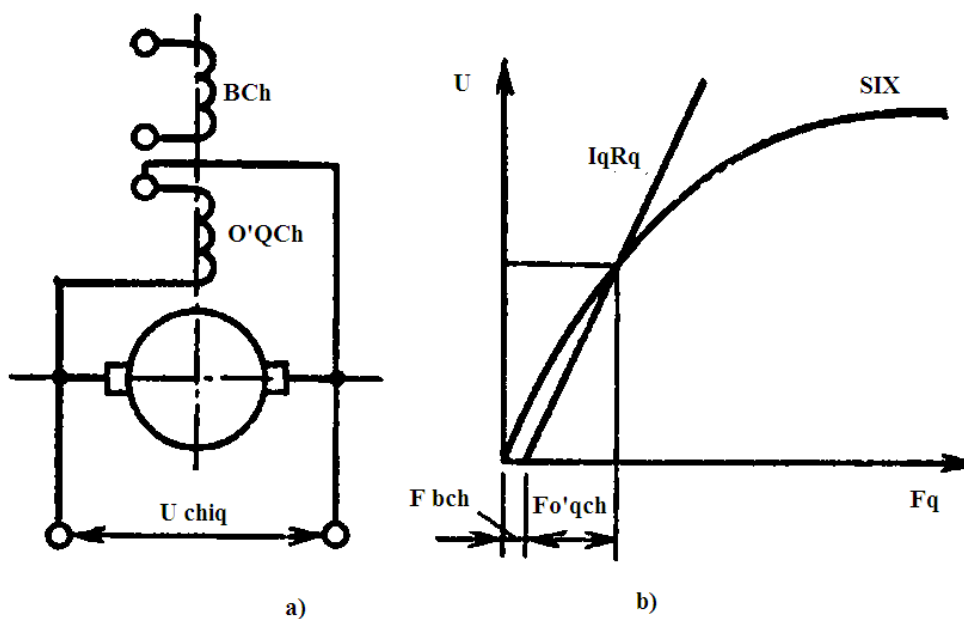


4.3-rasm. Ko'ndalang maydonli EMK ning konstruksiyasi.
1- qo'shimcha qutb chulg'ami, 2-kompensatsion chulg'am, 3-boshqarish chulg'ami

Boshqarish chulg'amlaridan biri o'zgarmas kuchlanishli tarmoqqa ulanadi va $F_1 = \text{const}$ MYK hosil qiladi, ikkinchi chulg'am esa taxogeneratorga TG ulanadi, TG ning chiqish klemmasida kuchlanish dvigatelning aylanish tezligiga proporsional bo'ladi. Shunday qilib, shu boshqarish chulg'aming MYK si F_2 dvigatelning aylanish tezligiga bog'liq bo'ladi. Dvigatelning aylanish tezligi barqaror bo'lganda MYK lar farqi quyidagicha bo'ladi:

$$F_b = F_1 - F_2$$

Agar dvigatelning aylanish tezligi oshsa, u holda boshqarishning rostlash chulg'amida ham MYK F_2 ko'payadi, umumiy MYK F_b esa kamayadi. Bu esa kuchaytirgichning $d_1 d_2$ cho'tkalaridagi kuchlanishni kamaytiradi. EMK dvigatel qo'zg'atish chulg'aming kuchlanishiga qarshi ulanganligi sababli $d_1 d_2$ cho'tkalarda kuchlanishning pasayishi dvigatel qo'zg'atish tokining ortishiga sabab bo'ladi. Natijada dvigatelning aylanish tezligi belgilangan qiymatgacha kamayadi. Agar dvigatelning tezligi kamaysa, sistemada jarayonlar teskari yo'nalishda kechadi va aylanish tezligi yana tiklanadi. Shu usulda dvigatelning aylanish tezligini etarli darajada aniqlik bilan rostlash mumkin.



4.4-rasm. Bo'ylama maydonli EMK sxemasi va xarakteristikasi

4.3. O'zgarmas tok taxogeneratorlari

O'zgarmas tok taxogeneratorlari chiqish klemmlaridagi kuchlanish kattaligiga qarab aylanish tezligini o'lchash uchun, shuningdek, avtomatik nazorat qilish va rostdash sxemalarida valning aylanish tezligiga proporsional bo'lgan elektr signallari olish uchun xizmat qiladi.

O'zgarmas tok taxogeneratorlari elektromagnit mustaqil qo'zg'atishli yoki doimiy magnitlar bilan qo'zg'atadigan kam quvvatli generatorlardir (4.5- rasm).

Qo'zg'atish toki o'zgarmas $I_q = \text{const}$ bo'lganda magnit oqimi Φ amalda yuklamaga bog'liq bo'lmaganligi sababli taxogeneratorning chiqish klemmlaridagi EYK, aylannsh tezligi n ga to'g'ri proporsional bo'ladi:

$$E_{chiq} = C_e F n = C'_e n \quad (4.6)$$

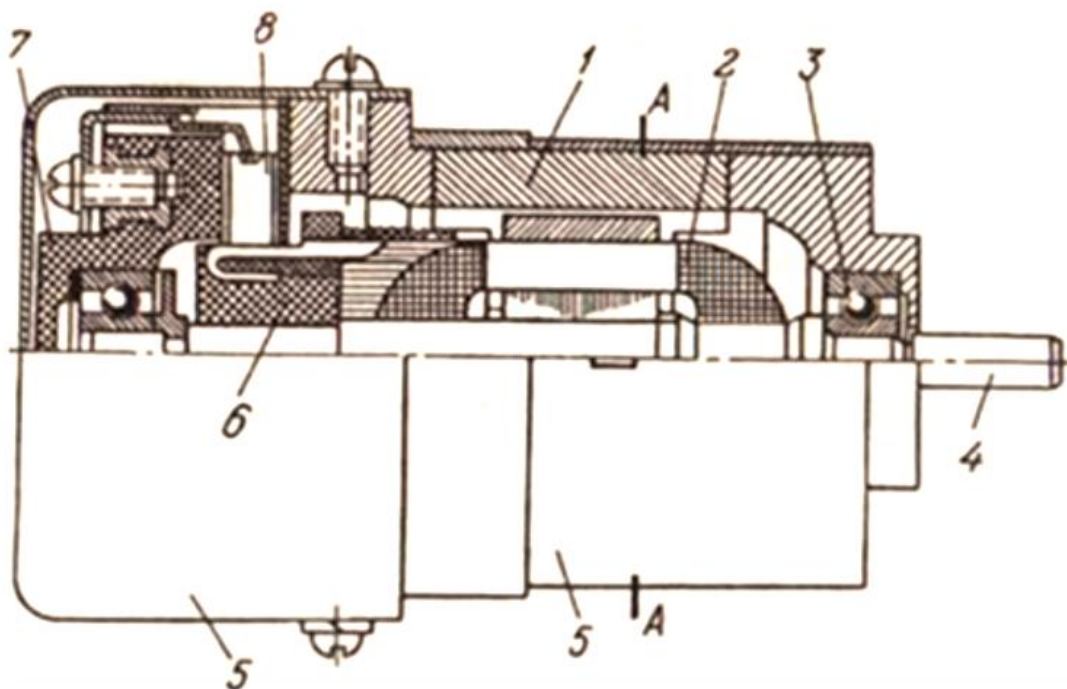
bunda

$$C'_e = C_e F n = \text{const},$$

Olingan ifoda (4.6) $\Phi = \text{const}$ bo'lgan doimiy magnitlar bilan qo'zg'atiladigan taxogenerator uchun ham to'g'ri keladi.

Aylanish tezligini taxogenerator bilan o'lchash uchun taxogeneratorning vali aylanish tezligi o'lchanadigan mexanizm valiga mexanik ravishda ulanadi.

Taxogeneratorning chiqish klemmlariga aylanish tezligining birliklarida (*ayl/minut*) darajalangan shkalali o'lchash asbobi. ulanadi.



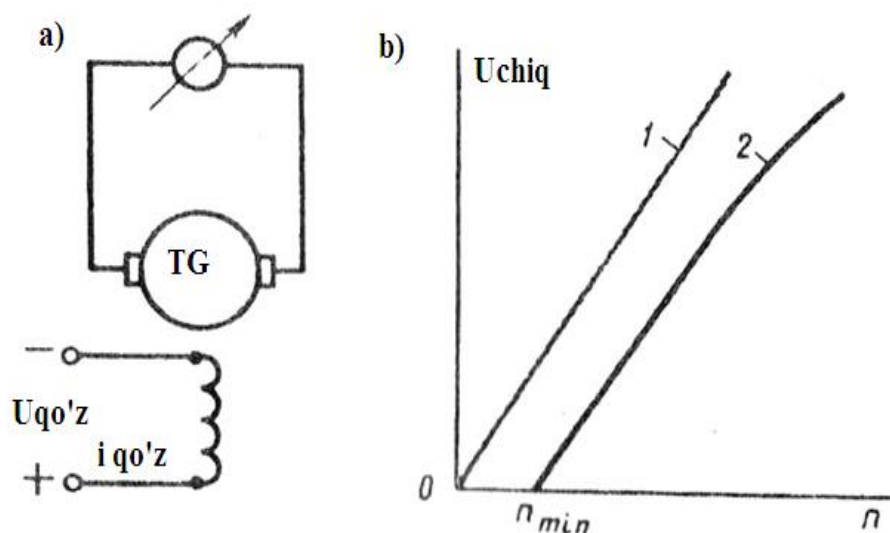
4.5- rasm. TPII-2 markali taxogeneratorning tuzilishi: 1- korpus qutblari bilan, 2- yakor, 3- podshipnik, 4- val, 5 kojux, 6 - kollektor, 7 - podshipnik shchiti, 8 - cho'tka.

O'zgarmas tok taxogeneratorida o'lchanadigan eng katta aylanish tezligi taxminan 10000 *ayl/minut* ni tashqil etadi.

Taxogeneratorning ishlash aniqligi uning *chiqish xarakteristikasi* bilan aniqlanadi; bu xarakteristika yuklama qarshiligi o'zgarmas bo'lganda chiqish klemmlaridagi kuchlanishning aylanish tezligiga bog'liqligini $U_{chiq}=f(n)$ ko'rsatadi. Taxogeneratorning eng aniq ishlashi chiqish xarakteristikasi to'g'ri chizikli bo'lgan holga to'g'ri keladi (4.6-rasm, b, 1 to'g'ri chiziq).

Lekin amalda taxogeneratorning chiqish xarakteristikasi to'g'ri chizikli bo'lmaydi (4.6 - rasm, b, 2 egri chiziq).

Chizikli bog'lanish $U_{chiq}=f(n)$ ning buzilishiga asosiy sabablar yakor reaksiyasi va cho'tkalar kontaktida kuchlanish tushishidir. Xozirgi o'zgarmas tok taxogeneratorlarida chiqish xarakteristikalarining to'g'ri chizikli holatdan og'ish unchalik katta emas va 0,5÷3% ni tashkil etadi. Ichki qarshiligi r_a katta bo'lgan o'lchov asboblarni ishlatish chiqish xarakteristikasining egri chiziqlicini kamaytiradi.



4.6-rasm. Taxogeneratorning a) prinsipial elektr sxemasi va b) chiqish xarakteristikasining tezlikga bog‘liqligi.

Taxogenerator xossalari boshqa muhim ko‘rsatkichi *chiqish xarakteristikasining tikligidir*, u chiqish kuchlanishi ortishining aylanish tezligining ortishiga nisbatidan aniqlanadi;

$$e = \frac{\Delta U_{chiq}}{\Delta n}, \quad (4.7)$$

bunda e - chiqish xarakteristikasining tikligi, $V/(ayl/minut)$, ΔU_{chiq} - chiqish kuchlanishining ortishi, V , Δn - aylanish tezligining ortishi, $ayl/minut$.

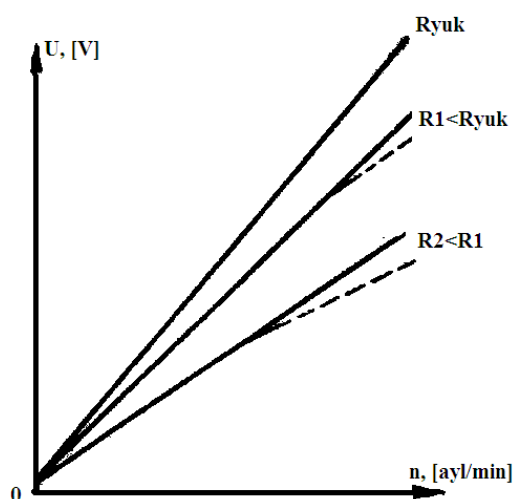
Chiqish xarakteristikasining tikligi taxogeneratorlarning ishlash jarayonida o‘zgarishi mumkin, bu ularning aniqlik darajasini kamaytiradi.

Bu hodisa, asosan, qo‘zg‘atish chulg‘amida temperatura o‘zgarishlari va cho‘tkalar kontaktidan o‘tuvchi kuchlanish tushishi ta‘sirida sodir bo‘ladi.

Temperatura ta‘sirini susaytirish uchun taxogeneratorning magnit sistemasi mustaqil qo‘zg‘atishda nihoyatda to‘yingan qilinadi. Bu holda temperaturaning o‘zgarishi tufayli qo‘zg‘atish chulg‘amining qarshiligi o‘zgarishi natijasida qo‘zg‘atish tokining kattaligi o‘zgarsa ham magnit oqimi juda kam o‘zgaradi.

