

N.B.Pirmatov, A.S.Saodullaev, A.E.Bekishev, N.A.Qurbonov

ELEKTR MASHINALARI

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

N.B.Pirmatov, A.S.Saodullaev, A.Y. Bekishev, N.A.Qurbonov

ELEKTR MASHINALARI

Oliy o'quv yurtlarining 5310700 – Elektr texnikasi, elektr mexanikasi va elektr texnologiyalari (elektr mashinasozligi) va 5310200 - Elektr energetikasi (elektr ta'minoti) ta'lim yo'nalishi uchun o'quv qo'llanma sifatida tavsiya etilgan.

UDK:

KBK

E—

JIZPI NASHRIYOT

JIZZAX – 2021

«Elektr mashinalari» o‘quv qo‘llanma N.B.Pirmatov, A.S.Saodullaev,

A.Y. Bekishev, N.A.Qurbonov

O‘zbekiston Respublikasi Oliy va o‘rta-maxsus ta’lim vazirligi. – Jizzax: JizPI
nashriyoti 2021.

Taqrizchilar: Qarshi muhandislik - iqtisodiyot instituti dotsenti, t.f.n.

M.M.Fayziyev

Jizzax politexnika instituti dotsenti,

dots. E.A.Rabbimov

«Elektr mashinalari»

“Elektr mashinalari” o‘quv qo‘llanma 5310700 - Elektr texnikasi, elektr mexanikasi va elektr texnologiyalari (elektr mashinasozligi), 5310200 - Elektr energetikasi (elektr ta’minoti) va energetika sohasidagi boshqa yo‘nalish talabalari ham foydalanishlari mumkin.

O‘quv qo‘llanma 5 ta bobdan iborat bo‘lib, quyidagi mavzular yoritilgan: transformatorlar, asinxron mashinalar, sinxron mashinalar, o‘zgarmas tok mashinalari va elektr motorlarni tanlash haqida ma’lumotlar keltirilgan.

O‘quv qo‘llanmaning har bir bobida rejalashtirilgan mavzularga oid murakkablik darajasi ortib borish tartibida tanlangan masalalarni yechish bo‘yicha namunalar batafsil, tahlili bilan ko‘rsatilgan.

© Jizzax politexnika instituti

Аннотация

Zamonaviy fan va texnikaning istiqboli har xil ishlab chiqarish jarayonlari va qurilmalarida elektr energiyani qo'llash bilan uzviy bog'langan. YUksak malakali kadrlar tayyorlash uchun xalqaro standart talablari asosida ishlab chiqarilayotgan transformatorlar, asinxron mashinalar, sinxron mashinalar va o'zgarmas tok mashinalariga oid etarli darajada ma'lumotlarni qamrab olgan o'quv qo'llanma yaratish hozirgi kunning dolzarb masalalaridan biridir.

SHu maqsadda mazkur o'quv qo'llanma oliy ta'lim, fan va ishlab – chiqarishlar integrallashuvining mahsuli bo'lib, elektr mashinalari va ularni tanlashga oid zamonaviy ma'lumotlar asosida tayyorlangan.

O'quv qo'llanmada “Elektr mashinalari” fan dasturining asosiy qismlariga oid masalalarni echish uchun zaruriy formulalar, tenglamalar keltirilgan va har bir mavzu bo'yicha namunaviy masalalar oddiydan murakkablik darajasi ortib borish tartibida tahlili bilan echib ko'rsatilgan hamda talabalarga mustaqil echishlari uchun masalalar taqdim etilgan.

O'quv qo'llanmaning bu uslubda tayyorlanishi talabalar ongida olingan nazariy bilimlarni mustahkamlash va amalda qo'llay olish ko'nikmasini oson shakllanishida asos bo'ladi hamda fanni aniq tizim asosida o'rganishlari uchun imkoniyat yaratadi.

Аннотация

Перспективы современной науки и техники неразрывно связаны с использованием электроэнергии в различных производственных процессах и устройствах. Одним из наиболее актуальных вопросов сегодня является создание учебного пособия для подготовки высококвалифицированных кадров, включающего достаточные сведения о трансформаторах, асинхронных машинах, синхронных машинах и машинах постоянного тока, изготовленных в соответствии с международными стандартами.

С этой целью это учебное пособие является продуктом интеграции высшего образования, науки и производство и подготовлен на основе современных сведений об электрических машинах и их выборе.

Учебное пособие содержит необходимые формулы, уравнения для решения задач, относящихся к основным компонентам предмета «Электрические машины», а примеры задач по каждой теме решаются путем анализа в порядке возрастания сложности, а учащимся даются задачи для самостоятельного решения.

Подготовка учебного пособия таким образом укрепляет теоретические знания, полученные в сознании учащихся, и способствует формированию

навыков их применения на практике, а также дает возможность изучать науку на основе четкой системы.

Учебное пособие «Электрические машины» предназначен для студентов специальностей 5310200 - Электроэнергетика (электроснабжение), 5312200 - Горная электромеханика и 5310700 - Электротехника, электромеханика и электротехника (по отраслям), и может быть использован студентами в других областях энергетики.

Annotation

The prospects of modern science and technology are inextricably linked with the use of electricity in various industrial processes and devices. One of the most pressing issues today is the creation of a textbook for the training of highly qualified personnel, including sufficient information about transformers, asynchronous machines, synchronous machines and DC machines, manufactured in accordance with international standards.

To this end, this study guide is a product of the integration of higher education, science and industry, and is prepared on the basis of modern knowledge about electrical machines and their choice.

The textbook contains the necessary formulas, equations for solving problems related to the main components of the subject "Electric machines", and examples of problems on each topic are solved by analysis in order of increasing complexity, and students are given problems for independent solution.

The preparation of a textbook in this way strengthens the theoretical knowledge gained in the minds of students and contributes to the formation of skills in their application in practice, and also makes it possible to study science on the basis of a clear system.

The textbook "Electrical Machines" is intended for students in the specialties 5310200 - Electricity (power supply), 5312200 - Mining electromechanics and 5310700 - Electrical engineering, electromechanics and electrical engineering (by industry), and can be used by students in other areas of energy.

MUNDARIJA

Kitobda qabul qilingan asosiy harfiy belgilanishlar (atamalar) **Ошибка! Залка не определена.**

| | |
|--|-----|
| 1-BOB. TRANSFORMATORLAR | 19 |
| 1.1. Asosiy tushunchalar. Transformatorni ekspluatatsiyalash rejimlari. | 19 |
| 1.2. Transformatorlar kuchlanishlarining muvozanat tenglamasi. | 22 |
| 1.3. Transformatorning FIK va quvvat isroflari. | 23 |
| 1.4. Transformatorning ikkilamchi chulg‘amdagi kuchlanishini o‘zgartirish..... | 24 |
| 1.5. Masalalarni yechish bo‘yicha namunalar. | 25 |
| 1.5.1. Transformatsiya koeffitsiyenti, chulg‘amlardagi EYuK va toklar, salt ish va qisqa tutashuv parametrlari. | 25 |
| 1.5.2. Transformatorning FIK va isroflari, vektor diagrammasi. | 34 |
| 1.5.3. Transformatorlarning parallel ishlashi. Avtotransformatorlar. | 46 |
| 1.6. Mustaqil yechish uchun masalalar..... | 53 |
| 1.7. Nazorat topshiriqlari. | 57 |
| 2-BOB. ASINXRON MOTORLLAR. | 58 |
| 3.1. Asosiy tushunchalar..... | 58 |
| 3.2. Masalalarni yechish bo‘yicha namunalar. | 61 |
| 3.2.1. Asinxron motorlarning sirpanishi, EYuK va toklari. | 61 |
| 3.2.2. Isroflar va FIK, elektrmagnit momenti, mexanik..... | 69 |
| xarakteristika. | 69 |
| 3.2.3. Aylanma diagramma va ishchi xarakteristikalar. | 88 |
| 3.2.4. Ishga tushirish va aylanish chastotasini rostlash. | 97 |
| 3.3. Mustaqil yechish uchun masalalar..... | 108 |
| 4-BOB. SINXRON MASHINALAR | 112 |
| 4.1. Asosiy tushunchalar. Sinxron mashina statori aylanuvchan magnit maydonining va rotorning aylanish chastotasi: | 112 |
| 4.2. Masalalarni yechish bo‘yicha namunalar | 113 |
| Sinxron generatorlar | 113 |
| Sinxron motorlar va kompensatorlar | 130 |
| 4.3. Mustaqil yechish uchun masalalar..... | 140 |
| 4.4. Nazorat topshiriqlari..... | 148 |
| 5-BOB. O‘ZGARMAS TOK MASHINALARI. | 151 |
| 5.1. Asosiy tushunchalar..... | 151 |
| 5.2- Masalalarni yechish bo‘yicha namunalar..... | 155 |

| | |
|---|-----|
| 5.2.1. Yakor chulg‘ami, EYuK, yakor reaksiyasi. | 155 |
| 5.2.2. O‘zgarmas tok generatorlari | 161 |
| 5.2.3. O‘zgarmas tok motorlari..... | 163 |
| 5.3. Mustaqil yechish uchun masalalar | 186 |
| 5.6. Nazorat topshiriqlari..... | 194 |
| 6-BOB. ELEKTR MOTORLARNI TANLASH..... | 196 |
| 6.1. Elektr yuritma to‘g‘risidagi asosiy ma’lumotlar va elektr motorlarning ish rejimlari | 196 |
| 6.2. Elektr motorlarni tanlash prinsiplari..... | 200 |
| 6.3. Motorning quvvatini aniqlash. Motorni katalog bo‘yicha tanlash. | 201 |
| 6.4. Ba’zi mexanizmlar uchun motorlarni quvvatini aniqlash. | 205 |
| 6.5. Masalalarni yechish bo‘yicha namunalar | 208 |
| 6.6. Mustaqil yechish uchun masalalar..... | 212 |
| 6.7. Nazorat topshiriqlari | 214 |
| ILOVA | 224 |
| ADABIYOTLAR RO‘YXATI..... | 217 |

TABLE OF CONTENTS

| | |
|---|--|
| The basic letter designations adopted in the book | Ошибка! Закладка не определена. |
| SECTION 1 | 19 |
| TRANSFORMERS | 19 |
| 1.1. Basic concepts. Transformer operation modes. | 19 |
| 1.2. Equilibrium equation of transformer voltages | 22 |
| 1.3. Transformer FIK and power dissipation | 23 |
| 1.4. Transformatorning ikkilamchi chulg‘amdagi kuchlanishini o’zgartirish. | 24 |
| 2. Change the voltage of the transformer in the secondary winding | 25 |
| 2.1. Transformation coefficient, EYuK and currents in windings, salt operation and short circuit parameters | 25 |
| 2.2. Transformer F.I.K and wastes, vector diagram | 34 |
| 2.3. Parallel operation of transformers. Autotransformers | 46 |
| 3. Issues for independent solution. | 53 |
| 4. Control tasks | 57 |
| SECTION 2. | Ошибка! Закладка не определена. |
| General questions of the theory of machines without collectors | Ошибка! Закладка не определена. |
| 2.1. Basic concepts | Ошибка! Закладка не определена. |
| 3. Problem solving examples | Ошибка! Закладка не определена. |
| SECTION 3. | 58 |
| Asynchronous motors | 58 |
| 3.1. Basic concepts | 58 |
| 3.2. Problem solving examples | 61 |
| 3.2.1. Sliding of asynchronous motors, E.Yu.K and currents..... | 61 |
| 3.2.2. Waste and F.I.K, electromagnetic torque, mechanical characteristic..... | 69 |
| 3.2.3. Circuit diagram and working characteristics | 88 |
| 3.2.4. Start and adjust the rotation frequency | 97 |
| 3.3. Problems for independent solution | 108 |
| SECTION 4. | 112 |
| Synchronous parking | 112 |
| 4.1. Basic concepts. The stator of a synchronous machine is the rotating magnetic field and the rotational frequency of the rotor | 112 |

| | |
|--|--|
| 4.2. Problem solving examples | 113 |
| Synchronous generators | 113 |
| Synchronous motors and compensators | 130 |
| 4.3. Problems for independent solution | 140 |
| 4.4. Control tasks..... | 148 |
| SECTION 5 | 151 |
| Collector AC machines | 151 |
| 5.1. Basic concepts | 151 |
| 5.2 Problem solving examples | 155 |
| 5.2.1. Anchor Clamp, E.Yu.K, Anchor Reaction | 155 |
| 5.2.2. AC generators | 161 |
| 5.2.3. AC motors | 163 |
| 5.3. Issues for independent solution | 186 |
| 5.6. Control tasks | 194 |
| SECTION 6 | 196 |
| Selection of electric motors | 196 |
| 6.1. Basic information about electric drive and operating modes of electric motors. | 196 |
| 6.2. Principles of selection of electric motors | 200 |
| 6.3. Determination of engine power. Select an engine by catalog..... | 201 |
| 6.4. Determining the power of engines for some mechanisms. | 205 |
| 6.5. Problem solving examples | 208 |
| 6.6. Problems for independent solution | 212 |
| 6.7. Control tasks | 214 |
| SECTION 7 | 216 |
| 7. Selection of wires | Ошибка! Закладка не определена. |
| 7.1. Wire model selection | Ошибка! Закладка не определена. |
| 7.2. Selection of wire section | Ошибка! Закладка не определена. |
| 7.2.1. Selection by mechanical strength | Ошибка! Закладка не определена. |
| 7.2.2. Select by download current | Ошибка! Закладка не определена. |
| 7.2.3. Power selection | Ошибка! Закладка не определена. |
| 7.3. Problem solving examples | Ошибка! Закладка не определена. |
| 7.4. Problems for independent solution | Ошибка! Закладка не определена. |
| APPENDIX | 217 |

REFERENCES 224

So‘z boshi

Har qanday jamiyat rivojlanishining asosiy tamoyillaridan biri, xalq xo‘jaligi va ishlab chiqarishning turli sohalari uchun yuqori malakali mutaxassislar bilan ta‘minlanganligidir. Buning uchun oliy o‘quv yurtlarida o‘quv jarayonini yanada takomillashtirish, zamonaviy ta‘lim texnologiyalarini joriy etish, talabalarda nazariy bilimlar asosida amaliy ko‘nikmalarni rivojlantirish, mustaqil ishlashga o‘rgatish, kasbiy qobiliyatlarini rivojlantirish lozim bo‘ladi. Talabalar bilimini o‘quv yili davomida nazorat qilish, bajarilayotgan amaliy mashg‘ulotlar va mustaqil ishlarini kuzatib borish hamda ularga holisona baho berib, yetuk mutaxassis bo‘lib yetishishlariga erishish mumkin.