Xozirgi vaqtda mamlakatimiz elektr sanoatida bir necha, ya‘ni CJL;TД;TG seriyadagi taxogeneratorlar, shu jumladan doimiy magnitlar bilan qo‘zg‘atiladigan taxogeneratorlar (TPII) ishlatiladi. Shunday taxogeneratorning konstruksiyasi 4.5-rasmda ko‘rsatilgan.

Bu taxogenerator konstruktiv jihatdan elektromagnit bilan qo'zg'atiladigan mashinadan doimiy magnitli magnet sistemaning tuzilishi bilangina farq qiladi. Shuni ta'kidlab o'tish kerakki, doimiy magnitlar ta'sirida qo'zg'atiladigan mashinalarning magnet sistemalari juda turli-tuman bo'ladi. Bunga sabab, elektromagnitlarga qaraganda doimiy magnitlarga turli xil konstruktiv shakllar berish osondir.



4.7-rasm. Taxogeneratorning yuklama qarshiligiga bog'liq tashqi xarakteristikalari

Magnitlari radial joylashgan magnet sistemali elektromagnitlarni staninaga kavsharlangan doimiy magnitlarga almashtirish yo'li bilan olingan. Bunday konstruksiya, ayniqsa ko'p qutbli mashinalarda ($2p > 2$) maqsadga muvofiqdir. $2p = 2$ da qutblar orasidagi katta bo'shliqdan foydalanilmay qoladi, elektromagnitli qo'zg'atishda esa uni qo'zg'atish chulg'ami to'ldirib turar edi. Skoba simon magnetli mashinalarda bunday kamchilik yo'q. Odatda bunday konstruksiyadan ikki qutbli mashinalarda foydalaniladi. Bunday konstruksiyaning kamchiligi - uning murakkabligidir. Ikki qutbli mashinalarda keng ko'lamda ishlatiladigan halqasimon magnetli magnet sistemaning konstruksiyasi eng oddiy bo'ladi. Qutblar oldidagi maydonchalar konstruksiyaini engillashtiradi, chunki magnetning shu qismida material amalda foydalanilmaydi.

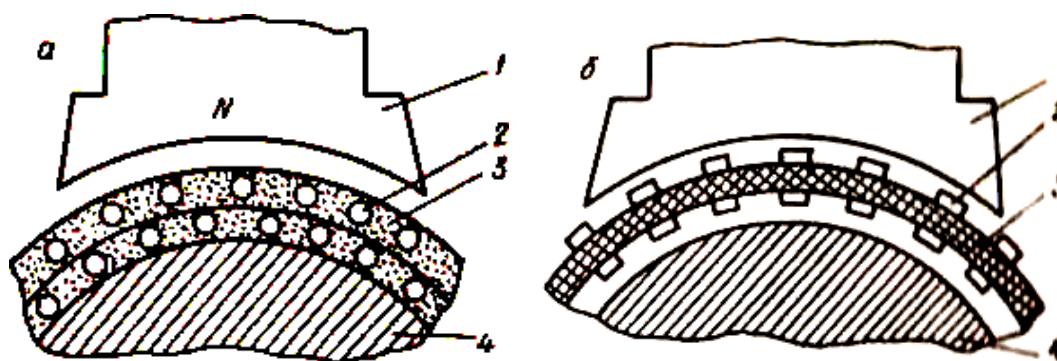
Magnet sistemasi tortsavoy magnetli mashinaning diametri eng kichik bo'ladi, lekin bunda uning uzunlgi ortadi.

Doimiy magnitlar uchun material sifatida gisterezis sirtmog'i keng bo'lgan

magnit qattiq materiallar ishlatiladi. Xozirgi vaqtda elektr mashinalarni qo‘zg‘atish uchun temir-nikel-alyuminiy asosida olinadigan qotishmalar eng ko‘p ishlatiladi, ular xossalari va tejamliligi jixatdan eng yaxshi materiallardir.

4.4. Pabsiz, yakorli o‘zgarmas tok mashinasi

Bunday mashinalarda yakor chulg‘ami yakor tanasining tekis sirtiga joylashtiriladi (4.8-rasm, *a*). Yakor chulg‘ami bir yoki ikki qavatli qilib tayyorlanadi va ustidan ferromagnit to‘ldirgichli epoksid smolasi quyiladi. Chulg‘amning har bir qavati shisha- lenta bilan tortib mahkamlanadi. Yakorda pazlarning bo‘lmasligi havo oralig‘ida magnit induksiyasini oshiradi, chulg‘amning induktivligini kamaytiradi, kommutatsiyalanayotgan bo‘lakda reaktiv EYK ni kamaytiradi, asosiy magnit oqimining pulslanishi yo‘qoladi. Mashinaning magnit zanjirida magnitmas qismining nisbatan katta bo‘lishi yakor reaksiyasining ta‘siriri kamaytiradi. Tekis yakorli dvigatellarning xarakteristikasi to‘g‘ri chiziqli va turg‘un bo‘ladi.



4.8- rasm. Pabsiz yakorli dvigatelning tuzilishi (a) va bosma yakorli dvigatel (b): 1- magnit qutbi, 2 - yakor chulg‘ami simlari, 3- izolyasiya materiali, 4- yakor po‘lat o‘zagi.

Dvigatelning inertsiya momenti kichik. Bunday dvigatellarda momentning yakor tokiga bog‘lainishi hatto mashina o‘ta yuklama bilan ishlaganda ham to‘g‘ri chiziqli bo‘ladi.

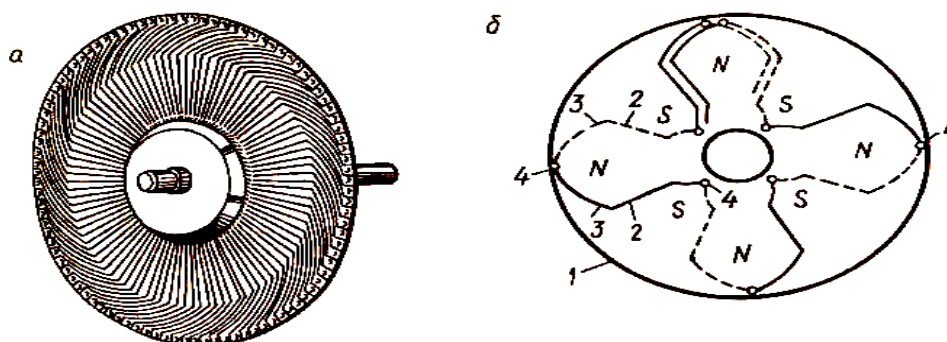
Yakor chulg‘amining o‘zak sirtiga chiqarilishi magnitmas oraliqni kattalashtiradi. Bu oraliqda lozim bo‘lgan magnit induksiyasini hosil qilish uchun ko‘zg‘atish chulg‘amining magnitlovchi kuchi katta bo‘lishi lozim. Bunda

qo'zg'atish chulg'ami ko'p joyni oladi va mashinaning og'irligi oshadi. Hozir bunday dvigatellarning quvvati bir necha kW gacha boradi.

Umuman, avtomatik boshqarish va rostdash sistemalarida elektr signallarini mexanik harakatga aylantiruvchi dvigatellar ijrochi dvigatellar deyiladi. Bosma yakorli ijrochi dvigatellarda yakorning magnit o'tkazgichi 2 qo'zg'almas, rotori izolyasion materialdan tayyorlangan, ichi bo'sh silindr 3 ko'rinishida: silindrning ichki va tashqi sirtlariga yakor chulg'amining simlari 2 yotqizilgan (4.8- rasm, *b*). Bunday dvigatelning tezligi katta, xususiyatlari - sirti tekis yakorli dvigatelnikiga o'xshash.

Bosma yakorli dvigatellarda yakor chulg'amining simlari poligrafiya sanoatida qo'llaniladigan fotokimyoviy usulda tayyorlanadi. Kollektorning tuzilishi oddiy dvigatellardagi kabi. Sovitish sharoiti yaxshi bo'lgani uchun yakor simlarida tok zichligi $30 \div 40 \text{ A/mm}^2$ gacha borishi mumkin.

Disk shaklidagi bosma yakorli dvigatellarda diskning ikkala tomoniga yakor chulg'ami bosish usulida bosiladi (4.9 - rasm). Bunday dvigatelning ishlash prinsipi silindrik yakorli dvigatelning ishlash prinsipi kabidir. Dvigatel tarmoqqa ulanganda yakor chulg'ami tokining doimiy magnitlar maydoni bilan o'zaro ta'siri natijasida yakorga aylantiruvchi moment ta'sir qiladi. Doimiy qutblar boshmog'i yakorning plastmassa diskining bir tomoniga qaratilgan. Diskning boshqa tomonida ferromagit materialdan yamalgan xalqa joylashgan, bu xalqa yakor o'zagi pazi vazifasini bajaradi. Yakor chulg'ami diskning ikki tomoniga mis folgani kislotla bilan imyoviy usulda ishlab xosil kdiinadi.



4.9 - rasm. Disk ko'rinishidagi bosma chulg'amli yakor (a) $p=8$ qutbli mashina uchun chulg'amning prinsipial sxemasi (b): 1 - disk, 2- chulg'amning aktiv tomonlari, 3 - chulg'amning tashqi tomonlari, 4- galvanik ulanishlar

Aktiv tomonlar diskdagi teshik orqali bir-biri bilan ulanadi; chulg'am bo'laklari bir o'ramli. Ba'zan ko'p diskli rotorlar xam qo'llaniladi. Bosma yakorli dvigatelda kommutatsiya vaqtida uchqun chiqmaydi, chunki chulg'am bo'laklarining induktivligi kichik; ularda reaktiv EYK xam kichik bo'ladi. Magnitmas oraliqning katta bo'lishi sababli bunday dvigatellarning FIK kichik. Bundan tashqari, cho'tkalar mis folga simlarida sirpanadi, ular tez eyiladi. natijada mashinaning ishlash muddati qisqaradi.

Bosma yakorli dvigatellarda yakor chulg'ami magnitmas materialda joylashganligi uchun (bu materialda magnit induksiyasining amplitudasi $2T$ gacha boradi) ularda katta uyurma toklar xosil bo'ladi. Ularni kamaytirish uchun maxsus choralar ko'rilishi kerak.

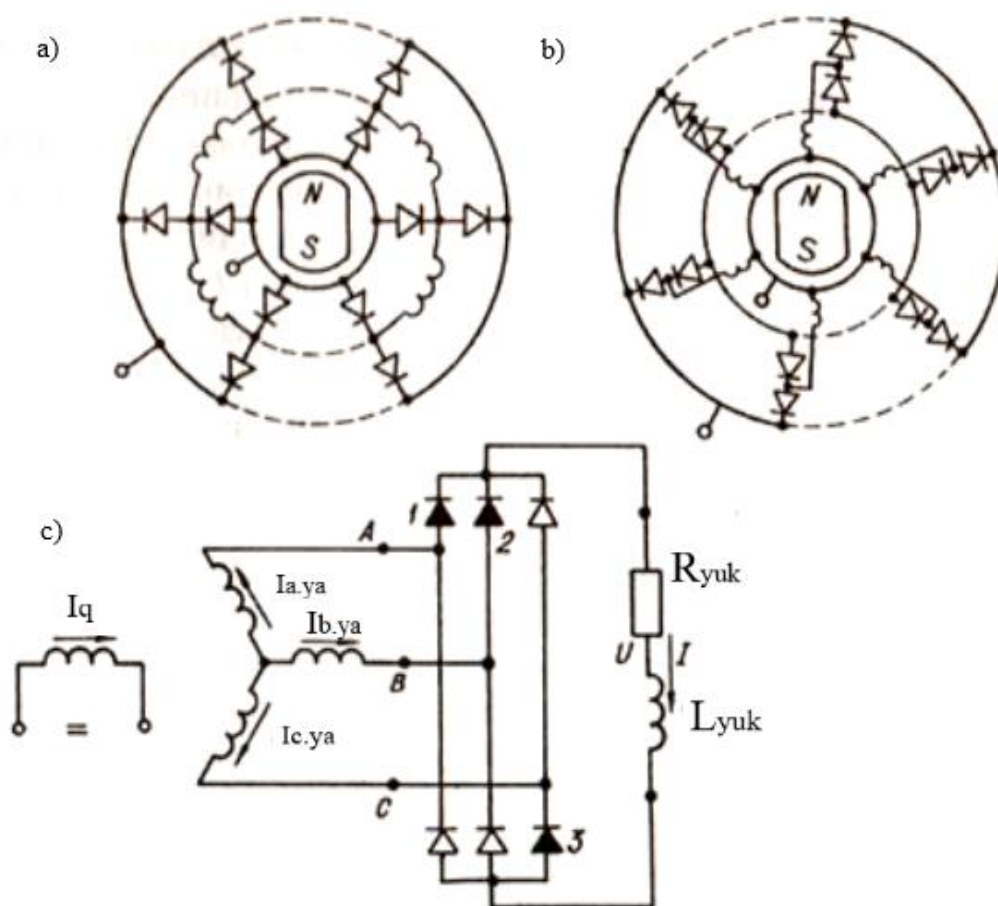
4.5. Ventilli (kontaktsiz) o'zgarmas tok mashinalari

Ventilli o'zgarmas tok mashinalari kontaktsiz sinxron mashina bilan yarim o'tkazgichli kommutatoridan tuzilgan. Ventilli mashina generator rejimida ishlaganda boshqarilmaydigan kommutatorlardan, ya'ni ko'p fazali to'g'irlagichlardan foydalaniladi. Mashina dvigatel rejimida ishlaganda unga rotor qutblarining burilish, burchagi holati datchigi yordamida boshqariladigan kommutatorlar - inverterlar ulanadi. Odatda, yarim o'tkazgichli qurilma mashina korpusi ichiga joylashtiriladi.