Texnik amaliy mashg‘ulotlarni yechish va uni tahlil qilish nazariy bilimlarni yaxshi o‘zlashtirishga yordam beradi, amaliy mashg‘ulotlarni yechish jarayonida talabalarni olgan bilimlaridan foydalanishga o‘rgatadi, keyingi muhandislik faoliyati uchun zarur bo‘lgan amaliy ko‘nikma hosil qiladi.

O‘quv qo‘llanma quyidagi tarzda bayon qilingan: dastlab amaliy mashg‘ulotlarni yechish va tahlil qilish uchun zarur bo‘lgan qisqacha malumotlar, shuningdek transformatorlar, avtotransformatorlar, qisqa tutashgan va faza rotorli asinxron mashinalari va ayon va noayon qutbli sinxron mashinalari xamda parallel, ketma-ket qo‘zg‘atishli o‘zgarmas tok elektr mashinalariga oid masalalarni yechishga doir metodik ko‘rsatmalar bilan berilgan. Qo‘llanmaning bunday bayon qilinishi ba‘zi hollarda qo‘shimcha adabiyotlardan foydalanmasdan turib, amaliy mashg‘ulotlarni yechish va tahlil qilish imkonini beradi, bu esa talabalarning bilimini oshirish bo‘yicha auditoriya mashg‘ulotlarini sodda va qiziqarli qilib o‘tkazishda juda qo‘l keladi.

Ushbu o‘quv qo‘llanma «Elektr mashinalari» fanini o‘rganuvchi «5310700 – Elektrotexnika, elektromexanika va elektr texnologiyalari» va «5310200 -Elektr energetikasi (tarmoqlar bo‘yicha)» yo‘nalishlaridagi talabalarga elektr mashinalari va transformatorlarga doir amaliy mashg‘ulotlar, hamda mustaqil ish topshiriqlarini bajarishda yordam beradi.

KIRISH

K.1. Kuch va maxsus elektr mashinalarining asosiy xossalariga oid umumiy ma'lumotlar

Elektr mashina mexanik energiyani magnit maydoni yordamida elektr energiyaga (elektr generatorlari) yoki elektr energiyani magnit maydoni yordamida mexanik energiyaga (elektr dvigatellari) aylantirib beradigan elektromexanik o'zgartgich (EMO')dir. Elektr mashinalarida energiyaning elektromexanik o'zgartirilishi o'zaro induktiv bog'langan chulg'amlar vositasida amalga oshirilib, elektromagnit induksiya qonuniga asoslangan.

O'zgaruvchan tok chastotasini o'zgartirmagan holda kuchlanishining qiymatini o'zgartirib beruvchi transformatorlar ham elektr mashinalarining o'ziga xos turidir. Chunki transformatorlarda bo'ladigan fizik jarayonlar elektr mashinalaridagi fizik jarayonlar bilan bir xil kechadi. Shuning uchun transformator – statik (aylanuvchi qismi bo'lmagan) elektromagnit o'zgartgich deyiladi.

Elektromagnit induksiya hodisasi elektr mashinalari nazariyasining asosini tashkil qiladi. Elektromagnit induksiya hodisasi ikki shaklda namoyon bo'ladi:

1) **F a r a d e y t a' r i f i**. «Vaqt bo'yicha o'zgarish bo'lgan magnit maydon kuch chiziqlarini biror tezlik bilan kesib o'tayotgan o'tkazgichda hosil bo'lgan EYuK ning qiymati magnit induksiya « \mathbf{B} » ga, o'tkazgich uzunligi « l » ga va uning harakat tezligi « v » ga to'g'ri mutanosib bo'ladi, ya'ni $\mathbf{E} = \mathbf{Blv}$ »;

2) **M a k s v e l l t a' r i f i**. «Magnit oqimi bilan ilashgan berk o'tkazgichdagi EYuK ning qiymati magnit oqimi o'zgarish tezligining kattaligiga teng, ya'ni $e = -d\Phi/dt$ ». [I z o h: Bunday EYK ning yo'nalishi rus olimi **L e n s** kashf qilgan prinsip (qoida) bo'yicha aniqlanadi, ya'ni berk o'tkazgich bilan ilashadigan magnit oqim ($d\Phi/dt$) $\gg 0$ bo'lganda berk o'tkazgichda vujudga keladigan EYuK ning ishorasi «minus» bo'lib, ($d\Phi/dt$) < 0 bo'lganda esa uning ishorasi «plus» bo'ladi].

L e n s q o i d a s i. «O'zgarayotgan magnit oqim ilashgan berk o'tkazuvchi kontur (zanjir)da shunday yo'nalishdagi EYuK hosil bo'ladiki, uning hosil qilgan toki va u bilan bog'liq bo'lgan mexanik kuchlar magnit oqimning o'zgarishiga aks ta'sir qiladi».

K.2. O'quv qo'llanmada qabul qilingan asosiy harfiy belgilanishlar (atamalar)

A – o'zgarmas tok mashinalarining chiziqli yuklamasi.

a – o'zgarmas tok mashinasi yakor chulg'amidagi juft parallel shoxobchalar soni; o'zgaruvchan tok mashinasi chulg'amidagi parallel shoxobchalar soni.

$2a$ – o'zgarmas tok mashinasi yakor chulg'amidagi parallel shoxobchalar soni.

B, B_{δ} – magnit induksiyasi, havo oralig'idagi magnit induksiyasi.

C – elektr sig'im.

$D; D_1; D_2$ – diametr; stator va rotor diametrlari

E – elektr yurituvchi kuch (EYuK)

E_{ya} – o'zgarmas tok mashinasi yakorining EYuK

$E_1; E_2$ – transformator birlamchi va ikkilamchi chulg'amlarining EYuK lari; o'zgaruvchan tok mashinasi stator chulg'ami va rotorining faza EYuK

E_0 – sinxron mashinalarning asosiy EYuK

$E_{\sigma 1}; E_{\sigma 2}$ – birlamchi va ikkilamchi chulg'amlarining sochilma EYuK

E_{2s} – sirpanish EYuK

E_{20} – asinxron motorning qo'zg'almas rotoridagi kontaktli halqalaridagi o'lchangan EYuK

F – magnit yurituvchi kuch (MYuK), magnit kuchlanishi

$F_{\delta}; F_z; F_c$ – havo oralig'i, tishli qatlam, elektr mashinasi (yassiligining) magnit kuchlanishi

f – transformator chulgʻamlaridagi oʻzgaruvchan tok chastotasi

$f_1; f_2$ – mos holda stator va rotor chulgʻamlaridagi oʻzgaruvchan tok chastotasi

f_s – asinxron motorning sirpanish chastotasi

H – magnit maydoni kuchlanganligi

$I; I_{max}; i$ – elektr tokining: taʼsir etuvchi, maksimal va oniy qiymatlari

$I_1; I_2$ – transformatorning birlamchi va ikkilamchi chulgʻamidagi tok; oʻzgaruvchan tok mashinasi stator va rotor chulgʻamlarining fazalaridagi tok

$I_{ish.t}$ – asinxron motorni ishga tushirish toki

$I_0; I_{qt}$ – salt ish va qisqa tutashuv toklari

I_* – tokning nisbiy qiymati

K – oʻzgarmas tok mashinasi kollektorining kollektorli plastinalar soni

k – transformatorning transformatsiya koeffitsienti

k_A – chulgʻam koeffitsienti

k_{ch} – oʻzgaruvchan tok mashinasi chulgʻamini taqsimlash koeffitsienti

k_{qisq} – oʻzgaruvchan tok mashinasi chulgʻamini qisqartirish koeffitsienti

k_{sk} – pazlar

k_{kuch} – kuchaytirish koeffitsienti

k_μ – magnit oʻtkazgichning magnitli toʻyinish koeffitsienti

$l_1; l_2$ – stator va rotor oʻzaklarining uzunligi

M – elektr mashinaning elektrmagnit momenti

M_0 – salt ish momenti

M_2 – motor validagi moment

$M_a; M_r$ – ayon qutbli sinxron mashinasi elektromagnit momentining aktiv va reaktiv tashkil etuvchilari

$m_1; m_2$ – stator va rotor chulg‘amidagi fazalar soni

N – elektr mashina chulg‘amidagi pazlar tomonlari soni

n – aylanish chastotasi

n_1 – o‘zgaruvchan tok mashinasi rotorining sinxron aylanish chastotasi

n_2 – asinxron motor rotorining aylanish chastotasi

n_0 – salt ish rejimidagi aylanish chastotasi

n_{00} – ideal salt ish holatidagi aylanish chastotasi

P – aktiv quvvat

$P_1; P_2$ – elektr qurilmaning kirish va chiqishidagi aktiv quvvati

$P_0; P_{qt}$ – elektr qurilmaning salt ish va qisqa tutashuvdagi quvvatlari

$P_{em}; P_{mex}; P_{el}; P_{qo‘sh}$ – magnit, mexanik, elektr va qo‘shimcha quvvat isroflari

p – elektr mashinasidagi juft qutblar soni

$2p$ – elektr mashinasidagi qutblar soni

Q – reaktiv quvvat

$Q_{s.k}$ – sinxron kompensator quvvati

$q_1; q_2$ – o‘zgaruvchan tok mashinasi stator va rotorining qutbi va fazasidagi pazlar soni

R – aktiv elektr qarshilik

R_{nom} – motorning nominal qarshiligi

R_{reos} – ishga tushirish reostatining qarshiligi

r_1 – transformator birlamchi chulg‘aming, o‘zgaruvchan tok mashinasi statori faza chulg‘aming aktiv qarshiligi

r_2 – transformator ikkilamchi chulg‘aming yoki rotor faza chulg‘aming aktiv qarshiligi

r_2' – birlamchi zanjir parametrlariga keltirilgan, transformator ikkilamchi chulg‘aming yoki rotor faza chulg‘aming aktiv qarshiligi

r_m – transformator va asinxron motorning elektr almashtirish sxemasidagi magnitlovchi shoxobchanning aktiv qarshiligi

$r_{qo'sh}$ – qo‘shimcha rezistor qarshiligi

$r_{qo'iz}$ – qo‘zg‘atish chulg‘ami qarshiligi

r_{ya} – yakor chulg‘ami qarshiligi

$r_{qo'sh.q}$ – qo‘shimcha qutblar chulg‘aming qarshiligi

r_{qt} – elektr qurilmasining qisqa tutashuv rejimidagi aktiv qarshiigi

S – to‘la elektr quvvat

S_1 – transformatorning birlamchi zanjiridagi yoki stator chulg‘amidagi to‘la quvvat

S_2 – transformator ikkilamchi zanjiridagi to‘la quvvat

s – asinxron mashinaning sirpanishi

s_{kr} – kritik sirpanish

T – vaqt doimiysi

t – vaqt

$U; U_{max}; u$ – elektr kuchlanishning ta’sir etuvchi, maksimal va oniy qiymati

$U_1; U_2$ – transformatorning birlamchi va ikkilamchi chulg‘am qisqichlaridagi yoki o‘zgaruvchan tok mashinasining statori va rotori chulg‘amlari qisqichlaridagi kuchlanish

U'_2 – birlamchi zanjir yoki stator parametrlariga keltirilgan transformatorning ikkilamchi zanjiridagi yoki asinxron motor rotoridagi kuchlanish

$U_{qor'z}$ – elektr mashinasining qo‘zg‘atish chulg‘ami zanjiriga beriladigan kuchlanish

$U_{qo'k}$ – qo‘shni kollektor plastinalari orasidagi kuchlanish

U_l – uch fazali tarmoq (liniya) kuchlanishi

U_{nom} – kuchlanishning nominal qiymati

ϑ – chiziqli tezlik

w – elektr qurilma chulg‘ami (g‘altagi)ning o‘ramlar soni

$w_1; w_2$ – transformatorning birlamchi va ikkilamchi chulg‘amlaridagi yoki o‘zgaruvchan tok mashinasining stator va rotori chulg‘amlarining o‘ramlar soni

w – qo‘zg‘atish chulg‘amining o‘ramlar soni

$w_{g'alt}$ – asinxron mashina statori yoki rotori chulg‘amidagi g‘altakning o‘ramlar soni

$w_{qo'sh.q}$ – qo‘shimcha qutblar chulg‘amining o‘ramlar soni

w_p – ketma-ket qo‘zg‘atishli chulg‘amlarning o‘ramlar soni

x – reaktiv qarshilik

x_1 – transformator birlamchi chulg‘amining yoki o‘zgaruvchan tok mashinasi stator chulg‘amining induktiv qarshiligi

x_2 –transformatorning ikkilamchi chulg‘aming yoki o‘zgaruvchan tok mashinasi rotor chulg‘aming induktiv qarshiligi

x'_2 –birlamchi zanjir parametrlariga keltirilgan transformator ikkilamchi chulg‘aming yoki o‘zgaruvchan tok mashinasi rotor chulg‘aming induktiv qarshiligi

x_m –transformator yoki asinxron motorning almashtirish sxemasidagi magnitlovchi shoxobchanning induktiv qarshiligi

x_{ya} –noayon qutbli sinxron mashina yakor reaksiyasining induktiv qarshiligi

x_c –noayon qutbli sinxron mashinaning sinxron qarshiligi

$x_{yad}; x_{yaa}$ –ayon qutbli sinxron mashinaning bo‘ylama va ko‘ndalang o‘qlari bo‘yicha yakor reaksiyasining induktiv qarshiligi