Ma'lumki, odatdagi O'TM larining asosiy kamchiligi – cho'tka-kollektor qurilmasining ishdagi ishonchliligining kamligidir. O'TM larining ish xossalarini yaxshilash maqsadida ularning cho'tka-kollektor qurilmasi yarim- o'tkazgichli kommutator (inverter) bilan almashtirilgan. Bu kommutator kontaktsiz rotor holati datchigidan kiradigan signallar orqali boshqariladi. Motorning ishchi chulg'ami (bir-biridan fazoda 120° siljigan va «yulduz» ulangan A, B va C chulg'amlari) stator o'zagi pazlarida joylashtirilgan, rotori esa doimiy magnitdan yasalgan (4.12-rasm).

Generator rejimi. Ventilli o'zgarmas tok generatorlari ichki yoki

tashki tomondan berk magnet o'tkazgichli va yakor chulg'ami ko'p fazali sinxron generator asosida ishlangan. Quvvati uncha katta bo'lmagan generator uning rotoriga o'rnatilgan doimiy magnitlar yoki elektromagnitlar yordamida qo'zg'atilishi mumkin. Katta quvvatli generatorlarda rotor ayon qutbli bo'lib, kontaktsiz qo'zg'atish generator validagi qo'zg'atgich va induktorning aylanuvchi to'g'irlagichlari yordamida amalga oshiriladi. Bunday generatorning yakor chulg'amlari berk (yopiq) (a) yoki ochik, (b) sxemaga ega bo'lishi mumkin (4.10 - rasm). Yakor chulg'amining tuzilishi o'zgarmas tok mashinasining yakor chulg'amiga o'xshash. Generatorlarda kommutatsiya sharoiti ancha yaxshi bo'lgani uchun mashinaning aylanish chastotasi va kuchlanish diapazoni katta. Ochiq sxemali chulg'amda ayrim fazalar (yoki bo'laklar) va ventillar ko'p qirrali yulduz usulida ulanadi. 4.5.1-rasm, c da ventilli generatorning uch fazali prinsipial sxemasi keltirilgan.



4.10 - rasm. O'zgarmas tok ventilli generator (ko'p fazali ko'prik usulida ulangan to'g'irlagichlar bilan) ning yakor chulg'ami berk (a), yakor chulg'ami ochik (b) va uch fazali (s) sxemalari

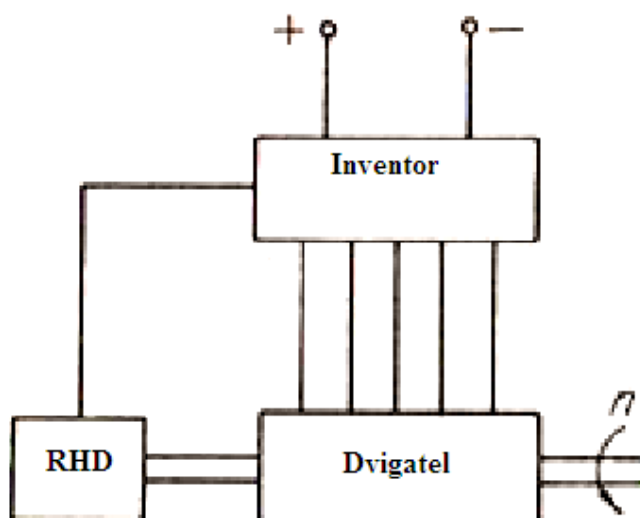
Bunday generatorning ishlash prinsipi sxemada ko'rsatilgan. Ko'prik sxemasida ulangan har bir ventildan tok davrning $1/3$ qismiga teng vaqt davomida o'tadi. Anod guruhining har bir ventili, generator chulg'aming boshqa ikkita fazasiga ulangan katod guruhining ikkita ventili bilan navbatma-navbat ishlaydi. Fazalarda EYK va tokning barobar taqsimlanishi uchun qutblar tagida magnit maydoni to'g'ri to'rtburchak shaklida tarqalgan bo'lishi lozim. Chulg'am odimi diametral odim bo'ladi.

Dvigatel rejimi. Ventilli o'zgarmas tok dvigateli sinxron mashina asosida ishlangan bo'lib, bunday dvigatel asosiy konstruktiv sxema asosida tayyorlanadi. Dvigatel doimiy magnitlar yordamida yoki ichki yoxud tashki tomondan berk magnit o'tkazgichli elektromagnitlar yordamida qo'zg'atilishi mumkin. Yakor chulg'amida fazalar soni katta bo'lmaydi ($m < 4$). Fazalar sonining ortishi dvigatelning yurgizish sharoitini, rotorning sekin-asta aylanib ketishini yaxshilaydi, lekin kommutator sxemasini murakkablashtiradi. Yakor chulg'amlari berk yoki ochiq sxemali bo'ladi. Chulg'am ochiq sxemali bo'lsa, u ma'lum afzallikka ega. Bunda kommutatorning har bir yarim o'tkazgich asbobi (tranzistor yoki tiristor) uchun yurgizish tokining qiymati t marta kichiklashadi. Invertor tranzistor yoki tiristorlardan yig'iladi. Tranzistorlar yoki tiristorlar fazalar o'qiga nisbatan rotorning burilish holati datchigidan boshqariladi. Boshqarish rotor holati datchigi signallarini to'g'ri burchakli impulsarga o'zgartiruvchi, yordamchi yarim o'tkazgichlar - kuchaytirgichlar vositasida bajariladi. Ventilli o'zgarmas tok dvigatelining struktura sxemasi 4.11 - rasmda berilgan. Bunday dvigatelda bo'ladigan jarayonlar yakori qo'zg'almas va qutblari aylanadigan o'zgarmas tok dvigatelining ish jarayonlariga o'xshashdir.

Invertorning kirish qismlariga o'zgarmas kuchlanish berilsa, rotor burilish burchagi holati datchigi kommutator elementlarining kontaktsiz ulanishini ta'minlaydi.

Kommutator elementlari shunday ulanadiki, bunda berilgan magnit qutibi zonasida yakor chulg'ami bo'laklarida tokning yo'nalishi o'zgarmaydi. Ko'p fazali ventilli o'zgarmas tok dvigatelining asosiy xarakteristikalarini o'zgarmas tok

kollektorli dvigatelining xarakteristikalariga o'xshash. Dvigatelning aylanish chastotasini o'zgaras tok dvigateliga tegishli usullar bilan o'zgartirish mumkin. Rostlovchi organ va kommutatorning funksiyalarini birlashtirish eng ratsional hisoblanadi.



4.11 - rasm. Ventilli o'zgaras tok dvigatelining struktura sxemasi: **RHD** — rotor holati datchigi.

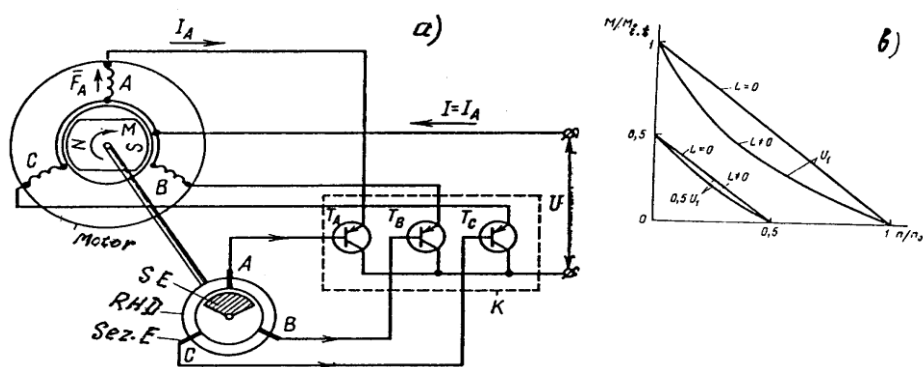
Bunda impuls usulidan foydalaniladi, ya'ni yakor zanjirini ta'minlash vaqti o'zgartiriladi. Birorta mexanizmni harakatga keltirayotgan motorning vali rotor holati datchigi (RHD) bilan mexanik ravishda birlashtirilgan bo'ladi. RHD ning rotorida signal elementi (SE), statorida esa sezgir elementi (Sez.E) o'rnatiladi. Bundan keladigan signal kommutator bloki (KB) ga kiradi. Yakor chulg'ami seksiyalarining O'T manbasiga ulanishi KB elementlari orqali amalga oshiriladi.

RHD ning vazifasi – doimiy magnet qutblarining yakor chulg'ami seksiyalariga nisbatan tutgan holatiga mos holda boshqarish signalini KB ga berishdan iboratdir. RHD ning sezgir elementi sifatida asosan Xoll EYK datchigi qo'llaniladi. Bu datchikning chiqishidagi signal zanjirdagi tokning yo'nalishi va qo'zg'atish chulg'ami magnet maydonining yo'nalishiga mutanosib ravishda o'zgaradi.

Statik kommutator RHD dan boshqarish signalini olib motorning yakor chulg'amida xuddi kollektor bilan cho'tka yakor chulg'amida hosil qiladigan toklarning o'zgarishini vujudga keltiradi.

Kommutator (K) – har fazaviy chulg'amga bittadan T_A , T_B , T_C tranzistordan iborat bo'lib, A, B, C fazaviy chulg'amlarga ketma-ket ulangan. Tranzistorlarga beriladigan boshqarish signallar Sez.E ning holatiga bog'liq ravishda ishlab chiqiladi. Tranzistorlar kalit rejimida ishlab «yopiq» yoki «ochiq» turg'un holatiga ega. *Birinchi* signal yo'q vaqtiga to'g'ri keladi, *ikkinchi* esa signal berilganda bo'ladi.

4.12 - rasmda Sez.E statorning «A» fazasiga mos kelgan holati ko'rsatilgan. Bunda T_A –ochiq, ya'ni «A» fazasidan tok I_A o'tadi, T_B va T_C lar esa yopiq bo'ladi. I_A toki rotorning doimiy magnit maydoni bilan ta'sirlashib aylantiruvchi moment M ni hosil qiladi. Natijada, rotor RHD bilan soat strelkasi bo'yicha aylana boshlaydi. Biroz vaqtdan keyin Sez.E birdaniga ikkita fazaga ta'sir eta boshlaydi, so'ngra esa «B» fazasi ishlaydi va hokazo. Kontaktsiz O'TM lari shu tarzda ishlaydi. Ularning mexanik xarakteristikalari 4.5.3, *b* - rasmda keltirilgan.



4.12-rasm. Kontaktsiz (ventilli) o'zgarmas tok motorining prinsipial sxemasi (a) va mexanik xarakteristikasi (b); *SE* – signal elementi; *RHD* – rotor holatining datchigi (darakchisi); *Sez.E* – sezgir element; *K* – yarim o'tkazgichli kommutator; *T* –tranzistor

Kontaktsiz O'TM lari odatdagi motorlarning ijobiy sifatlarini saqlagan holda, ularda cho'tka-kollektor qismining yo'qligi *ularning katta afzalligidir*. Konstruksiyasi (motor, RHD va kommutator) ning murakkabligi va narxining qimmatligi *ularning kamchiligidir*.

4.6. Ijrochi o'zgarmas tok motorlari

Ijrochi O'TM lari (4.13-rasm) elektr signallarni mexanik harakatga aylantirish uchun mo'ljallangan. Bunday motorlar kam inertsiyali, ya'ni boshqarish O'TMni tezkorlik bilan mexanik harakatga oshiradigan bo'lishi lozim. Odatdagi konstruksiyali O'TMlarida yakor o'zagining mavjudligi yakorning inersiya momentini ancha orttiradi. SHu sababli ijrochi O'TMlar pazziz yakorli va yakori bosma chulg'amli qilib tayyorlanadi.

Umumiy maqsadli O'TMlariga qo'yiladigan talablardan tashqari ijrochi O'TMlariga boshqarish signalining uzilishi bilan o'z harakatini darhol to'xtatishi va inersiyasining kamligi kabi maxsus talablar qo'yiladi.

Elektromagnit qo'zg'atishli ijrochi O'TM larining ikkita chulg'ami bo'lib, ulardan bittasi elektr tarmog'iga doimiy ulanib, uni *qo'zg'atish chulg'ami* deyiladi. Valning aylanishi zarur bo'lgan holda ikkinchi chulg'amga, ya'ni *boshqarish chulg'amiga* elektr signali beriladi.

Ijrochi O'TMlarining konstruksiyasi umumiy maqsadli O'TM larinikidan *quyidagilar bilan farq qiladi*, ya'ni ularning yakori, staninasi va qutblari yuqqa elektrotexnik po'lat tunukalaridan yig'ilgan bo'ladi, chunki bunday motorlarning ishi ko'pchilik hollarda o'tish jarayonlar bilan bog'liq bo'ladi. Ijrochi motorlarning magnit zanjiri to'yinmagan bo'ladi, shu sababli uning ish xarakteristikalariga yakor reaksiyasi deyarli ta'sir qilmaydi.

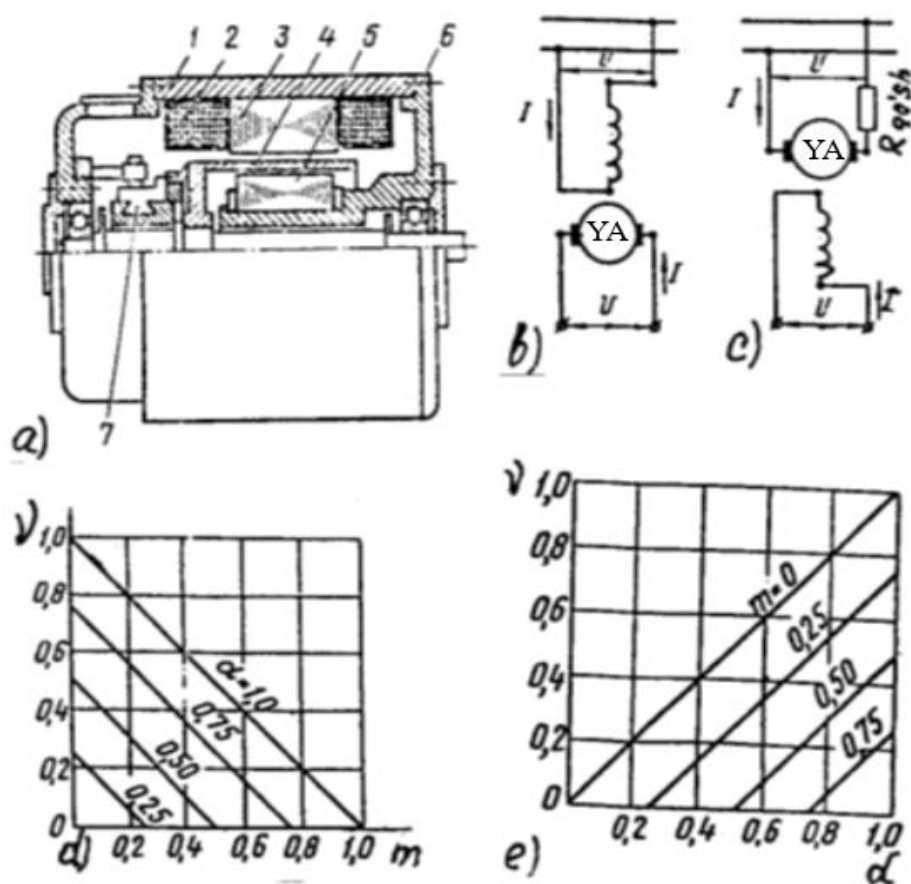
Mustaqil qo'zg'atishli ijrochi motorlarning ikkita usul bilan, ya'ni yakordan va qutbdan boshqarish mumkin. Xarakteristikalari chiziqli bo'lganligi va elektr signali uzilganda yakor tezkorlik bilan to'xtash qobiliyatiga egaligi kabi afzalliklari mavjudligidan *yakordan boshqariladigan* ijrochi O'TM lari (4.13, b-rasm) amalda keng qo'llaniladi.

Bularda qo'zg'atish chulg'ami motorning butun ish jarayonida elektr tarmog'iga ulangan bo'ladi. Yakor chulg'ami esa *boshqarish chulg'ami* deyiladi. Bu chulg'amga boshqarish signalini berganda yakor chulg'amidan o'tadigan tok

qo'zg'atish chulg'ami magnit maydoni bilan ta'sirlashib, aylantiruvchi moment hosil qilishi natijasida yakor aylanadi.

Ijrochi motor inersiyasini kamaytirish maqsadida quyma ferromagnit o'zak *ichki stator* deb nomlanadigan qo'zg'almas qismda joylashgan bo'lib, yakor chulg'ami esa silindrik karkasga plastmassa bilan quyib mahkamlanadi. Demak, yakor chulg'ami o'tkazgichlari plastmassa bilan mahkamlangan silindrsimon kavak idishdan iborat bo'lar ekan.

Ichi kavak yakorning inersiya momenti odatdagi yakornikidan ancha kamligi tufayli motorning *yaxshi tezkorlikka egaligi uning afzalligi* bo'lsa, qo'zg'atish chulg'ami joylashgan o'zak (tashqi stator) va qo'zg'almas ferromagnit o'zak (ichki stator) orasida *katta nomagnit oraliqqa egaligi* magnit qarshilikni oshirib zaruriy maydon hosil qilish uchun qo'zg'atish MYK ni ancha oshirish talab etilishi (demak, motor gabaritining nisbatan oshishi) esa *ularning kamchiligidir*.



4.13-rasm. Ijrochi o'zgarmas tok motorining umumiy ko'rinishi (a) (bunda: 1 – korpus; 2 – qo'zg'atish chulg'ami; 3 – qutb; 4 – ichi kavak yakor; 5 – ferromagnit o'zak; 6 – podshipnikli qalqon; 7 – kollektor); yakordan (b) va qutbdan (c) boshqariladigan; yakordan boshqariladigan ijrochi motorning mexanik (d) va rostlash (e) xarakteristikalari

Bunday motorlarning FIK taxminan odatdagi konstruksiyali O‘TM lari singari bo‘ladi, asosiy maydoni doimiy magnit qo‘llab hosil qilinadigan motorlarda esa FIK yana ham yuqori bo‘ladi.

4.7. Bir yakorli o‘zgartkichlar

Bir yakorli o‘zgartkichda elektr dvigatel bilan generator bitta mashina holida qo‘shilgan: unda umumiy yakor (rotor) va umumiy qo‘zg‘atish chulg‘ami bo‘ladi. *O‘zgarvas-o‘zgaruvchan* tok bir yakorli o‘zgartkichning ishlashini ko‘rib chiqamiz.

Bu o‘zgartkich yakorining chulg‘ami yakorning bir tomonidan kollektorga, ikkinchi tomonidan esa kontakt halqalarga ulanadi (4.14- rasm). Kontakt halqalar soni o‘zgaruvchan tok tarmog‘idan o‘zgartkichga ulanadigan liniya simlariinig soni bilan belgilanadi: bir fazali tokda ikkita halqa, uch fazalida -uchta, olti fazada oltita va hokazo bo‘ladi. O‘zgartkich statorida qo‘zg‘atish chulg‘amli asosiy qutblar bo‘ladi. Bir yakorli o‘zgartkich ishlaganida o‘zgaruvchan tokni o‘zgarvas tokka aylantirish uchun o‘zgaruvchan tok tarmog‘idan kontakt halqalarga kuchlanish beriladi. O‘zgaruvchan tok yakor chulg‘amida aylanuvchan magnit maydon hosil qiladi. Natijada o‘zgartkich yakori aylana boshlaydi. Shunday qilib, bir yakorli o‘zgartkich o‘zgaruvchan tok tarmog‘i tomondan sinxron elektrodvigelat sifatida ishlaydi. Shu bilan bir vaqtda yakor chulg‘amida EYK vujudga keladi va u kollektor hamda cho‘tkalar tufayli o‘zgartkichning chiqish klemmlarida o‘zgarvas kuchlanish hosil qiladi. Demak, o‘zgartkich kollektor tomondan parallel qo‘zg‘atishli o‘zgarvas tok generatori rejimida ishlaydi. O‘zgarvas va o‘zgaruvchan tok zanjirlari orasida elektr bog‘lanish borligi sababli o‘zgarvas tok kuchlanishi $U_{o'zgarvas}$ ning qiymati o‘zgaruvchan tok kuchlanishi $U_{o'zgaruv}$ bilan muayyan nisbatda bo‘ladi; bu nisbat quyidagi ifodadan aiiqlanadi:

$$U_{o'zgaruv} = \frac{\sin \frac{\pi}{m}}{\sqrt{2}} E_{o'zgarvas} \quad (4.8)$$

bunda $U_{o'zgaruv.}$ - O'zgaruvchan tokning faza kuchlanishi;

$E_{o'zgarmas.}$ - o'zgarmas tokning EYK si;

m - o'zgartkichdagi kontakt halqalar soni.

Bir fazali o'zgartkich uchun ($m=2$) $U_{o'zgaruv.} = 0,707 E_{o'zgarm.}$

Uch fazali o'zgartkich uchun ($m=3$) $U_{o'zgaruv.} = 0,613 E_{o'zgarm.}$

Olti fazali o'zgartkich uchun ($m=6$) $U_{o'zgaruv.} = 0,354 E_{o'zgarm.}$

Bir yakorli o'zgartkichda toklar nisbati

$$I_{o'garuv.} = \frac{2\sqrt{2}}{m} I_{o'zgarmas.}$$

bunda $I_{o'zgaruv.}$ - o'zgaruvchan tokning (liniya tokining) qiymati; $I_{o'zgarmas.}$ - o'zgarmas tokning qiymati.

Masala: 460 V kuchlanishda 600 A o'zgarmas tok olish uchun olti fazali bir yakorli o'zgartkichning halqalariga qanday o'zgaruvchan kuchlanish va tok berilishi kerakligini aniklang,

Echilishi: $U_{o'zgaruv.} = 0,354 \cdot E_{o'zgarmas.} = 0,354 \cdot 460 = 163 \text{ V}$

$$I_{o'garuv.} = \frac{2\sqrt{2}}{m} I_{o'zgarmas.} = I_{o'garuv.} = \frac{2\sqrt{2}}{6} 600 = 282 \text{ A}$$

Bir yakorli o'zgartkichda o'zgarmas tok tomoni o'zgaruvchan tok tomoni bilan elektr jihatdan bog'langan, shuning uchun ham o'zgartkichdan chiqshdagi kuchlanishni rostdash uchun unga kirishdagi kuchlanishni o'zgartirish lozim. Bu ish o'zgaruvchan tok tarmog'i bilan o'zgartkichning halqalari orasiga ulangan avtotransformator, induksion regulyator yoki reaktiv g'altaklar yordamida amalga oshiriladi.

Kuchlanishni reaktiv g'altaklar bilan rostdash usulini batafsilroq ko'rib chiqamiz. Bu holda halqalar bilan tarmoq orasiga reaktiv g'altaklar L ulanadi (4.15-rasm, a). Rostlash reostati r_{rs} vositasida O'zgartkichning qo'zg'atish toki o'zgartiriladi. Bunda agar o'zgartkich o'ta qo'zg'alib ketsa, yakor zanjirida faza jihatdan kuchlanish U_T dan orqada qoladigan induktiv tok I vujudga keladi, agar o'zgartkich chala qo'zg'atilgan bo'lsa, u holda yakor zanjirida faza jihatdan

kuchlanish U_T dan oldin ketadigan sig'imi tok I paydo bo'ladi.

O'zgartkich chala qo'zg'atilgan va yakor zanjiridagi tok induktiv bo'lgan holni ko'rib chiqamiz. Bunda reaktiv g'altaklarda tok I dan faza jihatdan 90° ga orqada qoluvchi EYK E_L hosil bo'ladi. Bu holda o'zgartkich halqalaridagi kuchlanish

$$U_{o'zgaruv.} = U_T + E_L$$

bunda U_T - tarmoq kuchlanishi;

E_L - reaktiv g'altakning EYK si.

Vektor diagrammadan ko'rib, o'zgartkich chala qo'zg'atilganda, EYK E_L faza jihatdan tok I dan orqada qolganda halqalardagi kuchlanish $U_{o'zgaruv.}$, binobarin, o'zgarimas tok tomondagi kuchlanish ham kamayishini ko'ramiz.

O'zgartkich o'ta qo'zg'atilganda tok I faza jihatdan kuchlanish U_T dan oldin ketadi (4.15- rasm.). Bu holda o'zgartkichga kirishdagi kuchlanish ko'payadi. Bu usul o'zgartkichdan chiqishdagi kuchlanishni $\pm 10\%$ atrofida rostdashga imkon beradi. Bunday cheklanish yakor chulg'aming undagi katta toklar tufayli qizib ketishi bilan bog'liq.

Bir yakorli o'zgartkichdan o'zgarimas tokni o'zgaruvchan tokka aylantirishda ham foydalanish mumkin. Dvigatel-generatorga nisbatan bir yakorli o'zgartkichning gabaritlari kichik va foydali ish ko'effitsienti ancha yuqori bo'ladi.

Bir yakorli o'zgartkichni quyidagi usullar bilan ishga tushirish mumkin.