$x_d; x_q$ –ayon qutbli sinxron mashinaning bo‘ylama va kundalang o‘qlari bo‘yicha sinxron induktiv qarshiligi

x_{qt} –elektr qurilmasining qisqa tutashuv rejimidagi induktiv qarshiligi

$y_1; y_2; y$ –yakor chulg‘aming birinchi, ikkinchi va umumiy qadami

y_k –kollektor bo‘yicha chulg‘am qadami

y_{ur} –yakor chulg‘aming potensial qadami

Z –to‘la elektr qarshilik

$Z_1; Z_2$ –transformator birlamchi va ikkilamchi chulg‘amlarining yoki o‘zgaruvchan tok mashinasi statori va rotor chulg‘amlarining to‘la qarshiligi

Z'_2 –birlamchi zanjir parametrlariga keltirilgan, ikkilamchi zanjirning to‘la qarshiligi

Z_{qt} –qisqa tutashuv rejimidagi elektr qurilmaning to‘la qarshiligi

α –elektr qarshilikning temperatura (harorat) koeffitsienti

- β – o‘zgaruvchan tok chulg‘a-mining nisbiy qadami
- β – elektr qurilmaning yuklanish koeffitsienti
- θ – sinxron mashinaning yuklama burchagi
- θ_1 – elektr qurilma chulg‘a-mining qizish temperaturasi (harorati)
- θ_2 – atrof - muhat temperaturasi (harorati)
- τ – chulg‘a-mining qutb bo‘linmasi
- δ – elektr mashina statori va rotori (yakori) orasidagi bir tomonlama havo tirqishi (bo‘shlig‘i)
- Δ – simdagi tok zichligi
- η – elektr qurilmaning foydali ish koeffitsienti (FIK)
- λ – elektr mashina momentlarining yoki toklarining karraligi (nisbati)
- ρ – o‘tkazgichning solishtirma elektr qarshiligi
- σ – magnitli sochilish koeffitsienti
- Φ – asosiy magnit oqimi
- Φ_0 – sochilma magnit oqimi
- Ψ – tok va EYuK vektorlari orasidagi faza siljish burchagi
- φ – tok va kuchlanish vektorlari fazasidagi faza siljish burchagi
- ω – burchak aylanish tezligi
- ΣP – elektr qurilmadagi umumiy isroflar

I-BOB. TRANSFORMATORLAR

1.1. Asosiy tushunchalar. Transformatorni ekspluatatsiyalash rejimlari

Sanoat korxonalarini, shaharlar, qishloq va suv xo'jaligi elektr iste'molchilari orasida energiyani taqsimlash va ularni elektr energiya bilan ta'minlash sistemasida *kuch transformatorlari keng qo'llaniladi*.

Transformatorning xossalari YK va uning nominal parametrlari orqali aniqlanadi:

- 1) birlamchi nominal liniyaviy kuchlanishi U_{1N} , **V yoki kV**;
- 2) ikkilamchi nominal liniyaviy kuchlanishi U_{2N} (yuklama ulanmagan holda va birlamchi chulg'am kuchlanishi nominal bo'lgandagi ikkilamchi chulg'am chiqish uchlaridagi kuchlanish), **V yoki kV**;
- 3) birlamchi va ikkilamchi chulg'amlarining nominal liniyaviy toklari I_{1N} va I_{2N} , **A**, nominal liniyaviy toklar transformatorning nominal quvvatlari bo'yicha hisoblanadi: *uch fazali transformator uchun*: $I_{1N} = S_N \cdot 10^3 / (\sqrt{3} U_{1N})$, $I_{2N} = S_N \cdot 10^3 / (\sqrt{3} U_{2N})$;
- 4) to'la nominal quvvati S_N , **kV·A** (*bir fazali transformator uchun* $S_N = U_{1N} I_{1N}$, *uch fazali uchun* $S_N = \sqrt{3} U_{1N} I_{1N}$);
- 5) mustaqil davlatlar hamdo'stligi (MDH) mamlakatlarida umumiy maqsadli transformatorlar $f = 50$ Hz chastotali elektr tarmog'iga ulash uchun hisoblangan.

Nominal kuchlanish deganda har bitta chulg'amning liniya kuchlanishi tushuniladi. Ikkilamchi chulg'amning nominal kuchlanishi uchun $U_{2N} = U_{2(0)}$ qabul qilinadi. Transformatorning nominal toklari deganda quvvati $S_1 = S_2 = S_N$ va kuchlanishlari (U_{1N} va U_{2N}) bo'yicha hisoblangan 1- va 2-chulg'amlarning liniya qiymatlari tushuniladi.

Bulardan tashqari transformator pasportida quyidagi ma'lumotlar keltirilgan bo'ladi: yuklamasiz toki « i_0 » ning birlamchi chulg'am kuchlanishi nominal qiymatiga to'g'ri kelgan qiymati (nominal tok I_{1N} ga nisbatan % larda);

qisqa tutashuv kuchlanishi « u_q » ning qiymati (nominal kuchlanish U_{IN} ga nisbatan % larda). Uch fazali transformatorlar uchun **chulg'amlar ulanishining sxemalari va ulanish guruhi**, uch fazali ikki chulg'amli transformator uchun **Y/Y-0** yoki **Y/ Δ -11** yozilgan bo'lishi mumkin (bundagi raqam ulanish guruhini bildiradi).

Transformator magnitlovchi konturining to'la Z_0 hisobiy aktiv $r_m \approx r_0$ va induktiv x_0 qarshiliklari quyidagicha aniqlanadi:

a) birlamchi chulg'ami "Y" sxemaga ulangan uch fazali transformator uchun:

$$\underline{Z}_0 = U_1 / (\sqrt{3} I_0), \quad r_0 = P_0 / (3I_0^2), \quad x_0 = \sqrt{Z_0^2 - r_0^2}; \quad (1.1)$$

b) birlamchi chulg'ami " Δ " sxemaga ulangan uch fazali transformator uchun

$$\underline{Z}_0 = \sqrt{3} U_1 / I_0, \quad r_0 = P_0 / I_0^2, \quad x_0 = \sqrt{Z_0^2 - r_0^2}. \quad (1.2)$$

Transformatorning salt ishlash rejimi uchun almashtirish sxemasidan ko'rinishicha, uning \underline{Z}_0 , r_0 , x_0 parametrlari quyidagi yig'indilardan iborat bo'ladi:

$$\underline{Z}_0 = \underline{Z}_1 + \underline{Z}_m; \quad r_0 = r_1 + r_m; \quad x_0 = x_1 + x_m. \quad (1.3)$$

Qisqa tutashuv tajribasidan olingan ma'lumotlar bo'yicha transformator almashtirish sxemasining parametrlari: to'la (Z_{qt}), aktiv (r_{qt}) va induktiv (x_{qt}) qarshiliklari quyidagicha aniqlanadi:

a) birlamchi chulg'ami "Y" sxemasiga ulangan uch fazali transformator uchun:

$$Z_{qt} = U_{qt} / (\sqrt{3} I_{qt}), \quad r_{qt} = P_{qt} / (3I_{qt}^2), \quad x_{qt} = \sqrt{Z_{qt}^2 - r_{qt}^2}; \quad (1.4)$$

b) birlamchi chulg'ami " Δ " sxemasiga ulangan uch fazali transformator uchun:

$$Z_{qt} = \sqrt{3} U_{qt} / I_{qt}, \quad r_{qt} = P_{qt} / I_{qt}^2, \quad x_{qt} = \sqrt{Z_{qt}^2 - r_{qt}^2}. \quad (1.5)$$

Odatda birlamchi va keltirilgan ikkilamchi chulgʻamlarning toʻla ($\underline{Z}_1, \underline{Z}'_2$), aktiv (r_1, r'_2) va induktiv (x_1, x'_2) qarshiliklari taxminan quyidagiga teng

$$\underline{Z}_1 \approx \underline{Z}'_2 \approx 0,5 \underline{Z}_{qt} ;$$

$$r_1 \approx r'_2 \approx r_{qt} / 2 ;$$

$$x_1 \approx x'_2 \approx x_{qt} / 2 ,$$

deb hisoblanadi.

Transformatorning toʻla quvvati quyidagi tenglama bilan ifodalanadi:

$$S = mUI, \quad (1.6)$$

bu yerda: m – fazalar soni, U – kuchlanish, I – tok kuchi.

Toʻla quvvatning reaktiv tashkil etuvchisi

$$Q = mUI \sin \varphi, \quad (1.7)$$

bu yerda: φ – tok va kuchlanish orasidagi burchak.

Toʻla quvvatning aktiv tashkil etuvchisi

$$P = mUI \cos \varphi \quad (1.8)$$

Maʼlumki magnit oqimi Φ , birlamchi va ikkilamchi chulgʻamlarda E_1 va E_2 EYuK larni hosil qiladi:

$$\begin{cases} E_1 = 4,44 \cdot f \cdot w_1 \cdot \Phi \\ E_2 = 4,44 \cdot f \cdot w_2 \cdot \Phi \end{cases} \quad (1.9)$$

bu yerda: f – tarmoq chastotasi; w_1, w_2 – tegishlicha birlamchi va ikkilamchi chulgʻamlarning oʻramlar soni; Φ – magnit oqimning maksimal qiymati.

Transformatorning transformatsiyalash koeffitsiyenti

$$k_t = \frac{E_1}{E_2} \approx \frac{U_1}{U_2} = \frac{w_1}{w_2} \approx \frac{I_2}{I_1} \quad (1.10)$$

Birlamchi va ikkilamchi chulgʻamdagi magnit yurituvchi kuch (MYuK) lar

$$\begin{cases} F_1 = I_1 \cdot w_1 \\ F_2 = I_1 \cdot w_2 \end{cases} \quad (1.11)$$

Ikkilamchi chulg'am parametrlarini birlamchi chulg'am parametrlariga keltirilgan qiymatlari:

Keltirilgan tok

$$I'_2 = \frac{I_2}{k_t} \quad (1.12)$$

Keltirilgan kuchlanish

$$U'_2 = k_t \cdot U_2 \quad (1.13)$$

Keltirilgan aktiv va induktiv qarshiliklar

$$\begin{cases} R'_2 = R_2 \cdot k_t^2 \\ X'_2 = X_2 \cdot k_t^2 \end{cases} \quad (1.14)$$

1.2. Transformatorlar kuchlanishlarining muvozanat tenglamasi

Salt ishlayotgan transformator kuchlanishlarining muvozanat tenglamasi:

$$\dot{U}_1 = -\dot{E} + \dot{I}_x \cdot R_1 + j\dot{I}_x \cdot x_1 = -\dot{E} + \dot{I}_x \cdot (R_1 + jx_1) \quad (1.15)$$

bu yerda: \dot{I}_x – salt ishlash toki vektori.

Yuklama bilan ishlayotgan transformator kuchlanishlarining muvozanat tenglamasi

$$\dot{U}_1 = -\dot{E} + \dot{I}_1 \cdot R_1 + j\dot{I}_1 \cdot x_1 = -\dot{E} + \dot{I}_1 \cdot (R_1 + jx_1) \quad (1.16)$$

$$-\dot{E} = \dot{U}'_2 - \dot{I}'_2 \cdot R'_2 - j\dot{I}'_2 \cdot x'_2 = \dot{U}'_2 - \dot{I}'_2 \cdot (R'_2 + jx'_2) \quad (1.17)$$

$$\dot{I}_1 + \dot{I}'_2 = \dot{I}_x \quad (1.18)$$

Transformatorning quvvat koeffitsiyenti

$$\cos \varphi = P / \sqrt{3} \cdot U \cdot I \quad (1.19)$$

Qisqa tutashuv kuchlanishi

$$U_{qt} = \frac{U_{qt.n}}{U_{1n}} \cdot 100 \quad (1.20)$$

Qisqa tutashuv kuchlanishining absolyut qiymati

$$U_{qt} = \sqrt{U_a^2 + U_r^2} \quad (1.21)$$

Qisqa tutashuv rejimidagi quvvat koeffitsiyenti

$$\cos \varphi = \frac{R}{Z} \quad (1.22)$$

1.3. Transformatorning FIK va quvvat isroflari

Transformatorlarda asosan chulgʻamlarda P_{ch} va poʻlat oʻzakda P_p quvvat isroflari sodir boʻladi:

Poʻlat oʻzakdagi quvvat isrofi quyidagi tenglama bilan ifodalanadi:

$$P_p = k_{tr} \cdot P_{1.0} \cdot (B_m)^2 \cdot m_p \quad (1.23)$$

bu yerda: $P_{1.0}$ – induksiya 1 Tl boʻlgan 1 kg poʻlatdagi solishtirma quvvat isrofi; m_p – magnit oʻtkazgichning (poʻlatning) massasi; k_{tr} – magnit oʻtkazgichning konstruksiyasiga va unga ishlov berishga bogʻliq boʻlgan doimiylik. Bu doimiylikning oʻrtacha qiymati $k_{tr} = 1,2$ ga teng.

Chulgʻamlardagi elektr isroflar

$$P_{ch} = m_1 \cdot I_{1f}^2 \cdot R_1 + m_2 \cdot I_{2f}^2 \cdot R_2 \quad (1.24)$$

bu yerda: m_1, m_2 – birlamchi va ikkilamchi chulgʻamlarning fazalar soni; I_{1f}^2, I_{2f}^2 – tegishlicha chulgʻamlarning faza toklari; R_1, R_2 – tegishlicha chulgʻamlarning aktiv qarshiligi.