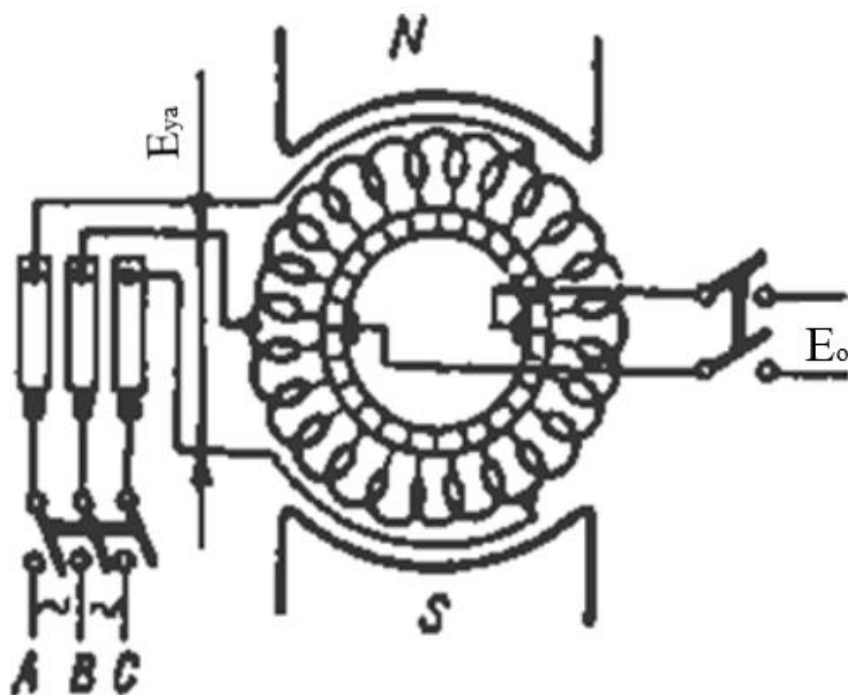
O'zgarimas tok tomonidan ishga tushirish. Bunday ishga tushirish o'zgarimas tok manbai borligidagina mumkin bo'ladi. O'zgartkich tarmoqqa o'zgarimas tok dvigateli kabi ulanadi. Rotor aylana boshlangich, o'zgartkich sinxronlashtiriladi va o'zgaruvchan tok tarmog'iga ulanadi.

Asinxron ishga tushirish. O'zgartkichni bunday ishga tushirish sinxron dvigatelni asinxron usulda ishga tushirishga o'xshaydi.

Yordamchi dvigatel vositasida ishga tushirish. Hozirgi vaqtda bir yakorli o'zgartkichlar kam ishlatiladi, chunki texnikaning ko'pgina sohalarida ular ancha tejamli va ishlatishga qulay bo'lgan simobli

to'g'rilagichlar) hamda yarimo'tkazgichli o'zgartkichlar tomonidan siqib chiqarilmoqda. Bir yakorli o'zgartkich ba'zan qo'sh generator rejimida, ya'ni o'zgarmas va o'zgaruvchan tok generatori sifatida foydalaniladi. Bu holda yakorni boshqa dvigatel mexanik ravishda aylantiradi.

O'zgarmas tok kuchlanishini o'zgartirish uchun xizmat qiladigan *bir yakorli o'zgarmas tok o'zgartkichlarida* bitta yakorning pazlariga joylashtirilgan ikkita ish chulg'ami bo'ladi. Har qaysi chulg'am o'zining kollektoriga ulangan. Yakor chulg'amlaridan biri past kuchlanishga, boshqasi esa yuqori kuchlanishga mo'ljallangan bo'ladi. O'zgartkichlardan, odatda, kuchlanishni oshirish uchun foydalaniladi. Bu holda yakorning past kuchlanish chulg'ami kollektoriga kuchlanish beriladi, ya'ni bu chulg'amdan dvigatel chulg'ami sifatida foydalaniladi, generator chulg'ami sifatida foydalaniladigan yuqori kuchlanish chulg'amining kollektoridan esa kuchlanish olinadi.



4.14-rasm. Bir yakorli o'tkazgichning tuzilishi va ulanish sxemasi.

Bir yakorli o'zgartkichda bitta magnet sistema borligi sababli dvigatel chulg'amida ham, generator chulg'amida ham EYK larni bitta magnet oqimi hosil qiladi.

Shuning uchun dvigatel chulg'aminiig EYK E_{dv} generator chulg'aminiig

EYK E_G bilan muayyan nisbatda bo‘ladi, bu nisbat dvigatel chulg‘amidagi N_{dv} va generator chulg‘amidagi N_G aktiv o‘tkazgichlar soniga bog‘liq bo‘ladi:

$$\frac{E_G}{E_D} = \frac{N_G}{N_D} \quad (4.9)$$

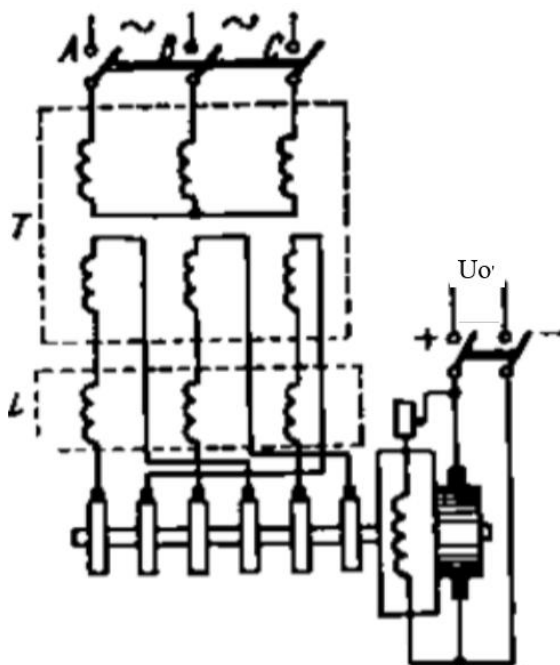
Generator chulg‘aming EYK si ushbu ifodadan aniqlanadi:

$$E_G = U_G + I_{aG} \sum r_G \quad (4.10)$$

dvigatel chulg‘aming EYK si esa,

$$E_D = U_D - I_{aD} \sum r_D \quad (4.11)$$

bu erda U_G va U_D - generator va dvigatel chulg‘amlarining cho‘tkalaridagi kuchlanish;



4.15-rasm. Bir yakorli o‘zgartkichni reaktiv g‘altak vositasida kuchlanishini rostdash

I_{aG} va I_{aD} - generator va dvigatel chulg‘amlaridagi toklar;

$\sum r_G$ va $\sum r_D$ - generator va dvigatel chulg‘amlarining zanjirlaridagi qarshiliklar.

(4.9), (4.10), va (4.11) ifodalardan foydalanib, bir yakorli o‘zgaras tok o‘zgartkichidan chiqishdagi kuchlanish formulasini hosil qilamiz:

$$U_G = E_G - I_{aG} \sum r_G = E_D \frac{N_G}{N_D} - I_{aG} \sum r_G - (U - I_{aD} \sum r_D) \frac{N_G}{N_D} - I_{aG} \sum r_G \quad (4.12)$$

(4.12) tenglamadan ko‘rinishicha, bir yakorli o‘zgaras tok o‘zgartkichidan chiqishdagi kuchlanishning qiymati o‘zgartkichga kirishdagi kuchlanishga bog‘liq, binobarin, U_G kuchlanishni faqat U_D kuchlanishini o‘zgartirish yo‘li bilangina

rostdash mumkin. O'zgartkichiing qo'zg'atish chulg'amidagi tokning o'zgarishi kuchlanish U_G ga juda oz ta'sir etadi. Bunga sabab shuki, qo'zg'atish toki ko'payishi bilan asosiy magnit oqimi ko'payadi, bu esa U_G ning ortishiga yordam beradi; lekin shu bilan birga oqim ko'payganida yakorning aylanish tezligi kamayadi, bu esa U_G ning kamayishiga olib keladi. Natijada o'zgartkichdan chiqishdagi kuchlanish amalda o'zgarmay qoladi.

O'zgarimas tok bir yakorli o'zgartkichlari $10 \div 5000$ W quvvatga mo'ljallab tayyorlanadi; ularda kirishdagi kuchlanish 6; 12 va 24 V, chiqishdagi kuchlanish esa 220; 450; 750; 1000 va 1500 V va aylanish tezliklari 4000-10000 ayl/minut bo'ladi.

4.8. Doyimiy qo'zg'atishli o'zgarimas tok mashinlari

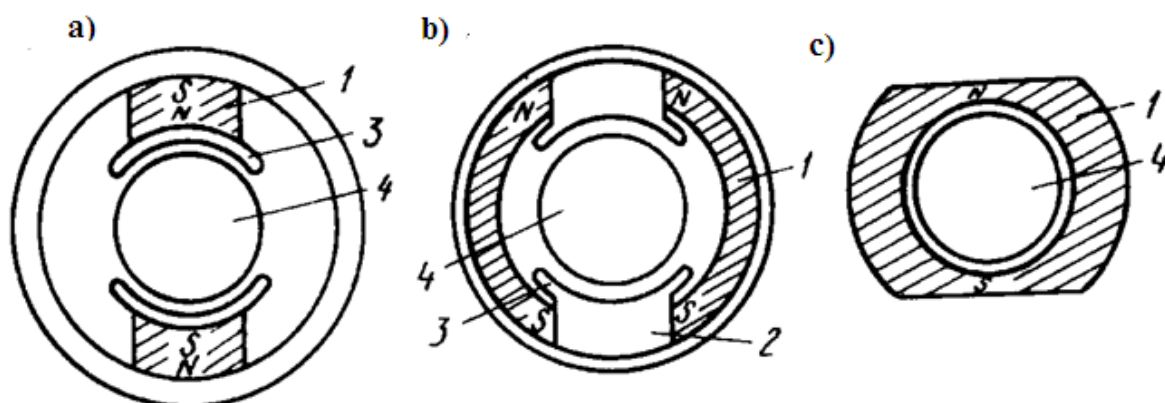
Kollektorli mashinalar qaytaruvchanlik xususiyatiga ega bo'lib, ham dvigatel va ham generator rejimida ishlay oladi. Shuning uchun o'zgarimas tok mashinasining yakor va qo'zg'atish chulg'amlarini o'zgarimas tok manbasiga ulasak, yakor va qo'zg'atish chulg'amida tok paydo bo'ladi. Yakor toki qo'zg'atish chulg'ami xosil qilgan magnit maydon bilan o'zaro ta'sirlashib, yakor chulg'amlariga ta'sir qiluvchi elektromagnit moment M ni xosil qiladi, ushbu moment generator rejimida tormozlovchi bo'lsa, dvigatel rejimida aylantiruvchi xisoblanadi.

O'zgarimas tok mashinalarining qo'zg'atish chulg'amini olib tashlab, uning o'rniga doyimiy magnitdan foydalansak, doyimiy qo'zg'atishli o'zgarimas tok mashinalari paydo bo'ladi. .

Doyimiy qo'zg'atishli o'zgarimas tok generatorlari kichik quvvatli qilib tayyorlanadi. Eng ko'p tarqalgan doyimiy qo'zg'atishli o'zgarimas tok generatorning magnit tizimi 4.16-ramda ko'rsatilgan. Ushbu generatorlarning qo'zg'atish magnit maydoni, yuqori sifatli magnit qotishmalardan tayyorlangan masalan, AN (alni), ANK (alnisi) va ANKO (alniko, magniko) markali magnit

materiallardan. Bunday magnitlar o'zining boshlang'ich xususiyatlarini uzoq muddat davomida yaxshi saqlaydi.

Doyimiy magnitli o'zgarmas tok mashinalarida qo'zg'atish chulg'aming yo'qligi tufayli uning og'irligi, tan narxi va qo'zg'atishga ketadigan isroflarning bo'lmasligi ushbu mashinalarda foydali ish koeffitsientining boshqa turdagi o'zgarmas tok mashinalariga nisbatan yuqori bo'lishiga olib keladi. Ularning asosiy kamchiligi qo'zg'atish magnet maydonini rostlashning murakkabligidir.



4.16-rasm. Doyimiy qo'zg'atishli o'zgarmas tok mashinalarining magnet tizimlari: (a) radial shakldagi, (b) qovus shakldagi, (c) halqa shakldagi, 1- magnet, 2-qutb, 3-qutb boshmog'i, 4- yakor

Quvvati kam bo'lgan o'zgarmas tok dvigatellari ($10 \div 600$ W) gacha, hozirgi kunda keng ko'lamda qo'llaniladi, masalan: masofadan boshqariluvchi transport vositalarida, samolyotlarda, kemalarda, kosmik kema va stansiyalarda, raketalarda va x.k.