Transformatorning FIK

$$\eta = \frac{P_2}{P_2 + P_p + P_{ch}} \cdot 100 = \frac{P_1 + P_p + P_{ch}}{P_1} \cdot 100 \quad (1.25)$$

yoki toʻla quvvat orqali FIK ni yozsak, u holda

$$\eta = \frac{S_2 \cdot \cos \varphi_2}{S_2 \cdot \cos \varphi_2 + P_p + P_{ch}} \cdot 100 \quad (1.26)$$

(1.21) tenglamaning surati va maxrajini $S_2 \cos \varphi_2$ ga bo'lib, hamda

$$P_{ch} = P_{ch.n} \cdot \left(\frac{S_2}{S_n}\right) = P_{ch} \cdot x^2 \text{ ni kiritib}$$

$$\eta = \frac{1}{1 + \frac{P_p + P_{ch}}{S_2 \cdot \cos \varphi_2}} \cdot 100 = \frac{1}{1 + \frac{P_p + x^2 \cdot P_{ch.n}}{S_2 \cdot \cos \varphi_2}} \cdot 100 \quad (1.27)$$

1.4. Transformatorning ikkilamchi chulg'amdagi kuchlanishini o'zgartirish

Agarda transformatorning birlamchi chulg'amidagi kuchlanish $U_1 = const$ deb hisoblasak, u holda ikkilamchi chulg'amning kuchlanishi U_2 yuklama xarakteriga qarab o'zgaradi.

Kuchlanish pasayishi

$$\begin{aligned} \Delta U &= U_1 - U_2' \approx I \cdot R \cdot \cos \varphi_2 = I \cdot x \cdot \sin \varphi_2 \\ &= I \cdot (R \cdot \cos \varphi_2 + x \cdot \sin \varphi_2) \end{aligned} \quad (1.28)$$

(1.23) dan U_2' ni topsak

$$U_2' = U_1 - I \cdot (R \cdot \cos \varphi_2 + x \cdot \sin \varphi_2) \quad (1.29)$$

(1.24) dan ikkinchi tashkil etuvchini U_{1n} ga bo'lib, quyidagiga ega bo'lamiz

$$U_{qt} = U_a \cdot \cos \varphi_2 + U_r \cdot \sin \varphi_2 \quad (1.30)$$

(1.25) tenglama $\cos \varphi_2 \leq 0,04$ da juda yaxshi natija beradi, agarda $\cos \varphi_2 \geq 0,05$ bo'lsa, u holda quyidagi formulani qo'llash lozim

$$U_{qt} = U_a \cdot \cos \varphi_2 + U_r \cdot \sin \varphi_2 + \frac{1}{200} \cdot (U_r \cdot \cos \varphi_2 + U_a \cdot \sin \varphi_2) \quad (1.31)$$

1.5. Masalalarni yechish bo'yicha namunalalar

1.5.1. Transformatsiya koeffitsiyenti, chulg'amlardagi EYuK va toklar, salt ishlash va qisqa tutashuv parametrlari

1.1 – masala. Bir fazali ikki chulg'amli transformatorning nominal kuchlanishlari: $U_{1nom} = 6,3 \text{ kV}$, $U_{2nom} = 0,4 \text{ kV}$; magnit o'tkazgich o'zagidagi magnit induksiyasining maksimal qiymati $1,5 \text{ Tl}$; shu o'zakning ko'ndalang kesimi yuzasi 200 sm^2 ; o'zakni po'lat bilan to'ldirish koeffitsiyenti $k_c = 0,95$. Agar o'zgaruvchan tok tarmog'idagi chastota $f = 50 \text{ Hz}$ bo'lsa, transformatorning chulg'amlaridagi o'ramlar soni va transformatsiya koeffitsiyenti aniqlansin?

Yechish.

1. Asosiy magnit oqimining maksimal qiymati

$$\Phi_{max} = B_{max} \cdot Q_{st} \cdot k_c = 1,5 \cdot 0,02 \cdot 0,95 = 0,0285 \text{ Vb.}$$

2. Ikkilamchi chulg'amdagi o'ramlar soni

$$w_2 = \frac{U_2}{(4,44 \cdot f \cdot \Phi_{max})} = \frac{400}{(4,44 \cdot 50 \cdot 0,0285)} = 63 \text{ o'ram.}$$

3. Transformatsiya koeffitsiyenti

$$k = \frac{U_{1n}}{U_{2n}} = \frac{6,3}{0,4} = 15,75.$$

4. Birlamchi chulg'amdagi o'ramlar soni

$$w_1 = w_2 \cdot k = 63 \cdot 15,75 = 992 \text{ o'ram.}$$

1.2 – masala. *TM* rusumli uch fazali moyli transformatorlarning 1.1 – jadvalda keltirilgan parametrlari qiymatlaridan foydalanib, (rusumlarni belgilashlarda: suratda transformatorning nominal quvvati kVA , maxrajda – yuqori kuchlanish kV larda ko'rsatilgan) har bir variant uchun shu jadvalda kattaliklari keltirilmagan parametrlarning qiymatlari aniqlansin. Chulg'amlar *Y/Y* sxemasi bo'yicha ulangan. Tarmoqdagi tok chastotasi $f = 50 \text{ Hz}$.

| Parametrlar | Transformator rusumi | | | | | | | | |
|---|----------------------|-------------|--------------|--------------|--------------|---------------|---------------|---------------|-------------|
| | TM- 1000/35 | TM- 50/6 | TM- 100/6 | TM- 180/6 | TM- 320/6 | TM- 560/35 | TM- 750/35 | TM- 1000/6 | TM- 10/6 |
| Asosiy magnit oqimi F_{max}, Vb | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| O'ramlar soni w_1 | 1600 | 1190 | - | - | 522 | 2000 | - | - | - |
| O'ramlar soni w_2 | - | - | 72 | - | - | - | 146 | - | - |
| Magnit o'tkazgich o'zagining kesimi $Q_{st}, m^2, B_{max} = 1,5 Tl$ | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| Kuchlanish U_{1nom}, kV | 35 | 6 | 6 | 6 | 6 | 35 | 35 | 6 | 6 |
| Kuchlanish U_{2nom}, kV | - | 0,4 | 0,5 | 0,5 | 0,4 | - | 3,15 | 0,4 | 0,4 |
| Transformatsiya koeffitsiyenti, k | 5,56 | - | - | - | - | 5,55 | - | - | - |

Yechish $TM - 1000/35$ transformatorli variant.

1. Past kuchlanishli chulg'am uchlaridagi kuchlanish

$$U_{2nom} = \frac{U_{1nom}}{k} = \frac{35}{5,56} = 6,3 \text{ kV.}$$

2. Past kuchlanishli faza chulg'amidagi o'ramlar soni

$$w_2 = \frac{w_1}{k} = \frac{1600}{5,56} = 288 \text{ o'ram.}$$

3. Asosiy magnit oqimining maksimal qiymati

$$\Phi_{max} = \frac{U_{2nom}}{(\sqrt{3} \cdot 4,44 \cdot f \cdot w_2)} = \frac{6300}{(1,73 \cdot 4,44 \cdot 50 \cdot 288)} = 0,057 \text{ Vb.}$$

4. Magnit o'tkazgich o'zagining ko'ndalang kesim yuzasi

$$Q_{st} = \frac{\Phi_{max}}{(B_{max} \cdot k_c)} = \frac{0,057}{1,5 \cdot 0,95} = 0,04 \text{ m}^2.$$

1.3 – masala. Nominal quvvati S_{nom} va ikkilamchi nominal kuchlanishi U_{2nom} bo'lganda, ikkilamchi zanjirdagi nominal toki I_{2nom} bo'lgan bir fazali ikki

chulgʻamli transformator chulgʻamlaridagi oʻramlar soni w_1 va w_2 da k transformatsiya koeffitsiyentiga ega. Uzakdagi magnit induksiyaning maksimal qiymati B_{max} , shu uzakning koʻndalang kesim yuzasi Q_{st} . Bir oʻramning EYuK E_{orr} , tarmoqdagi oʻzgaruvchan tok chastotasi $f = 50\text{Hz}$. Qayd etilgan parametrlarning qiymatlari 1.2 – jadvalda keltirilgan. Har bir variant uchun shu jadvalda koʻsatilmagan parametrlarning qiymatlarini aniqlash talab etiladi.

1.2 – jadval

| Parametrlar | Variantlar | | | | |
|----------------|------------|-------|-----|-------|------|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| S_{nom}, kVA | - | 120 | - | 240 | 600 |
| U_{2nom}, V | 400 | 630 | - | 880 | 660 |
| w_1 | - | 1800 | - | - | - |
| w_2 | - | - | 169 | 128 | 140 |
| k | 15 | - | 12 | 23,4 | 9,55 |
| E_{orr}, V | 5 | - | 6 | - | - |
| Q_{st}, m^2 | - | 0,018 | | 0,022 | - |
| B_{max}, Tl | 1,5 | 1,4 | 1,5 | - | 1,55 |
| I_{2nom}, A | 172 | - | 140 | - | - |

Yechish variant 1.

1. Asosiy magnit oqimining maksimal qiymati

$$\Phi_{max} = \frac{E_{orram}}{(4,44 \cdot f \cdot w_2)} = \frac{5}{(4,44 \cdot 50 \cdot 1)} = 0,0225 \text{ Vb.}$$

2. Magnit oʻtkazgich oʻzagining koʻndalang kesim yuzasi

$$Q_{st} = \frac{\Phi_{max}}{(B_{max} \cdot k_c)} = \frac{0,0225}{1,5 \cdot 0,95} = 0,0158 \text{ m}^2.$$

3. Ikkilamchi chulgʻamning oʻramlar soni

$$w_2 = \frac{U_{2nom}}{(4,44 \cdot f \cdot \Phi_{max})} = \frac{400}{(4,44 \cdot 50 \cdot 0,0225)} = 80 \text{ o'ram.}$$

4. Birlamchi chulg'amning o'ramlar soni

$$w_1 = w_2 \cdot k = 88 \cdot 15 = 1200 \text{ o'ram.}$$

5. Transformatorning to'liq nominal quvvati

$$S_{nom} = U_{2nom} \cdot I_{2nom} = 400 \cdot 172 = 68,8 \text{ kVA.}$$

1.4 – masala. Bir fazali transformator tok chastotasi $f=50\text{Hz}$ li tarmoqqa ulangan. Ikkilamchi nominal kuchlanish U_{2nom} , transformatsiya koeffitsiyenti k (jadval 1.3). Agar magnit o'tkazgich o'zagining kesimi Q_{st} li transformatorida magnit induksiyasining maksimal qiymati B_{max} bo'lsa, chulg'amlardagi o'ramlar soni w_1 va w_2 aniqlansin. O'zakni po'lat bilan to'ldirish koeffitsiyenti $k_c = 0,95$.

1.3 – jadval

| Parametrlar | Variantlar | | | | | | | | | |
|---------------|------------|------|------|------|-------|------|------|-------|------|-------|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
| U_{2nom}, V | 230 | 400 | 680 | 230 | 230 | 400 | 400 | 680 | 230 | 230 |
| k | 15 | 10 | 12 | 8 | 10 | 6 | 8 | 12 | 14 | 8 |
| Q_{st}, m^2 | 0,049 | 0,08 | 0,12 | 0,18 | 0,065 | 0,08 | 0,12 | 0,076 | 0,06 | 0,085 |
| B_{max}, Tl | 1,3 | 1,6 | 1,8 | 1,3 | 1,4 | 1,5 | 1,2 | 1,3 | 1,5 | 1,2 |

Yechish variant 1.

1. Asosiy magnit oqimining maksimal qiymati

$$\Phi_{max} = B_{max} \cdot Q_{st} \cdot k_c = 1,3 \cdot 0,049 \cdot 0,95 = 0,06 \text{ Vb.}$$

2. Transformator ikkilamchi chulg'amining o'ramlar soni

$$w_2 = \frac{U_{2nom}}{(4,44 \cdot f \cdot \Phi_{max})} = \frac{230}{(4,44 \cdot 50 \cdot 0,06)} = 17 \text{ o'ram.}$$

3. Birlamchi chulg'amning o'ramlar soni

$$w_1 = w_2 \cdot k = 17 \cdot 15 = 255 \text{ o'ram.}$$

1.5 – masala. 1.4 – jadvalda uch fazali moyli transformatorlarning ba’zi parametrlarining ma’lumotlari keltirilgan: nominal quvvat S_{nom} ; birlamchi va ikkilamchi nominal kuchlanish U_{1nom}, U_{2nom} ; birlamchi chulg‘amning nominal toki I_{1nom} ; qisqa tutashuv kuchlanishi u_{qt} va uning aktiv u_{qta} hamda reaktiv u_{qtr} tashkil etuvchilari; salt ishlash toki i_0 ; salt ishlash va qisqa tutashiv quvvatlari P_0, P_{qt} ; salt ishlash va qisqa tutashiv quvvat koeffitsiyenti $\cos \varphi_0, \cos \varphi_{qt}$; qisqa tutashuv qarshiligi Z_{qt} va uning aktiv r_{qt} hamda reaktiv x_{qt} tashkil etuvchilari; transformator yuklamasining quvvat koeffitsiyenti $\cos \varphi_2 = 0,8$ (yuklama xarakteri - induktiv) bo‘lganda, yuklama ΔU_{nom} ga kamaytirilgandagi kuchlanishning nominal o‘zgarishi. Transformator chulg‘amlari Y/Y ulangan. Transformatorning jadvalda keltirilmagan parametrlari qiymatlarini aniqlash talab etiladi.

Yechish TM-25/10 transformator varianti.

1.4 – jadval

| Parametrlar | Transformator tipi | | | | | |
|---------------------|--------------------|---------|----------|----------|-----------|----------|
| | TM-25/10 | TM-40/6 | TM-63/10 | TM-100/6 | TM-160/10 | TM-250/6 |
| S_{nom}, kVA | 25 | - | 63 | - | | 250 |
| U_{1nom}, kV | 10 | 6 | 10 | 6 | 10 | - |
| $u_{qt}, \%$ | 4,5 | - | 4,5 | - | 4,5 | - |
| $i_0, \%$ | 3,2 | - | 4,5 | 2,6 | 2,4 | - |
| P_0, kW | 0,13 | 0,175 | - | - | 0,51 | - |
| P_{qt}, kW | 0,6 | 0,88 | - | - | 2,65 | - |
| I_{1nom}, A | - | 3,87 | - | 9,6 | 9,2 | 24 |
| I_0, A | - | 0,115 | 0,16 | - | - | - |
| U_{qt}, kV | - | 0,28 | 0,45 | - | - | - |
| Z_{qt}, Ω | - | - | - | - | - | - |
| $\cos \varphi_{qt}$ | - | - | - | 0,30 | - | - |

| | | | | | | |
|----------------------|---|---|---|------|---|--------|
| $\sin \varphi_{qt}$ | - | - | - | - | - | - |
| $\cos \varphi_0$ | - | - | - | - | - | 0,13 |
| $U_{qt.a}, \%$ | | - | - | 1,95 | - | - |
| $U_{qt.r}, \%$ | - | - | - | 6,2 | - | - |
| r_{qt}, Ω | - | - | - | - | - | 0,0036 |
| x_{qt}, Ω | - | - | - | - | - | 0,01 |
| $\Delta U_{nom}, \%$ | - | - | - | - | - | - |

1. Birlamchi chulgʻamdagi nominal tok

$$I_{2nom} = \frac{S_{nom}}{(\sqrt{3} \cdot U_{1nom})} = \frac{25}{(1,73 \cdot 10)} = 1,44 \text{ A.}$$

2. Salt ishlash toki

$$I_0 = \left(\frac{i_0}{100} \right) \cdot I_{1nom} = \left(\frac{3,2}{100} \right) \cdot 1,44 = 0,046 \text{ A.}$$

3. Salt ishlash quvvat koeffitsiyenti

$$\cos \varphi_0 = \frac{P_0}{(\sqrt{3} \cdot I_0 \cdot U_{1nom})} = \frac{0,13}{(1,73 \cdot 0,046 \cdot 10)} = 0,16.$$

4. Qisqa tutashuv kuchlanishi

$$U_{qt} = \frac{U_{qt}}{100} \cdot \frac{U_{1nom}}{\sqrt{3}} = \frac{4,5}{100} \cdot \frac{10}{1,73} = 0,26 \text{ kV.}$$

5. Qisqa tutashuv quvvat koeffitsiyenti

$$\cos \varphi_{qt} = \frac{P_{qt}}{(3 \cdot I_{1nom} \cdot U_{qt})} = \frac{0,6}{(3 \cdot 1,44 \cdot 0,26)} = 0,53; \sin \varphi_{qt} = 0,85.$$

6. Qisqa tutashuv kuchlanishining aktiv va reaktiv tashkil etuvchilari

$$u_{qt.a} = u_{qt} \cdot \cos \varphi_{qt} = 4,5 \cdot 0,53 = 2,38\%,$$

$$u_{qt.r} = u_{qt} \cdot \sin \varphi_{qt} = 4,5 \cdot 0,85 = 3,8\%.$$

7. Qisqa tutashuv qarshiligi

$$Z_{qt} = \frac{U_{qt}}{I_{1nom}} = \frac{0,26 \cdot 10^3}{1,44} = 180 \Omega.$$

8. Qisqa tutashuv qarshiligining aktiv va reaktiv tashkil etuvchilari

$$r_{qt} = Z_{qt} \cdot \cos\varphi_{qt} = 180 \cdot 0,53 = 95,4 \Omega,$$

$$x_{qt} = Z_{qt} \cdot \sin\varphi_{qt} = 180 \cdot 0,85 = 153 \Omega.$$

9. Yuklama tushganda transformator kuchlanishining nominal o'zgarishi

$$\Delta U_{1nom} = u_{qt.a} \cdot \cos\varphi_2 + u_{qt.r} \cdot \sin\varphi_2 = 2,38 \cdot 0,8 + 3,8 \cdot 0,6 = 4,18\%.$$

1.6 – masala. *TM* rusumidagi uch fazali transformatorning texnik ma'lumotlari 1.5 - jadvalda keltirilgan: nominal quvvat S_{nom} , birlamchi va ikkilamchi nominal kuchlanishlar U_{1nom} , U_{2nom} ; qisqa tutashuv kuchlanishi U_{qt} ; qisqa tutashuv quvvati P_{qt} ; salt ishlash quvvati P_0 ; salt ishlash toki i_0 . Zarur parametrlar aniqlansin va qisqa tutashuv uchburchagi qurilsin. (Chulg'amlar Y/Y usulida ulangan; parametrlar ishchi temperaturaga keltirilgan).

Yechish TM-630/10 rusumli transformator varianti.

1.5 - jadval

| Transformator tipi | S_{nom} , kVA | U_{1nom} , kV | U_{2nom} , kV | u_{qt} , % | $P_{qt.nom}$, kW | $P_{0.nom}$, kW | i_0 , % |
|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------|----------------------|---------------------|-----------|
| TM-1000/10 | 1000 | 10 | 0,4 | 5,5 | 12,2 | 2,45 | 1,4 |
| TM-1600/10 | 1600 | 10 | 0,4 | 5,5 | 18 | 3,3 | 1,3 |
| TM-2500/10 | 2500 | 10 | 0,4 | 5,5 | 25 | 4,6 | 1 |
| TM-4000/10 | 4000 | 10 | 0,4 | 5,5 | 33,5 | 6,4 | 0,9 |
| TM-6300/10 | 6300 | 10 | 0,4 | 5,5 | 46 | 9 | 0,8 |
| TM-630/10 | 630 | 10 | 0,4 | 5,5 | 7,6 | 1,56 | 2 |

1. Qisqa tutashuv kuchlanishi

$$U_{1qt} = 10^{-2} \cdot u_{qt} \cdot U_{1nom} = 10^{-2} \cdot 5,5 \cdot 10 \cdot 10^3 = 550 V.$$

2. Qisqa tutashuv toki

$$I_{1qt} = I_{1nom} = \frac{S_{nom}}{(\sqrt{3} \cdot U_{1nom})} = \frac{630}{(1,73 \cdot 10 \cdot 10^3)} = 36,4 A.$$

3. Qisqa tutashuv rejimidagi quvvat koeffitsiyenti

$$\cos\varphi_{qt} = \frac{P_{qt.nom}}{(\sqrt{3} \cdot U_{1qt} \cdot I_{1qt})} = \frac{7600}{(1,73 \cdot 550 \cdot 36,4)} = 0,22;$$

$$\varphi_{qt} = 77^{\circ}; \sin\varphi_{qt} = 0,97.$$

4. Qisqa tutashuv to'la qarshiligi

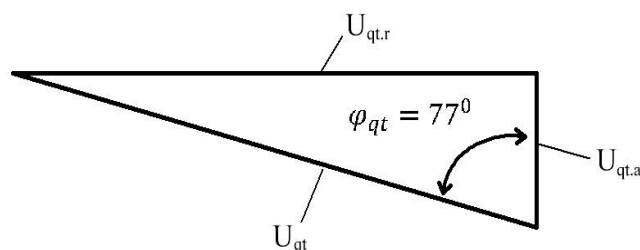
$$Z_{qt} = \frac{U_{1qt}}{(\sqrt{3} \cdot I_{1qt})} = \frac{550}{(1,73 \cdot 36,4)} = 8,7 \Omega.$$

5. Qisqa tutashuv qarshiligining aktiv tashkil etuvchisi

$$r_{qt} = Z_{qt} \cdot \cos\varphi_{qt} = 8,7 \cdot 0,22 = 1,9 \Omega.$$

6. Qisqa tutashuv qarshiligining reaktiv tashkil etuvchisi

$$x_{qt} = Z_{qt} \cdot \sin\varphi_{qt} = 8,7 \cdot 0,97 = 8,44 \Omega.$$



1.1-rasm. Qisqa tutashuv kuchlanishlar uchburchagi

7. Qisqa tutashuv kuchlanish uchburchagining tomonlari (1.1-rasm)

$$U_{qt} = I_{1qt} \cdot Z_{qt} = 36,4 \cdot 8,7 = 317 V;$$

$$U_{qt.a} = I_{1qt} \cdot r_{qt} = 36,4 \cdot 1,9 = 69 V;$$

$$U_{qt.r} = I_{1qt} \cdot x_{qt} = 36,4 \cdot 8,44 = 307 V.$$

8. Kuchlanish masshtabini $m_u = 5 V/mm$ qabul qilamiz, u holda vektorlar uzunligi (qisqa tutashuv uchburchagi tomonlari):

$$U_{qt} = \frac{317}{5} = 63 mm; U_{qt.a} = \frac{69}{5} = 14 mm; U_{qt.r} = \frac{307}{5} = 61 mm.$$

1.7 – masala. 1.6-masaladagi ma'lumotlardan foydalanib, nominal yuklama ΔU_{nom} , yuklama quvvat koeffitsiyentlari $\cos\varphi_2 = 1$ va $\cos\varphi_2 = 0,8$; yuklama xarakteri induktiv, sig'ım shuningdek aktiv – induktiv; faza siljishi $\varphi_2 = \varphi_{qt}$ bo'lganda, transformator chiqishidagi kuchlanishning o'zgarish qiymati hisoblansin. Olingan natijalar taqqoslanib, yuklama xarakterini transformatorning ikkilamchi kuchlanishiga ta'siri to'g'risida xulosa qilinsin.

Yechish TM-630/10 rusumli transformator varianti.

1. Masalani yechish uchun $\Delta U_{nom} = u_{qt.a} \cdot \cos\varphi_2 + u_{qt.r} \cdot \sin\varphi_2$ ifodasidan foydalanamiz, bu yerda

$$u_{qt.a} = \left(\frac{U_{qt.a}}{U_{1nom}} \right) \cdot 100 = \left(\frac{69}{10000} \right) \cdot 100 = 0,69\%$$

$$u_{qt.r} = \left(\frac{U_{qt.r}}{U_{1nom}} \right) \cdot 100 = \left(\frac{307}{10000} \right) \cdot 100 = 3,07\%$$

$$u_{qt} = \left(\frac{U_{qt}}{U_{1nom}} \right) \cdot 100 = \left(\frac{317}{10000} \right) \cdot 100 = 3,17\%$$

$$\cos\varphi_{qt} = \left(\frac{u_{qt.a}}{u_{qt}} \right) = \left(\frac{0,69}{3,17} \right) = 0,22.$$

2. Yuklama – aktiv $\cos\varphi_2 = 1$; $\sin\varphi_2 = 0$

$$\Delta U_{nom} = 0,69 \cdot 1 + 0 = 0,69\%.$$

3. Yuklama aktiv – induktiv $\cos\varphi_2 = 0,8$; $\sin\varphi_2 = 0,6$

$$\Delta U_{nom} = 0,69 \cdot 0,8 + 3,07 \cdot 0,6 = 2,4\%.$$

4. Yuklama aktiv – sig'ım $\cos\varphi_2 = 0,8$; $\sin\varphi_2 = 0,6$ (hisoblashda ikkinchi qo'shiluvchi “–” belgisi bilan qabul qilingan)

$$\Delta U_{nom} = 0,69 \cdot 0,8 - 3,07 \cdot 0,6 = -1,3\%.$$

5. Yuklama aktiv – induktiv $\varphi_2 = \varphi_{qt} = 77^0$ da, ya'ni $\cos\varphi_{qt} = 0,22$ va $\sin\varphi_2 = 0,97$

$$\Delta U_{nom} = 0,69 \cdot 0,22 + 3,07 \cdot 0,97 = 3,13\%.$$

6. Olingan natijalarni tahlil qilib, xulosa qilamiz:

a) nominal yuklamada transformatorning chiqishidagi kuchlanishning minimal o'zgarishi faqat aktiv yuklamada (0,69 %) o'ringa ega bo'ladi.

b) qachonki faza siljish burchagi $\varphi_2 = \varphi_{qt} = 77^\circ$ bo'lganda kuchlanishning eng ko'p o'zgarish qiymati $\Delta U_{nom} = 3,13\%$ aktiv – induktiv yuklamada o'ringa ega bo'ladi.

v) aktiv-sig'imli yuklamada ΔU_{nom} manfiy qiymatga ega bo'ladi, ya'ni ikkilamchi chulg'am chiqishidagi kuchlanish transformatorni nominal yuklamasida 1,3 % ga oshadi.

1.5.2. Transformatorning FIK va isroflari, vektor diagrammasi

1.8 – masala. Nominal quvvati S_{nom} , birlamchi nominal kuchlanishi U_{1nom} qisqa tutashuv quvvati $P_{qt.nom}$ va qisqa tutashuv kuchlanishi u_{qt} bo'lgan bir fazali transformator uchun ma'lumotlar hisoblansin va ikkilamchi kuchlanish o'zgarishini ΔU , yuklama koefitsiyentiga bog'liqlik grafigi qurilsin, agar yuklamaning quvvat koefitsiyenti $\cos\varphi_2$ bo'lsa. Yuqorida aytib o'tilgan parametrlarning qiymatlari 1.6 – jadvalda keltirilgan (parametrlar ishchi temperaturaga keltirilgan).

1.6 – jadval

| Parametrlar | Variantlar | | | | | | | | | |
|------------------|----------------|---------------|---------------|---------------|-----|----------------|---------------|-----|--------------|--------------|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
| S_{nom}, kVA | 600 | 250 | 800 | 100 | 180 | 560 | 320 | 50 | 120 | 80 |
| U_{1nom}, kV | 31,5 | 6,3 | 31,5 | 6,3 | 6,3 | 10 | 10 | 3,4 | 6,3 | 10 |
| $P_{qt.nom}, kW$ | 20 | 12 | 22 | 7 | 10 | 25 | 13 | 3,5 | 8 | 5,4 |
| $u_{qt}, \%$ | 8,5 | 6,5 | 8,5 | 5,5 | 6,5 | 7 | 6,5 | 5,5 | 5,5 | 6 |
| $\cos\varphi_2$ | 0,75 (sig') | 0,85 (ind) | 0,8 (sig') | 0,7 (ind.) | 1 | 0,85 (ind.) | 0,9 (sig') | 1 | 0,8 (ind) | 0,7 (ind) |

Yechish variant 1.