Ushbu dvigatellar asosan qisqa vaqtli (S2) yoki takrorlanuvchi qisqa vaqtli (S3), ayrim xolatda davomiy (S1) ish rejimlarida ishlaydi. Ushbu dvigatellarning ishga tushish xususiyatlari yaxshi (ishga tushish momenti katta va ishga tushish vaqti kam), og'irligi va inersiya momenti kam bo'lganligi uchun avtomatik boshqaruv tizimlarida keng qo'llaniladi. Bunda dvigatellarning ishlash davri 1 dan 5 minut gacha bo'ladi. Bundan tashqari ushbu dvigatellar yordamida tez revers ishlarini amalga oshirish imkoniyati mavjud. Ishlash aylanish chastotasini oshirish barobarida dvigatelning gabarit o'lchamlari (D_s, l_s) va dvigatelning butun og'irligi kamayadi ($P=M \cdot \omega$, $M=F_{em}R_a$), shuning uchun yuqori tezlikli mikro dvigatellar

ishlab chiqarilmoqda, masalan: rotorning aylanish tezligi 10000 [ayl/min] gacha. Yakor chulgʻamining ishlash kuchlanishi: 6 ; 12 ; 27 ; 36 ; 110; 220 V ni tashkil qiladi. Ishga tushirish reostatsiz amalga oshiriladi, bunda yakor chulgʻami koʻndalang kesim yuzasi kichikligi ($F_p = \pi d_p^2 / 4$) uchun, yakor chulgʻami qarshiligi katta ($R_a = \rho l / F_p$) va shu sababga koʻra ishga tushish toki chegaralangan ($I_{i,t} / I_n = 2 \div 3$). Ishga tushish momentining karraligi yuqori xolatda saqlanib qoladi ($M_p / M_n = 4 \div 5$). Rotor ishga tushish tezligini ($t_{te} = 3T_m$) aniqlovchi elektromexanik vaqt doyimiyasi ($T_m = J_p \omega N / M_p$), valga ulangan mexanizmning inersiya momenti mexanizm ($J_p = GD^2 / 4g$) bilan qoʻshib xisoblaganda 0,1 ÷ 0,12 sekunt dan, kompyuterlarda ishlatiladigan dvigatellarda – 0,1 cekunt dan oshmaydi. Salt ishlash paytidagi rotor aylanish tezligining ($n_0 = U / CeF$) nominal yuklama ($M_s = M_n$) bilan ishlayotgan paytdagi aylanish tezligiga nisbati $n_0 / n_n = 1,1 \div 1,3$ ni tashkil qiladi. Rotorning aylanish tezligi oʻzgaruvchan tok dvigatellariga oʻxshab juft qutblar soni va tarmoq chastotasiga qattiq bogʻliq emas ($n_l = 60f_l / p$).

Quyida doyimiy qoʻzgʻatishli oʻzgarmas tok dvigatelini koʻrib chiqamiz. Ushbu dvigatellarda doyimiy magnitdan foydalanganligi uchun:

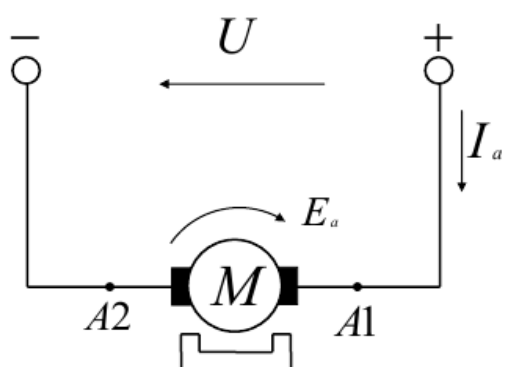
- tuzilishi soddalashadi (qoʻzgʻatish chulgʻami va uni taʼminlash manbayi kerak boʻlmaydi);
- gabarit oʻlchamlari kamayadi (induktorning diametri boʻylab);
- FIK koʻpayadi (qoʻzgʻatish chulgʻamida quvvat isrofi yoʻq $\Delta P_q = U_q I_q = 0$);
- dvigatel korpusidagi temperatura kamayadi.

Doyimiy magnitlar oddiy qotishmadan tayyorlanadi, ularning tarkibi quyidagicha: 25% nikel, 10% alyumini, 65% temir. Qutblar tagidagi magnit induksiyasi $B_\delta = 0,65B_m$ ni, magnit oʻtkazgichdagi qoldiq magnit induksiyasi $B_m = 0,4 \div 1,23$ Tl tashkil etadi. Magnit zanjirini xisoblash jarayonida qotishmaning materialiga qarab $B_\delta = 0,25 \div 0,8$ Tl ga oʻzgarishi mumkin.

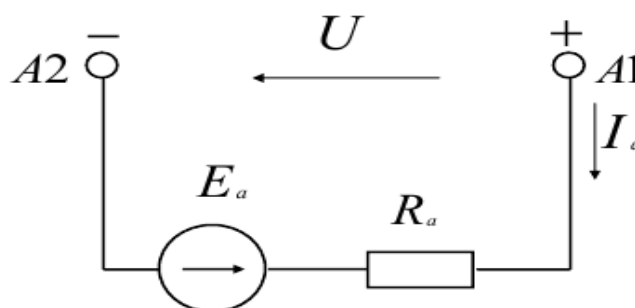
Doyimiy qoʻzgʻatishli mikro dvigatellarda ham katta va oʻrta quvvatli dvigatellar singari yakor chulgʻamining ikki xil turi mavjud (sirtmoqsimon va toʻlqinsimon 4.19 va 4.20-rasm).

Ushbu chulgʻamlarning farq qilinuvchi tomonlari quyidagicha:

- sirtmoqsimon chulg'amni tayyorlashda yakor pazlar soni butun va juft bo'lishi zarur;
- to'liqinsimon chulg'amni tayyorlashda pazlar soni butun va toq bo'lishi zarur;
- bir yoki birnechta o'ramlardan ($w_s=1\div 8$ o'ram) tashkil topgan chulg'am seksiyasi sirtmoq yoki to'liqinsimon shaklga ega.
- seksiyalarning geometrik shakli pazlar bo'ylab, (y, y_1, y_2) - yakor pazlari bo'yicha va kollektor plastinalari bo'yicha (y_q) qadamlar farqini belgilaydi;
- to'liqinsimon chulg'amni yuqori kuchlanishli mashinalarda, sirtmoqsimon chulg'amni katta tokli mashinalarda qo'llaniladi;
- to'liqinsimon chulg'amda parallel shaxobchalar soni ($2a$) xar doyim ikkiga ($2a=2, a=1$ juft shaxobcha) teng, sirtmoqsimon chulg'amda esa u asosiy qutblar soniga ($2a=2p, a=p$ - juft qutblar soni) bog'liq bo'ladi.

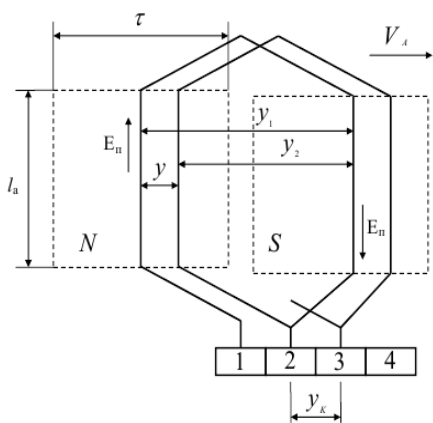


4.17-rasm. Doyimiy qo'zg'atishli o'zgarmas tok dvigatelining prinsipial sxemasi

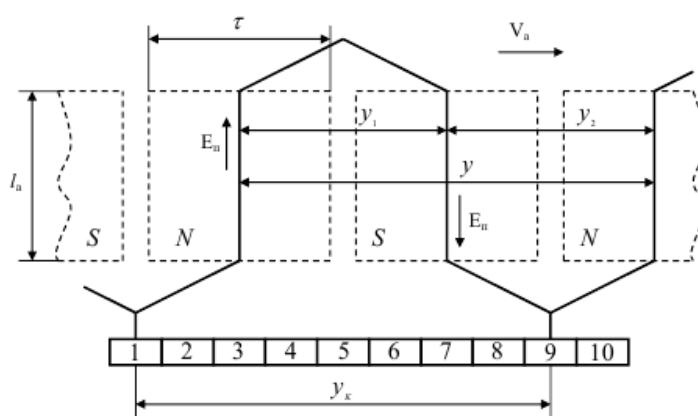


4.18. Doyimiy qo'zg'atishli o'zgarmas tok dvigatelining yakor zanjiri alamshinish sxemasi

Ushbu mashinlar elektr mashinalari nazariyasida alohida o'rin egallagan. 1821 yil M.Faradey tomonidan birinchi induktiv elektr mashinasi - unipolyar dvigatel yaratilgan. Bu dvigatelda o'zgarmas tok oqib o'tadigan o'tkazgich, doyimiy magnit atrofida aylanadi. Bu xolatda elektr energiyasi mexanik energiyaga aylanadi. Tokli o'tkazgich faqat elektr toki zanjirida sirpanuvchi kontakt bo'lgandagina doyimiy magnit atrofida aylana oladi. M. Faradey yaratgan dvigatelda qo'zg'aluvchan va qo'zg'almas elektr zanjirlari orasidagi sirpanuvchi kontakt sifatida idishga quyilgan simopdan foydalanilgan.



4.19-rasm. Sirtmoqsimon chulg'am



4.20-rasm. To'lqinsimon chulg'am

4.9. Unipolyar o'zgaras tok mashinalari

Unipolyar mashinalarning boshqa mashinalardan farqi shundaki, u umumlashgan elektr mashinalari tuzilishidan farq qilgan xorlatda, stator va rotor zanjiridan o'zgaras tok oqib o'tadi. Unipolyar mashinlarning aloxida xususitlaridan biri shundaki, elektr zanjirining qo'zg'aluvchi va qo'zg'almas qismlari orasidagi sirpanuvchi kontaktlar soni ikki va undan yuqori bo'lib, unipolyar mashinani kontaktsiz qilib tayyorlashning imkoni yo'q.

4.21-rasmda unipolyar generatorning zamonaviy sxemasi keltirilgan. Val sifatda tayyorlangan po'lat massiv rotor 1, podshipnik 2 da aylanadi. Qo'zg'atish chulg'ami 3 doyimiy magnet oqimi Φ ni xosil qilib, chashka 4 ni rotorning vali orqali kesib o'tadi. Bu mashina 4 ta xavo oralig'iga ega (stator va rotor orasida 2 ta hamda stator va val orasida 2 ta). Aylanuvchi rotordagi o'zgaras tok, rotorning ichki va tashqi qismlarida joylashgan cho'tka 5 orqali olinadi. Unipolyar generatordagi cho'tkali kontaktning ishlashi qiyin sharoitlarda kechadi, ayniqsa rotorning tashqi tomonidagi cho'tkadagi chiziqli tezlik 100 m/s dan oshib ketsa. 4.22-rasmda ko'rsatilgan unipolyar mashinaning cho'tkali kontakti ishlash sharoiti yaxshi.

Bu mashinada cho'tkalar mis xalqa 6 ustida sirpanadi. Yuklama toki I ning elektr isroflarini kamaytirish uchun, rotor 1 ning pazlariga mis shinalar o'rnatilishi

mumkin. 4.21-rasmda ko'rsatilgandek 2-podshipnik, 3-qo'zg'atish chulg'ami, 4-stator, 5-cho'tka (magnit oqimi F uzlukli chiziq bilan ko'rsatilgan).

Unipolyar generatorlarning rotorini odatda bir o'ramli chulg'amdan iborat bo'ladi. Shuning uchun bunday mashinalar past kuchlanishlidir. Ular katta miqdordagi o'zgarish tokga xisoblangan. Unipolyar generatorlar birnecha voltga va $100 \div 150$ kA tokga mo'ljallanib ishlab chiqariladi. Ammo unipolyar generatorlarda kuchlanishni oshirish imkoni mavjud. Buning uchun birnecha cho'tka va xalqalarni 4.10.2-rasmda ko'rsatilgandek ketma-ket ulash kerak bo'ladi. Bunday xolatda yakorning ichiga izolyasiyalangan o'tkazgichlar tizimi o'rnatiladi.

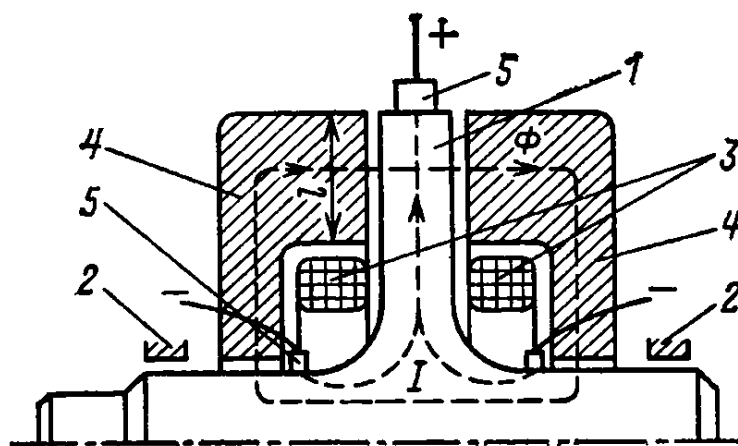
Unipolyar generatorlarda elektr yurituvchi kuch xavo oralig'idagi magnit induksiyasiga, rotorning aktiv uzunligi l ga va uning aylanish tezligiga bog'liq. Shuning uchun unipolyar mashinalarni loyixalashda xavo oralig'idagi induksiyaning va aylanish tezligini ko'paytirishga xarakat qilinadi.

Unipolyar mashinalar, barcha elektr mashinalari singari kabi ham generator va ham dvigatel rejimida ishlay oladi. Ammo ko'pincha unipolyar mashinalar generator rejimida ishlatiladi. Unipolyar generatorlar kuchlanishi kichik bo'lgan o'zgarish tok talab qilinadigan joylarda ishlatiladi, masalan, elektrolizn vannalarni va elektr pechlarini o'zgarish tok bilan ta'minlashda ishlatiladi.

Xozirgi kunda quyidagi turdagi unipolyar mashinalar ishlab chiqarilmoqda.

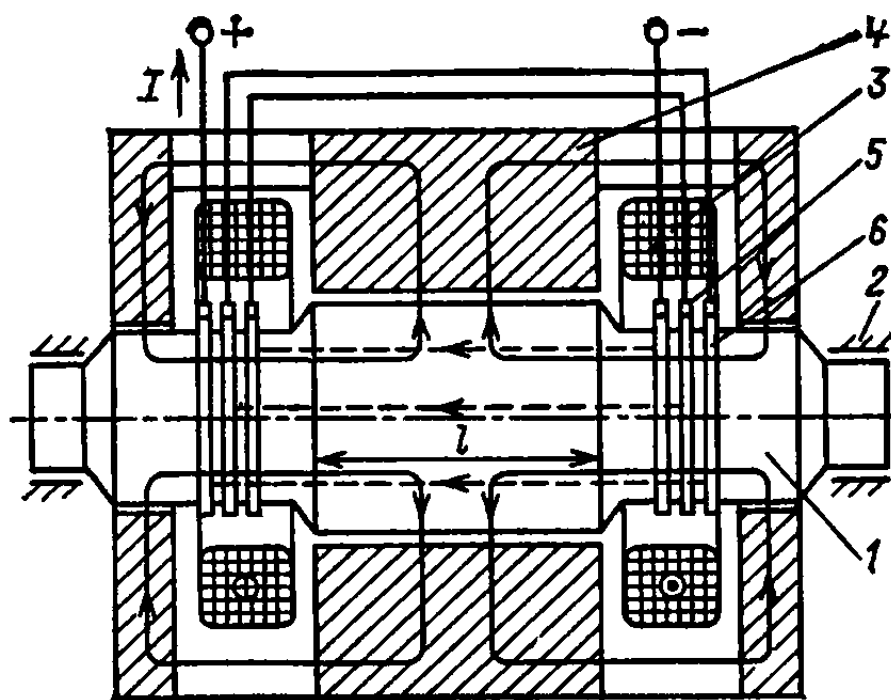
Quyida 4.10.3-rasmda ko'rsatilgan diskni ko'p o'tkazgichli sektor S shaklida tasavvur qilsak bo'ladi. Ulardan barchasi aylanish paytida bitta qutb ta'sirida bo'ladi va ularda xosil bo'lgan EYK ham bir tomonga yo'nalgan bo'ladi. Magnit maydoni va aylanish yo'nalishining barcha yo'nalishida EYK ning yo'nalishi xar doyim diskning markazidan periferiyasiga qarab yo'nalgan bo'ladi.

Ushbu diskli unipolyar mashina namunasida prof. B. I. Ugrimov aylanish tezligi 10000 ayl/min, kuchlanishi 10 V, toki 10000 A bo'lgan unipolyar generatorni loyixalagan. Ammo ushbu generator qoniqarsiz ishlagan, chunki diskning periferiyasidagi tezlik 170 m/sek gacha oshganligi uchun cho'tka-kontakt tizimi yaxshi ishlamagan.



4.21-rasm. Unipolyar generator

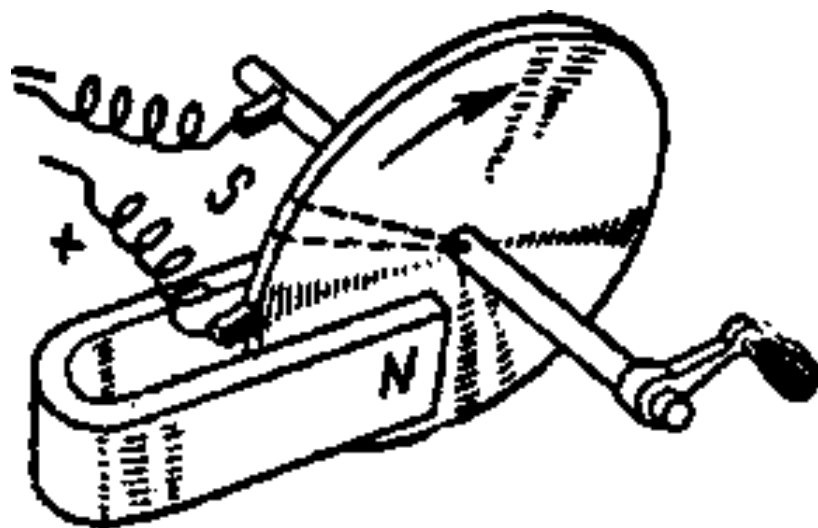
Disk aylanish jarayonida choʻtkalar bir oʻtkazgichdan ikkinchi oʻtkazgichga oʻtishda oʻzgarmas tok paydo boʻladi.



4.22-rasm. Choʻtkalari ketma-ket ulangan unipolyar generator

Bundan tashqari yuqori tezlikda aylanganligi uchun podshipniklarda oʻziga xos kamchiliklar paydo boʻlgan. Bundan tashqari bir tomonlama magnit tortilish boʻlganligi uchun disk bilan magnit qutblar orasidagi xavo oraligʻi oʻzgarishi vjudga keladi.

Diskli unipolyar mashinlardan tashqari silindrsimon unipolar mashinalar xam ishlab chiqarilgan. Bulardan biri 4.24-rasmda ko‘rsatilgan bo‘lib, buni muxandis B. V. Kostina ishlab chiqargan. Bu erda xam cho‘tko-kontakt tizimining ishonchli ishlashi bilan bog‘liq qiyinchiliklarga to‘qnash kelgan. Bu mashina xam materiallarga nisbatan katta xarajatlarga olib kelib kollektorli mashinalarga nisbatan avzalliklarga ega emas.



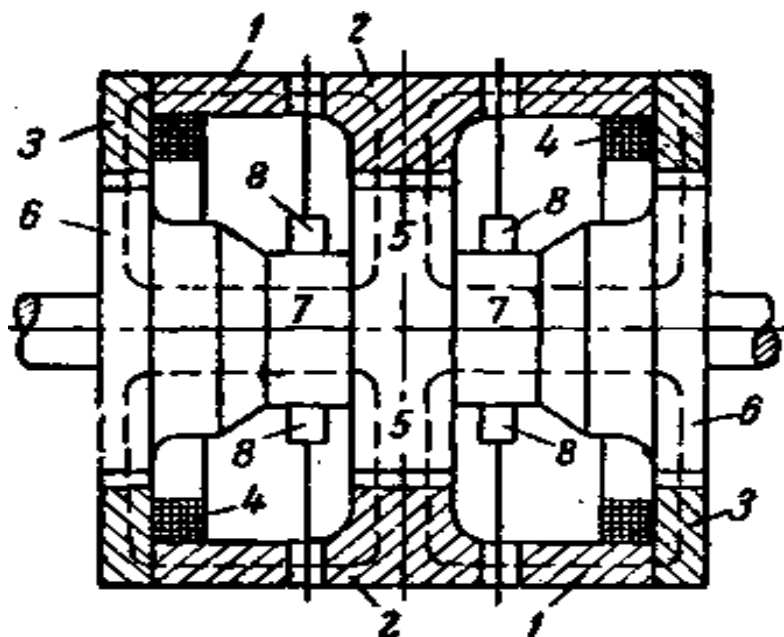
4.23-rasm. Diskli turdagi unipolyar mashina

Bir qancha takomillashtirilgandan so‘ng, ayniqsa cho‘tko-kontakt tizimining ishonchliligi ortib, xozirgi kunda past kuchlanishli yuqori o‘zgarmas tokni talab qiladigan joylarda o‘z o‘rniga ega.

4.24-rasmda muxandis B. V. Kostina ishlab chiqargan unipolyar mashina tuzilishi keltirilgan: 1- silindr shaklidagi, cho‘yan yoki po‘latli stator, 2 – mashina qutblari; 3-stator yon tomonidagi xalqalar; 4-qo‘zg‘atish chulg‘ami g‘altaklari; 5 va 6 – rotordagi xalqalar; 7- cho‘tko 8 joylashtiriladigan rotorning silindrik qismi.

O‘zgarmas tokni xosil qiluvchi ko‘rib chiqilgan kollektorsiz unipolyar mashinlar, kollektorsiz o‘zgarmas tok mashinalari xam deyiladi.

Hozirgi vaqtda umumiy maqsadli O‘T mashinalarining asosiy seriyalari 2II va 4II, hamda kran-metallurgiya motorlari va maxsus maqsadli seriyalari ishlab chiqarilmoqda. 2II seriyasiga quvvati 0,13 dan 200 kW gacha, aylanish o‘qi balandligi 90÷135 mm bo‘lgan motorlar kiradi. Ilgarigi II seriyaga kiradigan XII÷XVI gabaritlar yangi II2 seriya bilan almashtirilmoqda.



4.24-rasm. Silindrsimon turdagi unipolyar mashina tuzilishi.

4.10. O'zgarmas tok mashinalarining zamonaviy turlari

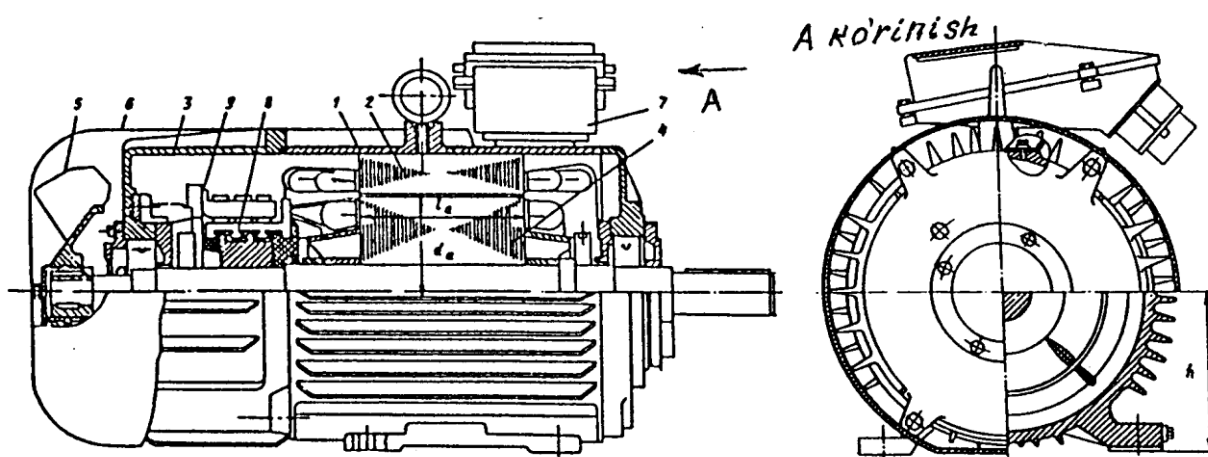
O'T mashinasining 4Π yangi seriyasi ishlabchiqilgan. Bu seriyadagi mashinalarning texnik-iqtisodiy ko'rsatkichlari yaxshilangan va uning ayrim qismlari va detallari 4A seriyadagi asinxron motorlarniki bilan moslashtirilgan, ya'ni unifikatsiya qilingan (4.25- rasm).

4Π seriyadagi o'rta va katta quvvatli O'T mashinalari tarqalgan kompensatsion chulg'am bilan ta'minlangan. Stator va yakor magnet o'tkazgichlari yupqa elektrotexnik po'lat tunukalardan yig'iladi. Mazkur seriyadagi bir qator mashinalarning statori asinxron motorlarnikiga o'xshagan bo'lib noayon qutbli bo'ladi (4.25-rasm). Qo'zg'atish va kompensatsion chulg'amlari pazlarga bir tekis tarqatilgan. Statorni bunday konstruksiyada bajarish asinxron motorlar statorlarini ishlab chiqarish texnologiyasidan keng foydalanish maqsadida amalga oshiriladi, ya'ni O'TM lari statorlarini tayyorlash uchun alohida maxsus stanoklar talab etilmaydi.

O‘TM larining 2П va 4П seriyalarining motorlari 110, 220, 340 va 440 V kuchlanishlarga va 750, 1000, 1500, 2200 va 3000 ayl/min aylanish chastotalarga tayyorlanadi.

2П seriyali motorlar mustaqil qo‘zg‘atishli bo‘lib, qisqa muddatli katta o‘ta yuklanishni ta‘minlaydigan kompensatsion chulg‘amga ega va ularning aylanish chastotasini keng ko‘lamda o‘zgartirish mumkin.

Metallurgiya, yuk ko‘tarish kranlar, ekskavatorlar va boshqa elektr yuritmalar uchun quvvati 2,5 dan 185 kW gacha, kuchlanishi 220 va 440 V, $n_N=400\div 1440$ ayl/min bo‘lgan «Д» seriyali (ular aylanish chastotani keng ko‘lamda rostlashni ta‘minlaydi) O‘TM lar;



4.25 - rasm. 4ΠO seriyali o‘zgaras tok motorining bo‘ylama va ko‘ndalang qirqimlari:
 1– korpus; 2– stator magnit o‘tkazgichi; 3– old tomondagi podshipnik qalqoni; 4 – yakor po‘lat o‘zagi; 5– ventilyator; 6–himoya qoplamasi (kojuxi); 7– chulg‘am uchlari chiqarilgan quticha; 8– kollektor; 9 – cho‘tka tutqich; h – rotorning aylanish o‘qi balandligi; d_a – yakor diametri; l_a – yakor uzunligi

Qadamlovchi ekskavatorlar elektr yuritmalari uchun quvvati 450 kW, 370 V, n 29 ayl/min bo‘lgan МПБЕ–450–29 tipli; quvvati 1000 kW, 600 V, $n=630/1000$ ayl/min bo‘lgan МПЕ–1000–630 УХЛ3 tipli O‘TM lari; quvvati 1250 kW, kuchlanishi 930 V, aylanish chastotasi 1000 ayl/min bo‘lgan ППЕ–1250 tipli O‘T generatorlari;

Burg‘ilovchi qurilmalar uchun quvvati 68 kW bo‘lgan ДЕБ–808 tipli, 110 t yuk ko‘taradigan БЕЛИА3–7519 o‘zi ag‘darar yuk mashinasi g‘ildiragini

aylantiruvchi tortish O‘TM lari (360 kW, $U = 750 \text{ V}$, $n = 1100 \text{ ayl/min}$) va ularni energiya bilan ta’minlovchi ГПА-600 tipli (630 kW) tortish generatori;

Elektrovoz va teplovozlilar uchun quvvati 8000 kW gacha bo‘lgan tortish O‘TM lari;

Jo‘valash dastgohlari (prokat stanlari) uchun quvvati 30000 kW gacha bo‘lgan O‘TM lari (ikki, uch va to‘rt yakorli konstruksiyada);

Kam quvvatli O‘TM lar ПЛ, ДПМ, ДПР seriyalarda ishlab chiqarilmoqda.