1. Qisqa tutashuv kuchlanishi

$$U_{1qt} = 10^{-2} \cdot u_{qt} \cdot U_{1nom} = 10^{-2} \cdot 8,5 \cdot 31,5 \cdot 10^3 = 2677 V.$$

2. Qisqa tutashuv toki

$$I_{1qt} = I_{1nom} = \frac{S_{nom}}{U_{1nom}} = \frac{600 \cdot 10^3}{31,5 \cdot 10^3} = 19 \text{ A.}$$

3. Qisqa tutashuv rejimining quvvat koeffitsiyenti

$$\cos\varphi_{qt} = \frac{P_{qt.nom}}{(U_{1qt} \cdot I_{1qt})} = \frac{20000}{(2677 \cdot 19)} = 0,39; \sin\varphi_{qt} = 0,92.$$

4. Qisqa tutashuv kuchlanishining aktiv va reaktiv tashkil etuvchilari

$$u_{qt.a} = u_{qt} \cdot \cos\varphi_{qt} = 8,5 \cdot 0,39 = 3,3 \%,$$

$$u_{qt.r} = u_{qt} \cdot \sin\varphi_{qt} = 8,5 \cdot 0,92 = 7,8 \%.$$

5. Yuklanish koeffitsiyentiga bir qator qiymatlar beramiz

$$\beta = 0,25; 0,5; 0,75 \text{ va } 1.$$

6. Bu qiymatlardan foydalanib,

$$\Delta U_{nom} = u_{qt.a} \cdot \cos\varphi_2 + u_{qt.r} \cdot \sin\varphi_2$$

ifoda bo'yicha ΔU_{nom} ni hisoblaymiz; ifodadagi minus ishorasi yuklama sig'im xarakterli ekanligini bildiradi. 1.6 – jadvaldagi hisoblash natijalari quyida keltirilgan:

| | | | | | |
|----------------------|---|--------|--------|--------|--------|
| β | 0 | 0,25 | 0,5 | 0,75 | 1,0 |
| $\Delta U, \%$ | 0 | - 0,67 | - 1,34 | - 2,01 | - 2,68 |

Olingan natijalardagi minus ishorasi shuni ko'rsatadiki, transformatorning yuklamasi ortgan sari ikkilamchi chulg'am qisqichlaridagi kuchlanish ortadi, bu transformator yuklamasi sig'im xarakterligi bilan bog'liq ekanini anglatadi.

1.9 – masala. 1.6 – jadvalda keltirilgan bir fazali transformatorlar parametrlaridan va 1.8 – masalani yechish natijalaridan foydalanib, transformatorning kerakli parametrlari hisoblansin hamda soddalashtirilgan vektor diagrammasi qurilsin (*Salt ishlash toki hisobga olinmasin*). Bunda quvvat koeffitsiyenti $\cos\varphi_2 = 0,7$ qiymatida transformator nominal yuklamasini ikki holati ko'rib chiqilsin: Yuklama induktiv xarakterli va yuklama sig'im xarakterli. Transformatorning quvvat koeffitsiyenti $\cos\varphi_2$ aniqlansin.

Yechish variant 1.

Vektor diagrammani qurish uchun zarur bo'lgan parametrlar qiymatlarini yozamiz.

Birlamchi nominal kuchlanish

$$U_{1nom} = 31,5 \text{ kV} = 31500 \text{ V.}$$

Qisqa tutashuv kuchlanishining aktiv tashkil etuvchisi

$$U_{qt.a} = 10^{-2} \cdot U_{1nom} \cdot u_{qt.a} = 10^{-2} \cdot 31500 \cdot 3,3 = 1040 \text{ V.}$$

Qisqa tutashuv kuchlanishining reaktiv tashkil etuvchisi

$$U_{qt.r} = 10^{-2} \cdot U_{1nom} \cdot u_{qt.r} = 10^{-2} \cdot 31500 \cdot 7,8 = 2457 \text{ V.}$$

Birlamchi zanjirdagi nominal tok

$$I_{1nom} = \frac{S_{nom}}{U_{1nom}} = \frac{600 \cdot 10^3}{31500} = 19 \text{ A.}$$

Faza siljish burchagi $\varphi_1 = \arccos 0,7 = 45^\circ$

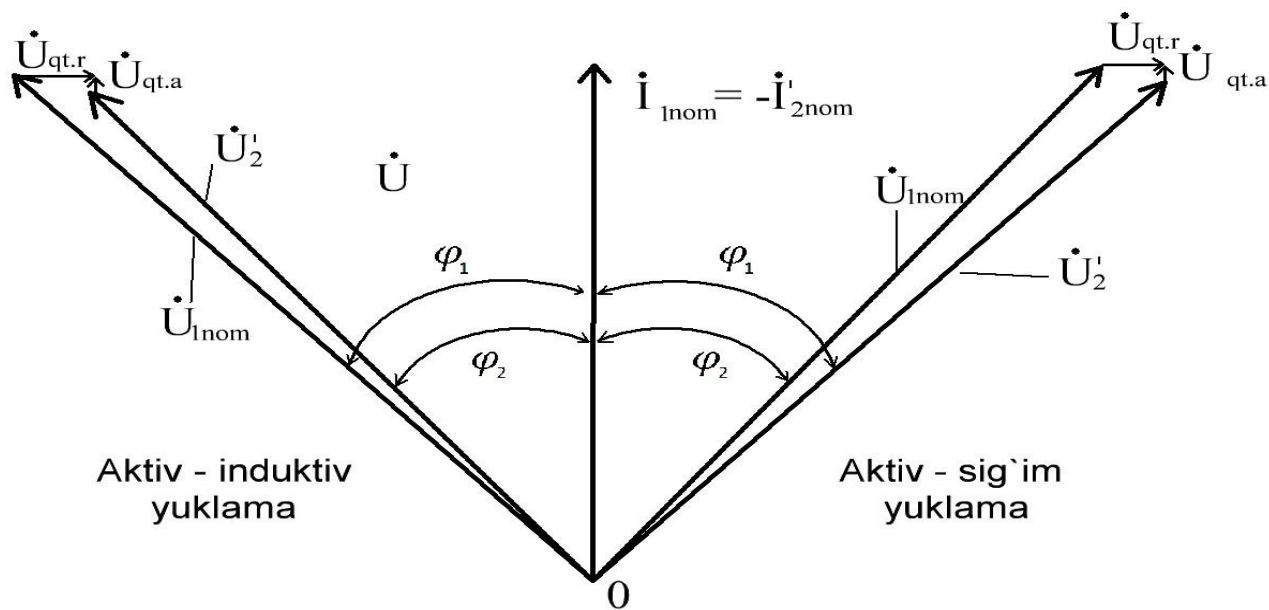
Diagrammani qurish tartibi (1.2-rasm).

Kuchlanish masshtabini tanlash zarur. Buning uchun diagramma chizilishi kerak bo'lgan qog'ozning o'lchamlari aniqlanadi. Masalan, A4 formatli varaq uchun $m_i = 150 \text{ V/mm}$ masshtabni qabul qilish maqsadga muvofiqdir. Bu holatda vektorlar uzunligi quyidagilarni tashkil etadi.

Birlamchi kuchlanish $U_{1nom} \dots \dots \dots 210 \text{ mm}$

Qisqa tutashuv kuchlanishining aktiv tashkil etuvchisi $U_{qt.a} \dots \dots \dots 7,0 \text{ mm}$

Qisqa tutashuv kuchlanishining reaktiv tashkil etuvchisi $U_{qt.r} \dots \dots \dots 16,5 \text{ mm}$



1.2- rasm. Transformatorning soddalashtirilgan vektor diagrammasi

Ordinatalar o'qida tok vektori $\dot{I}_{1nom} = -\dot{I}'_{2nom}$ ni quramiz. Bu vektor ixtiyoriy uzunlikda quriladi, negaki u diagrammaga ta'sir o'tkazmaydi. So'ngra $\varphi_1 = 45^\circ$ burchak ostida tok vektoridan chapda faza bo'yicha oldinda keluvchi kuchlanish vektori U_{1nom} ni quramiz. Shu vektorning oxiridan tok vektoriga perpendikulyar qilib qisqa tutashuv kuchlanishi reaktiv tashkil etuvchisining vektorini o'tkazamiz, so'ngra shu vektorning parallel teskari yo'nalishda tok vektori I_{1nom} ga nisbatan qisqa tutashuv kuchlanishining aktiv tashkil etuvchisi vektori $U_{qt.a}$ ni quramiz. Diagramma boshini (0 nuqta) $U_{qt.a}$ vektor oxiri bilan tutashtirib, keltirilgan ikkilamchi kuchlanish qiymatini vektori U'_2 olinadi. $\varphi_2 = 43^\circ$ burchak ulchanib, quvvat koeffitsiyent $\cos\varphi_2 = 0,731$ aniqlanadi. Aktiv-sig'im yuklama holati uchun diagramma yuqorida keltirilgandek quriladi, faqat bunda kuchlanish vektori U_{1nom} tok vektoriga nisbatan ortda ya'ni o'ng tomondan o'tkaziladi. Zaruriy ko'rinishlar amalga oshganidan shu narsa ko'rinadiki, U'_2 kuchlanish vektori ortdi, ya'ni aktiv-induktiv yuklamada ikkilamchi chulg'am chiqishidagi kuchlanish o'sdi. Burchak $\varphi_2 = 48^\circ, \cos\varphi_2 = 0,67$

1.10 – masala. Uch fazali transformator parametrlarining qiymatlari 1.7 – jadvalda keltirilgan: nominal quvvat S_{nom} va nominal (liniya) kuchlanishlar

U_{1nom} , U_{2nom} ; qisqa tutashuv kuchlanishi u_{qt} , salt ish toki i_0 , salt ish va qisqa tutashuv isroflari P_{0nom} , $P_{qt.nom}$. Chulg'amlar Y/Y sxemasida ulangan. Aniqlanishi talab etiladi:

1.7 – jadval

| Parametrlar | Variantlar | | | | | | | | | |
|------------------|------------|-----|-----|-----|------|-----|-----|-----|------|------|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
| S_{nom} | 100 | 180 | 320 | 560 | 1000 | 800 | 600 | 700 | 400 | 200 |
| U_{1nom}, kV | 0,5 | 3 | 6 | 10 | 35 | 10 | 10 | 6 | 3 | 3 |
| U_{2nom}, kV | 0,23 | 0,4 | 0,4 | 0,4 | 3 | 0,4 | 0,6 | 0,6 | 0,23 | 0,23 |
| u_{qt} | 5,5 | 5,5 | 8,5 | 6,5 | 5,5 | 6,5 | 8,5 | 5,5 | 6,5 | 5,5 |
| i_0 | 6,5 | 5,5 | 5,5 | 5,5 | 5 | 5 | 5,5 | 5,5 | 5,5 | 6,5 |
| P_{0nom}, kW | 0,65 | 1,2 | 1,6 | 2,5 | 5,2 | 3,6 | 2,8 | 3,2 | 2 | 1,5 |
| $P_{qt.nom}, kW$ | 2 | 3,6 | 5,8 | 9 | 13,5 | 10 | 9 | 8,2 | 6 | 4 |

T-simon almashtirish sxemasining parametrlari (sxema simmetrik hisoblanadi $r_1 = r_2'$, $x_1 = x_2'$) ikkilamchi chulg'am qarshiligining haqiqiy qiymati; yuklama quvvat koeffitsiyenti $\cos\varphi_2 = 0,8$ (induktiv xarakterli yuklama) va $\cos\varphi_2 = 1$ bo'lganda, transformatorning to'liq quvvatlari qiymatlari $0,25S_{nom}$; $0,5S_{nom}$; $0,75S_{nom}$ va S_{nom} ga mos keluvchi FIK η qiymati; kuchlanishning nominal o'zgarishi $\Delta U_{nom} \cdot \eta = f(\beta)$ va $U_2 = f(\beta)$ grafiklari qurilsin.

Yechish variant 1.

1. Qisqa tutashuv kuchlanishi

$$U_{1qt} = 10^{-2} \cdot u_{qt} \cdot U_{1nom} = 10^{-2} \cdot 5,5 \cdot 500 = 27,5 V.$$

2. Qisqa tutashuv toki

$$I_{1qt} = I_{1nom} = \frac{S_{nom}}{\sqrt{3} \cdot U_{1nom}} = 100 \cdot \frac{10^3}{1,73 \cdot 0,5 \cdot 10^3} = 115,6 A.$$

3. Qisqa tutashuv rejimidagi quvvati koeffitsiyenti

$$\cos\varphi_{qt} = \frac{P_{qt}}{\sqrt{3} \cdot U_{1qt} \cdot I_{1qt}} = \frac{2000}{1,73 \cdot 27,5 \cdot 115,6} = 0,36$$

$$\varphi_{qt} = 69^0; \sin\varphi_{qt} = 0,93.$$

4. Qisqa tutashuv to'la qarshiligi

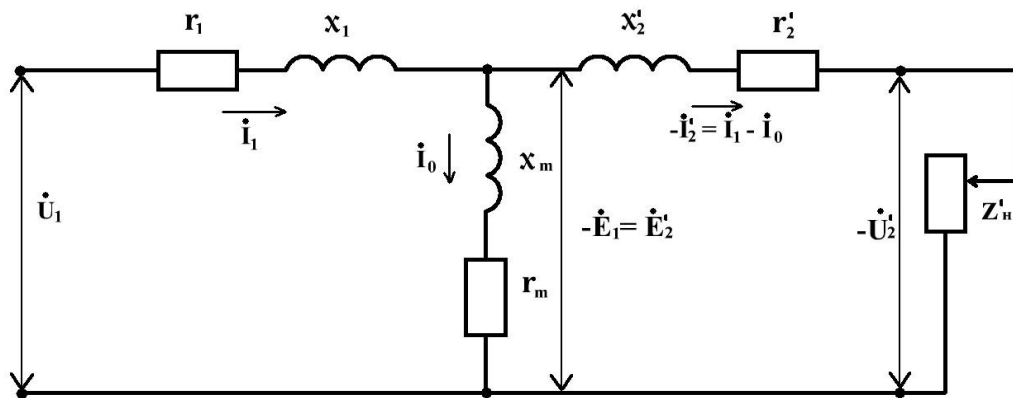
$$Z_{qt} = \frac{U_{1qt}}{\sqrt{3} \cdot I_{1qt}} = \frac{27,5}{1,73 \cdot 115,6} = 0,137 \Omega.$$

5. Qisqa tutashuv qarshiligining aktiv va reaktiv tashkil etuvchilari

$$r_{qt} = Z_{qt} \cdot \cos\varphi_{qt} = 0,137 \cdot 0,36 = 0,05 \Omega,$$

$$x_{qt} = Z_{qt} \cdot \sin\varphi_{qt} = 0,137 \cdot 0,93 = 0,13 \Omega.$$

6. Transformator T-simon almashtirish sxemasining aktiv va induktiv qarshiliklari.



1.3-rasm .Transformatorning almashtirish sxemasi

$$r_1 = r_2' = \frac{0,05}{2} = 0,025 \Omega,$$

$$x_1 = x_2' = \frac{0,13}{2} = 0,065 \Omega.$$

7. Transformator ikkilamchi chulg'amining haqiqiy (keltirilmagan) qarshiligi qiymati

$$r_2 = r_2' \cdot \left(\frac{U_1}{U_2}\right)^2 = \frac{0,0225}{\left(\frac{500}{230}\right)^2} = 0,005 \Omega,$$

$$x_2 = x_2' \cdot \left(\frac{U_1}{U_2}\right)^2 = \frac{0,065}{\left(\frac{500}{230}\right)^2} = 0,014 \Omega.$$

8. Salt ishlash toki

$$I_{0nom} = 10^{-2} \cdot i_0 \cdot I_{1nom} = 10^{-2} \cdot 6,5 \cdot 115,6 = 7,5 \text{ A.}$$

9. Salt ishlash rejimidagi quvvat koeffitsiyenti

$$\cos\varphi_0 = \frac{P_{0nom}}{(\sqrt{3} \cdot I_{0nom} \cdot U_{1nom})} = \frac{650}{(1,73 \cdot 7,5 \cdot 500)} = 0,10$$
$$\sin\varphi_0 = 0,995.$$

10. Transformatorlar T – shaklidagi almashtirish sxemasidagi magnitlovchi shoxobchanning to'la qarshiligi

$$Z_m = \frac{U_{1nom}}{(\sqrt{3} \cdot I_{0nom})} = \frac{500}{(1,73 \cdot 7,5)} = 38,5 \Omega.$$

11. Magnitlovchi shoxobcha qarshiligining aktiv va induktiv tashkil etuvchilari

$$r_m = Z_m \cdot \cos\varphi_0 = 38,5 \cdot 0,10 = 3,85 \Omega,$$

$$x_m = Z_m \cdot \sin\varphi_0 = 38,5 \cdot 0,995 = 38,3\Omega.$$

12. FIK ni hisoblash uchun

$$\eta = \frac{\beta \cdot S_{nom} \cdot \cos\varphi_2}{\beta \cdot S_{nom} \cdot \cos\varphi_2 + P_{0nom} + \beta^2 \cdot P_{qt.nom}}$$

ifodadan foydalanamiz.

Yuklanish koeffitsiyenti β ga qiymatlar berib: $\beta = 0,25; 0,50; 0,75$ va $\beta=1,0$ ularni har biri uchun avval yuklama quvvat koeffitsiyenti $\cos\varphi_2 = 1$, so'ngra $\cos\varphi_2 = 0,8$ uchun FIK larni hisoblaymiz.

13. Maksimal FIK ga mos keluvchi yuklanish koeffitsiyenti

$$\beta' = \sqrt{\frac{P_{0nom}}{P_{qt.nom}}} = \sqrt{\frac{0,65}{2,0}} = 0,57.$$

14. $\cos\varphi_2 = 1$ bo'lganda FIK ning maksimal qiymati

$$\eta_{max} = \frac{\beta' \cdot S_{nom} \cdot \cos\varphi_2}{\beta' \cdot S_{nom} \cdot \cos\varphi_2 + 2P_{0nom}} = \frac{0,57 \cdot 100 \cdot 1}{0,57 \cdot 100 \cdot 1 + 2 \cdot 0,65} = 0,978$$

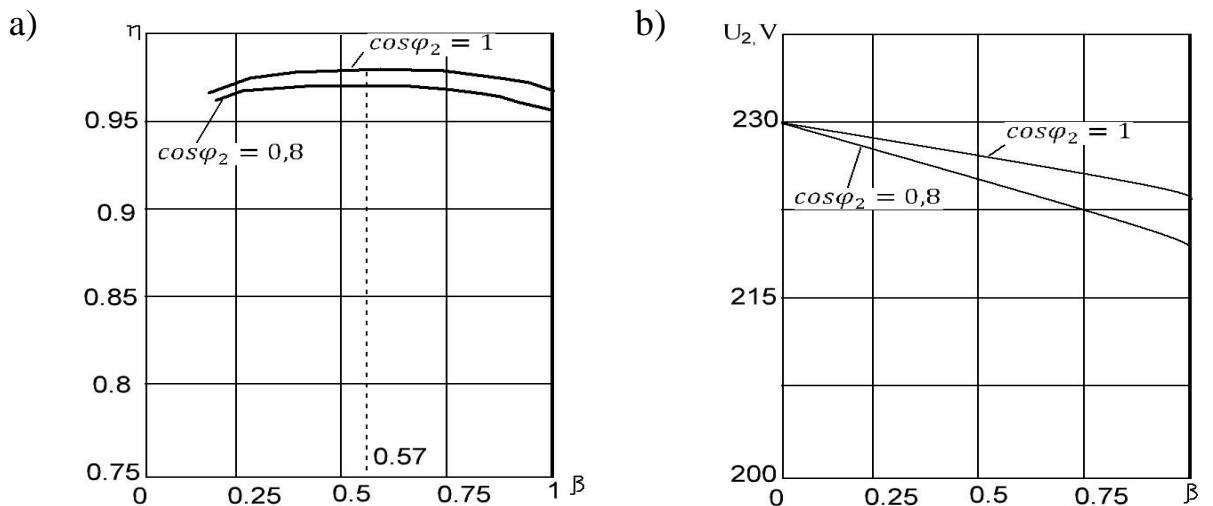
$\cos\varphi_2 = 0,8$ da

$$\eta_{max} = \frac{0,57 \cdot 100 \cdot 0,8}{0,57 \cdot 100 \cdot 0,8 + 2 \cdot 0,65} = 0,972$$

Hisoblashlar natijalari quyida keltirilgan:

| | | | | |
|--|-------|-------|-------|-------|
| β | 0,25 | 0,50 | 0,75 | 1,0 |
| η ($\cos\varphi_2 = 1$ bo'lganda) | 0,969 | 0,977 | 0,976 | 0,974 |
| η ($\cos\varphi_2 = 0,8$ induktiv) | 0,962 | 0,972 | 0,971 | 0,967 |

1.4 – rasmda $\eta = f(\beta)$ grafiklari keltirilgan.



1.4 -rasm. Transformatorning $\eta = f(\beta)$ va $U_2 = f(\beta)$ bog'liqlik grafiqi

15. Transformator kuchlanishining nominal o'zgarishi quyidagicha aniqlanadi

$$\Delta U_{nom} = u_{qt.a} \cdot \cos\varphi_2 + u_{qt.r} \cdot \sin\varphi_2$$

bu yerda

$$u_{qt.a} = u_{qt} \cdot \cos\varphi_{qt} = 5,5 \cdot 0,36 = 1,98 \%$$

$$u_{qt.r} = u_{qt} \cdot \sin\varphi_{qt} = 5,5 \cdot 0,93 = 5,1 \%$$

bunda $\cos\varphi_2 = 0,8$; $\sin\varphi_2 = 0,6$.

$$\Delta U_{nom} = 1,98 \cdot 0,8 + 5,1 \cdot 0,6 = 4,64\%$$

bunda $\cos\varphi_2 = 1$; $\sin\varphi_2 = 0$.

$$\Delta U_{nom} = 1,98 \cdot 1 + 5,1 \cdot 0 = 1,98 \%$$

1.4 - b rasmda transformatorning tashqi xarakteristikasi ko'rsatilgan.

1.11 – masala. 1.8-jadvalda TM rusumdagi uch fazali kuch transformatorlarining ma'lumotlari keltirilgan; to'la nominal quvvat S_{nom} ; salt

ishlash va qisqa tutashuvdagi nominal isroflar; yuklamaning quvvat koeffitsiyenti $\cos\varphi_2$. Nominal yuklamadagi FIK ni uni maksimal qiymati bilan taqqoslaganda kamayish qiymatini aniqlash talab etiladi.

Yechish TM 100/35 transformator variant.

1. Nominal rejimdagi FIK ($\beta = 1$)

$$\eta_{nom} = \frac{P_{nom}}{P_{1nom}};$$

$$P_{1nom} = S_{nom} \cdot \cos\varphi_2 = 100 \cdot 0,8 = 80 \text{ kW};$$

$$P_{nom} = P_{1nom} - (P_{0nom} + P_{qt.nom}) = 80 - (0,465 + 1,97) = 77,6 \text{ kW};$$

$$\eta_{nom} = \frac{77,6}{80} = 0,97.$$

2. FIK ning maksimal qiymatini quyidagi ifoda bo'yicha hisoblaymiz

$$\eta_{max} = \frac{\beta' \cdot S_{nom} \cdot \cos\varphi_2}{\beta' \cdot S_{nom} \cdot \cos\varphi_2 + 2P_{0nom}}$$

1.8 – jadval

| Transformator turi | S_{nom}, kVA | P_{0nom}, kW | P_{qnom}, kW | $\cos\varphi_2$ |
|--------------------|----------------|----------------|----------------|-----------------|
| TM-100/35 | 100 | 0,465 | 1,97 | 0,8 |
| TM-160/35 | 160 | 0,7 | 2,65 | 0,85 |
| TM-250/35 | 250 | 1 | 3,7 | 0,85 |
| TM-400/35 | 400 | 1,35 | 5,5 | 0,8 |
| TM-630/35 | 630 | 1,9 | 7,6 | 0,75 |
| TM-1000/35 | 1000 | 2,75 | 12,2 | 0,7 |
| TM-1600/35 | 1600 | 3,65 | 18 | 0,8 |
| TM-2500/35 | 2500 | 5,1 | 25 | 0,75 |
| TM-4000/35 | 4000 | 6,7 | 33,5 | 0,85 |
| TM-6300/35 | 6300 | 9,4 | 46,5 | 0,8 |

3. Maksimal FIK ga mos keluvchi yuklanish koeffitsiyenti

$$\beta' = \sqrt{\frac{P_{0nom}}{P_{qt.nom}}} = \sqrt{\frac{0,465}{1,97}} = 0,485.$$

4. Maksimal FIK ning hisoblash ifodasiga yuklanish koeffitsiyenti qiymati $\beta'=0,485$ ni qo'yib, ushbu natijani olamiz

$$\eta_{max} = \frac{0,485 \cdot 100 \cdot 0,8}{0,485 \cdot 100 \cdot 0,8 + 2 \cdot 0,465} = 0,98.$$

5. Transformator FIK ning nominal yuklamadagi qiymatini uning maksimal qiymatiga nisbatan pasayishi quyidagini tashkil etdi

$$0,98 - 0,97 = 0,01 \text{ ya'ni } 1 \% \text{ ni.}$$

1.12 – masala. 1.9-jadvalda uch fazali TC3 (uch fazali quruq transformator, birlamchi chulg'ami zaminlangan) rusumli transformatorlarning texnik ma'lumotlari keltirilgan. Bu ma'lumotlardan foydalanib, quyidagilar aniqlansin: transformatsiya koeffitsiyenti k ; birlamchi va ikkilamchi chulg'amlarning nominal toklari I_{1nom}, I_{2nom} ; salt ish toki I_{0nom} ; qisqa tutashuv kuchlanishi $U_{qt.nom}$; qisqa tutashuv qarshiligi Z_{qt} va uning aktiv r_{qt} hamda induktiv x_{qt} tashkil etuvchilari; yuklama quvvat koeffitsiyentining $\cos\varphi_2 = 1; 0,8$ (induktiv) va $0,8$ (sig'im) qiymatlarida kuchlanishini nominal o'zgarishi; yuklama quvvat koeffitsiyenti $\cos\varphi_2 = 1$ va $0,8$ bo'lgandagi transformator FIK ning nominal va maksimal qiymatlari.

1.9- jadval.

| Transformator turi | S_{nom}, kVA | U_{1nom}, V | U_{2nom}, V | P_o, kW | P_{qt}, kW | $u_{qt}, \%$ | $i_o, \%$ |
|--------------------|----------------|---------------|---------------|-----------|--------------|--------------|-----------|
| TC3-160/6 | 160 | 6 | 0,23 | 0,7 | 2,7 | 5,5 | 4,0 |
| TC3-160/10 | 160 | 10 | 0,4 | 0,7 | 2,7 | 5,5 | 4,0 |
| TC3-250/6 | 250 | 6 | 0,23 | 1,0 | 3,8 | 5,5 | 3,5 |
| TC3-250/10 | 250 | 10 | 0,4 | 1,0 | 3,8 | 5,5 | 3,5 |
| TC3-400/6 | 400 | 6 | 0,23 | 1,3 | 5,4 | 5,5 | 3,0 |
| TC3-400/10 | 400 | 10 | 0,4 | 1,3 | 5,4 | 5,5 | 3,0 |
| TC3-630/6 | 630 | 6 | 0,4 | 2,0 | 7,3 | 5,5 | 1,5 |

| | | | | | | | |
|-------------|------|----|-----|-----|------|-----|-----|
| TC3-630/10 | 630 | 10 | 0,4 | 2,0 | 7,3 | 5,5 | 1,5 |
| TC3-1000/6 | 1000 | 6 | 0,4 | 3,0 | 11,3 | 5,5 | 1,5 |
| TC3-1000/10 | 1000 | 10 | 0,4 | 3,0 | 11,3 | 5,5 | 1,5 |
| TC3-1600/10 | 1600 | 10 | 0,4 | 4,2 | 16 | 5,5 | 1,5 |

Yechish TC3 - 160/6 transformator varianti.