NAZORAT SAVOLLARI

1. O‘zgarmas tokli taxogeneratorning tuzilishi va ishlash prinsipini gapirib bering?
2. O‘zgarmas tokli taxogeneratorning tashqi xarakteristikasi gapirib bering?
3. O‘zgarmas tokli taxogeneratorida yakor reaksiyasini bartaraf etish usullari?
4. Ijrochi O‘TM qanday ishlaydi, afzalligi va kamchiliginimalardan iborat?
5. Ventilli O‘zgarmas tok motorining tuzilishi va ishlash prinsipini gapirib bering.
6. Elektomexanik kuchaytirgichning ishlash prinsipi tushintirib bering
7. Elektomexanik kuchaytirgichlarda chala qo‘zg‘atishda qanday jarayonlar vujudga keladi?
8. Elektomexanik kuchaytirgichlarda o‘ta qo‘zg‘atishda qanday jarayonlar vujudga keladi?
9. Elektomexanik kuchaytirgichlarda kuchaytirish koeffitsiyenti qanday aniqlanadi.
10. Elektomexanik kuchaytirgichlarda yakor reaksiyasi ta’siri qanday bartaraf etiladi.

11. Doyimiy magnitli o'zgarmas tok elektromexanik o'zgartkichlarning turlari
12. Doyimiy magnitli o'zgarmas tok elektromexanik o'zgartkichlarni tayorlashda daqanday magnitlardan foydalaniladi?
13. Unipolyar elektromexanik o'zgartkichlarning ishlash prinsipi tushintiring
14. Unipolyar elektromexanik o'zgartkichlarning qanday turlarin bilasizlar?
15. Bir yakorli o'zgartkichning tuzilishi
16. Bir yakorli o'zgartkichning ishlash prinsipini tushintiring?
17. Bir yakorli o'zgartkichning ishga tushirish usullari to'g'risida gapirib bering?
18. Kontaktsiz o'zgarmas tok motorlarining tuzilishi va ishlash prinsipi?
19. Kontaktsiz o'zgarmas tok motorlarini boshqarish tizimi
20. Rotor holati datchigi ishashi prinsipi?
21. Texnik-iqtisodiy ko'rsatkichlari yaxshilangan O'TM larning yangi seriyalari to'g'risida ma'lumot bering.

GLOSSARIY

Termosifon filtr - moy tarkibini tozalovchi qurilma;

Radiator – transformatorning sovitish yuzasini oshiruvchi qurilma;

Transformatsiyalash koeffitsienti - birlamchi chulg'am elektr yuriguvchi kuchini ikkilamchi chulg'am elektr yurituvchi kuchiga nisbati;

Avtotrasformator - birlamchi va ikkilamchi chulg'amlari elektr jixatdan ulangan bir va uch vazali transformatorlar.

Keltirilgan transformator - ikkilamchi chulg'am parametrlarini birlamchi chulg'amo'ramlar soniga keltirish yoki aksincha;

Ekvivalent sxema - hakikiy elektr sxemani o'rnini bosa oladigan sxema;

Qisqa tutashish kuchlanishi – ikkilamchi chulg'am qisqa tutashtirilgan vaktida chulg'amlardagi tok nominal bo'lgan paytdagi kuchlanish;

Qisqa tutashuv holati - transformatorning birlamchi chulg'ami manbaga ulanib ikkilamchi chulg'am qisqa tutashgan holat;

Quvvat koeffitsienti - aktiv quvvatni to'la quvvatga nisbati;

Turbogeneratorlar - Issiqlik elektr stantsiyalarda bug' turbinasi vositasida elektr generatori valiga berilgan mexanik energiyani elektr energiyaga o'zgartiruvchi qurilma;

Sinxron elektr mexanik o'zgartgichlar - rotorning aylanish chastotasi statorning aylanma magnit maydon chastotasiga teng bo'lgan mashinalar;

Gidrogeneratorlar - gidroelektr stantsiyalarda suv turbinasi vositasida elektr generatori valiga berilgan mexanik energiyani elektr energiyaga o'zgartgichdir;

Stator – Elektr mashinaning qo'zg'almas qismi;

Rotor – Elektr mashinaning aylanuvchi qismi;

Sektsiya - bir xil pazlarda joylashgan o'ramlar ketma ket ulanib xosil bo'ladi;

Sektsiya guruhi - Qo'shni pazlarda joylashgan g'altaklar guruxi ketma ket ulanib xosil bo'ladi;

Bir qatlamli chulgam - pazda sektsiyaning faqat bitta tomoni joylashadi;

Ikki qatlamli chulgam - pazda sektsiyaning yuqorigi qatlami va boshqa sektsiyaning pastki qatlami ustma ust joylashadi;

Chastotani uch karra oshirish – Transformator sxemalari f_1 chastotali uch fazali tarmoqqa ulangan transformator o'zaklarining kuchli to'yinishi tufayli hosil bo'ladigan uchinchi garmonikadan foydalanishga asoslangan;

Payvandlash transformatorlari – Elektr yoyi vositasida payvanlash uchun ishlatiladigan maxsus maqsadli transformatorlar;

Massiv rotorli asinxron elektr mexanik o'zgartgichning tuzilishi – Massiv rotorli asinxron elektr mexanik o'zgartgich butun (sploshnoy) ferromagnit silindr ko'rinishiga ega;

Chiziqli motorning qo'zg'aluvchi qismi– yuguruvchi deb ataladi;

Reaktiv sinxron elektr mexanik o'zgartgichlar– Rotorida qo'zg'atish chulg'ami bo'lmagan ayon qutbli sinxron elektr mexanik o'zgartgichlar;

Asinxronlashtirilgan sinxron elektr mexanik o'zgartkichlarning rotoridagi doimiy magnitlar – Motorni sinxronizmga kiritish vazifasini, qisqa tutashgan chulg'amesa sinxron motorni asinxron usulda ishga tushirish vazifasini bajaradi;

Doimiy magnitli o'zgarms tok elektr mexanik o'zgartkichlar–magnit maydon doimiy magnitlar yordamida amalga oshadi;

Ikki yakorli o'zgartgichlar– mexanik ulangan, lekin elektr jixatdan bir-biriga bog'liq bo'lmagan ikkita mashinadan iborat.

ADABIYOTLAR

1. Salimov J.S., Pirmatov N.B. Elektr mashinalari. Texnika oliy oquv yurtlarining «Elektr texnikasi, elektr mexanikasi va elektr texnologiyalari» yonalishi talabalari uchun darslik.– T.: O'zbekiston faylasuflari milliy jamiyati nashiryoti, 2011. –408 b.
2. Салимов Ж.С., Пирматов Н.Б., Бекчанов Б.Э. Трансформаторлар ва автотрансформаторлар. Техника олий ўқув юртлари учун ўқув қўлланма. «VEKTOR-PRESS» нашриёти. – Т.: 2009. – 224 б.
3. Бертинов А.И., Алиевский Б.Л., Илюшин К.В. и др. Сверхпроводниковые электрические машины и магнитные системы. Учеб.пособие для вузов. -М.: Изд-во МАИ, 1993.
4. Епифанов А.П. Электромеханические преобразователи энергии. Учебник для вузов. –СПб.: Изд-во «Лань», 2004. –208 с.
5. Извеков В.И., Кузнецов В.А. Вентильные электрические двигатели. Учеб.пособие для вузов. - М.: Изд-во МЭИ,1998.
6. Левин Н.Н. и др. Авиационные электрические машины. Учебник для вузов. –Киев.: КМУЦА, 2000. –424 с.
7. Грищенко А.В. Новые электрические машины локомотивов. Учебник для вузов. –М.: Изд-во УМЦ ЖДТ, 2008. –271 с.
8. Генделевич А.М. Электрооборудование воздушных судов. Учеб.пособие для вузов. –Ульяновск.: УВАУ ГА, 2003.
9. Герасин А.А. Специальные электромеханические преобразователи автономных объектов. Учеб.пособие для вузов. –М.: Изд-во Машиностроение, 2012. –250 с.
10. Одилов Г. «Электр машиналарининг махсус курси» фанидан маърузалар матни. Тошкент,– 1999. ТошДТУ.

11. Вольдек А.И., Попов В.В. Электрические машины. Введение в электромеханику. Машины постоянного тока и трансформаторы: Учебник для вузов.–СП.: 2008. –320 с.
12. Гольдберг О.Д., Хелемская С.П. Электромеханика: учебник для вузов. – М.: Издательский центр “Академия”, 2007. – 512 с.
13. Осин И.Л., Юферов Ф.М. Электрические машины автоматических устройств. Учеб. пособ. для вузов. М.:Изд-во МЭИ, 2003. – 424 с.
14. Кацман М.М. Сборник задач по электрическим машинам. Учебное пособие. –М.: Издательский центр «Академия», 2012. –160 с.
15. Turowski, J., Turowski, M.: Engineering electrodynamics. CRC Press, Taylor & Francis Group, Boca Raton, FL, 2014.
16. Ronkowski M., Michna, M., Kostro, G., Kutt, F.: Electrical machines around us, in Polish. Gdansk University of Technology, Gdansk, Poland, 2011
17. Bajorek, Z.: Electrical machines (in Polish). WNT, Warsaw, 1980.
18. Bertotti, G.: General properties of power losses in soft ferromagnetic materials, IEEE Trans. on Magnetics, MAG-22, 1986, no 5, Sept. 1986.
19. Bogusz, P., Korkosz, M., Prokop, J.: Laboratory tests on a two-phase switched reluctance motor designed for high-speed electromechanical drive (in Polish), Maszyny Elektryczne – Zeszyty Problemowe, vol. 105, 2015, No 1, Katowice, Poland, 137–142.
20. Boldea, I., Tutelea, L.: Electric machines. steady state, transients and design with Matlab R . CRC Press, Taylor & Francis Group, Boca Raton, FL, 2010.
21. Bose, B.K.: Modern power electronics and a.c. drives. Prentice–Hall, Upper Saddle River, NJ, 2002.
22. Dabrowski, M.: Design of AC electrical machines (in Polish). Warsaw, WNT, 1988.
23. Fitzgerald, A.E., KinHzley, C., Umans, S.,D.: Electric Machinery, 6th ed., New York, McGraw-Hill, 2002.
24. Gieras, J.F.: Linear induction motors. Clarendon Press, Oxford, 1994.

25. Gieras, J.F., Gieras, I.A.: Electrical energy utilization. Adam Marszalek Publishing House, Torun, Poland, 1998.
26. Gieras, J.F., Wang, R.J., Kamper, M.J.: Axial flux permanent magnet brushless machines, 2nd ed. Springer, 2008.
27. Gieras, J.F.: Advancements in electric machines. Springer, 2009.
28. Gieras, J.F.: Permanent Magnet Motors Technology: Design and Applications. 3rd edition, CRC Press, Taylor & Francis Group, Boca Raton, FL, 2010.
29. Gieras, J.F.: Electric power system of Tu-154M passenger aircraft, *Przegląd Elektrotechniczny (Electrical Review)*, vol. 89, no 2a, February 2013, 300–307.
30. Glinka, T., Mizia, W., Zywiec, A., Hickiewicz, J.: Electrical machines. Numerical problems, in Polish, WNT, Warsaw, 1973.
31. Gray, C.B.: Electrical machines and drive systems. Longman Scientific & Technical, Harlow, 1989.
32. Jones, I. P. (2001). *Materials Science for Electrical and Electronic Engineers*. Oxford University Press.
33. Kassakian, J. G., Wolf, H.-C., Miller, J. M., and Hurton, C. J. (1996). Automotive electrical systems circa 2005. *IEEE Spectrum*, pages 22–27.
34. Kjaer, P. C., Gribble, J. J., and Miller, T. J. E. (1997). High-grade control of switched reluctance machines. *IEEE Transactions on Industrial Applications*, 33(6):1585–1593.
35. Kassakian, J. G., Wolf, H.-C., Miller, J. M., and Hurton, C. J. (1996). Automotive electrical systems circa 2005. *IEEE Spectrum*, pages 22–27.
36. Kjaer, P. C., Gribble, J. J., and Miller, T. J. E. (1997). High-grade control of switched reluctance machines. *IEEE Transactions on Industrial Applications*, 33(6):1585–1593.