1. Transformatsiya koeffitsiyenti

$$k = \frac{U_{1nom}}{U_{2nom}} = \frac{6}{0,23} = 26.$$

2. Birlamchi chulg'am nominal toki

$$I_{1nom} = \frac{S_{nom}}{\sqrt{3} \cdot U_{1nom}} = \frac{160}{1,73 \cdot 6} = 15,4 \text{ A.}$$

3. Ikkilamchi chulg'am nominal toki

$$I_{2nom} = I_{1nom} \cdot k = 15,4 \cdot 26 = 400 \text{ A.}$$

4. Salt ishlash toki

$$I_0 = \left(\frac{i_0}{100}\right) \cdot I_{1nom} = \left(\frac{4}{100}\right) \cdot 15,4 = 0,6 \text{ A.}$$

5. Qisqa tutashuv kuchlanishi

$$U_{1qt} = \left(\frac{u_{qt}}{100}\right) \cdot U_{1nom} = \left(\frac{5,5}{100}\right) \cdot 6000 = 330 \text{ V.}$$

6. Qisqa tutashuv to'la qarshiligi

$$Z_{qt} = \frac{U_{1qt}}{\sqrt{3} \cdot I_{1qt}} = \frac{330}{1,73 \cdot 15,4} = 12,4 \Omega$$

7. Qisqa tutashuv quvvati koeffitsiyenti

$$\cos\varphi_{qt} = \frac{P_{qt}}{(\sqrt{3} \cdot U_{qt} \cdot I_{1nom})} = \frac{2700}{(1,73 \cdot 330 \cdot 15,4)} = 0,31$$

$$\sin\varphi_{qt} = 0,95.$$

8. Qisqa tutashuv qarshiligining aktiv va reaktiv tashkil etuvchilari

$$r_{qt} = Z_{qt} \cdot \cos\varphi_{qt} = 12,4 \cdot 0,31 = 3,8 \Omega;$$

$$x_{qt} = Z_{qt} \cdot \sin\varphi_{qt} = 12,4 \cdot 0,95 = 11,8 \Omega.$$

9. Qisqa tutashuv kuchlanishining aktiv va reaktiv tashkil etuvchilari

$$u_{qt.a} = u_{qt} \cdot \cos\varphi_{qt} = 5,5 \cdot 0,31 = 1,7 \%$$

$$u_{qt.r} = u_{qt} \cdot \sin\varphi_{qt} = 5,5 \cdot 0,95 = 5,2 \%$$

10. Yuklama quvvat ko'effitsiyenti $\cos\varphi_2 = 1$, $\sin\varphi_2 = 0$ bo'lgandagi nominal yuklamada ($\beta = 1$) transformator ikkilamchi kuchlanishining o'zgarishi

$$\Delta U_{nom} = u_{qt.a} \cdot \cos\varphi_2 + u_{qt.r} \cdot \sin\varphi_2 = 1,7 \cdot 1 + 5,2 \cdot 0 = 1,7\%$$

yuklama quvvat ko'effitsiyenti $\cos\varphi_2 = 0,8$ (induktiv), $\sin\varphi_2 = 0,6$ da

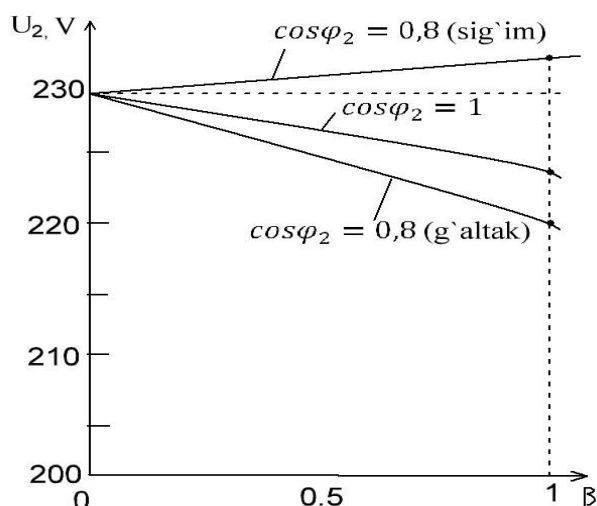
$$\Delta U_{nom} = u_{qt.a} \cdot \cos\varphi_2 + u_{qt.r} \cdot \sin\varphi_2 = 1,7 \cdot 0,8 + 5,2 \cdot 0,6 = 4,48\%$$

$$\cos\varphi_2 = 0,8 \text{ (sig'im), } \sin\varphi_2 = 0,6 \text{ da}$$

$$\Delta U_{nom} = u_{qt.a} \cdot \cos\varphi_2 + u_{qt.r} \cdot \sin\varphi_2 = 1,7 \cdot 0,8 + 5,2 \cdot (-0,6) = -1,8\%$$

nominal yuklama ($\beta = 1$) da transformator ikkilamchi kuchlanishining o'zgarishi (ΔU_{nom}) hisob natijalari

| | | | |
|--|-----|---------------|-------------|
| $\cos\varphi_2$ | 1,0 | 0,8(induktiv) | 0,8(sig'im) |
| $\Delta U_{nom}, \%$ | 1,7 | 4,48 | - 1,8 |
| $\Delta U_{nom}, V$ | 3,9 | 10,3 | - 4,14 |
| $U_2 = U_{2nom} - \Delta U_{nom}, V$... | 226 | 220 | 234 |



1.5– rasm. Transformatorning tashqi xarakteristikalarini

11. Nominal yuklama ($\beta = 1$) va quvvat koeffitsiyenti $\cos\varphi_2 = 1$ da transformatorning FIK

$$\begin{aligned}\eta_{max} &= \frac{\beta \cdot S_{nom} \cdot \cos\varphi_2}{\beta \cdot S_{nom} \cdot \cos\varphi_2 + P_{0nom} + \beta^2 \cdot P_{qt.nom}} = \\ &= \frac{1 \cdot 160 \cdot 1}{1 \cdot 160 \cdot 1 + 0,7 + 1^2 \cdot 2,7} = 0,98\end{aligned}$$

nominal yuklama va quvvat koeffitsiyenti $\cos\varphi_2 = 0,8$ da

$$\eta = \frac{1 \cdot 160 \cdot 0,8}{1 \cdot 160 \cdot 0,8 + 0,7 + 1^2 \cdot 2,7} = 0,974.$$

12. Maksimal FIK $\cos\varphi_2 = 1$ da

$$\eta_{max} = \frac{\beta' \cdot S_{nom} \cdot \cos\varphi_2}{\beta' \cdot S_{nom} \cdot \cos\varphi_2 + 2P_{0nom}} = \frac{0,51 \cdot 160 \cdot 1}{0,51 \cdot 160 \cdot 1 + 2 \cdot 0,7} = 0,983$$

$\cos\varphi_2 = 0,8$ da

$$\eta = \frac{0,51 \cdot 160 \cdot 0,8}{0,51 \cdot 160 \cdot 0,8 + 2 \cdot 0,7} = 0,979.$$

Bunda maksimal FIK ga mos keluvchi yuklanish koeffitsiyenti

$$\beta' = \sqrt{\frac{P_{0nom}}{P_{qt.nom}}} = \sqrt{\frac{0,7}{2,7}} = 0,51.$$

1.5.3. Transformatorlarning parallel ishlashi. Avtotransformatorlar

1.13 – masala. Nominal quvvatlari S_{nomI} , S_{nomII} va S_{nomIII} hamda qisqa tutashuv kuchlanishlari $u_{qt.I}$, $u_{qt.II}$ va $u_{qt.III}$ bo'lgan uchta uch fazali transformator parallel ishlashga ulangan (1.10-jadval). Aniqlash talab etiladi:

1. Har bir transformatorning yuklamasi (S_I , S_{II} va S_{III}) kVA, agar parallel guruhning umumiy yuklamasi shu transformatorlar nominal quvvatlari yig'indisiga teng bo'lsa, ($S_{umum} = S_{nomI} + S_{nomII} + S_{nomIII}$).
2. Quvvat bo'yicha (S/S_{nom}) har bir transformatoridan foydalanish darajasi.

3. Transformatorlarni o'ta yuklanishini yo'qotish uchun transformatorlar guruhining umumiy yuklamasi qancha kamaytirilishi kerak: bunda transformatorlardan nominal quvvatiga nisbatan % larda qanday foydalaniladi.

Yechish variant 1.

Parallel ishga ulash uchun har xil nominal quvvatga ega bo'lgan transformatorlar qo'llanilgan, bu transformatorlarning qisqa tutashuv kuchlanishlari bir xil emas.

1.10 – jadval.

| Parametr | variant | | | | |
|--|---------|------|------|------|-----|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| Transformator I | | | | | |
| Nominal quvvat S_{nomI} kVA | 5000 | 5600 | 3200 | 1800 | 560 |
| Qisqa tutashuv kuchlanishi U_{qtI} , % | 5,3 | 5,3 | 4,3 | 4,4 | 4 |
| Transformator II | | | | | |
| Nominal quvvat S_{nomII} kVA | 3200 | 3200 | 4200 | 3200 | 420 |
| Qisqa tutashuv kuchlanishi U_{qtII} , % | 5,5 | 5,5 | 4,3 | 4 | 4,2 |
| Transformator III | | | | | |
| Nominal quvvat S_{nomIII} kVA | 1800 | 3200 | 5600 | 4200 | 200 |
| Qisqa tutashuv kuchlanishi U_{qtIII} , % | 5,7 | 5,5 | 4 | 3,8 | 4,5 |

Shu sababli transformatorlar o'rtasida yuklamani taqsimlash hisobini ushbu ifoda bo'yicha bajaramiz

$$S_{his} = \frac{S \cdot S_{his.nom}}{u_{qt.his} \cdot \Sigma(S_{his}/u_{qt.his})}$$

bu ifodada qisqa tutashuv kuchlanishlari bir xil emasligi hisobga olingan.

1. Parallel guruhning umumiy yuklamasi

$$S = S_{nomI} + S_{nomII} + S_{nomIII} = 5000 + 3200 + 1800 = 10000 \text{ kVA.}$$

2. Ifodadan foydalanamiz

$$\Sigma(S_{his}/u_{qt.his}) = \frac{5000}{5,3} + \frac{3200}{5,5} + \frac{1800}{5,7} = 1841$$

3. Har bir transformatorning haqiqiy yuklamasi

$$S_I = \frac{10000 \cdot 5000}{5,3 \cdot 1841} = 5124 \text{ kVA};$$

$$S_{II} = \frac{10000 \cdot 3200}{5,5 \cdot 1841} = 3160 \text{ kVA};$$

$$S_{III} = \frac{10000 \cdot 1800}{5,7 \cdot 1841} = 1715 \text{ kVA}.$$

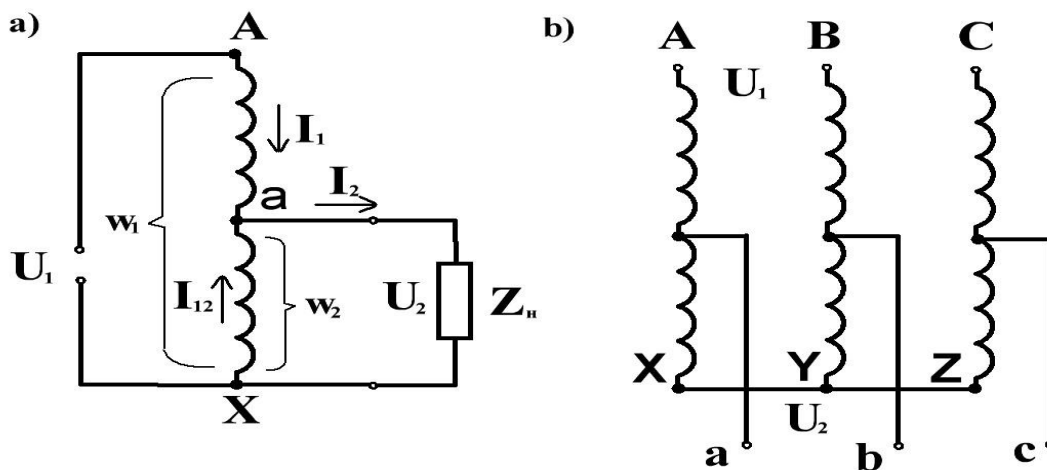
Olingan natijalarni tahlil qilib quyidagicha xulosa qilish mumkin:

- qisqa tutashuv kuchlanishi kichikroq bo'lgan transformator (transformator I) ko'proq yuklanadi;
- qisqa tutashuv kuchlanishi kattaroq bo'lgan transformatorlar (transformator III) kamroq yuklanadi;
- Transformator I o'ta yuklangan, o'ta kuchlanish

$$\left[\frac{(5100 - 5000)}{5000} \right] \cdot 100 = 2 \%$$

Transformatorlarni o'ta yuklanishga ruxsat etilmaydi, shu sababli umumiy yuklamani 2 % ga kamaytirish kerak va uni $S' = 10000 \cdot 0,98 = 9800 \text{ kVA}$ qabul qilish kerak, bunda transformatorlarning umumiy quvvatidan 2% ga foydalanmay qoladi.

1.14 – masala. Bir fazali pasaytiruvchi avtotransformator nominal quvvati S_{nom} , birlamchi va ikkilamchi nominal kuchlanishlari U_1 va U_2 bo'lganda chulg'amda w_1 o'ramlar soniga ega, bulardan w_2 o'ramlar birlamchi va ikkilamchi zanjirlar uchun umumiy hisoblanadi



1.6-rasm. Bir fazali (a) va uch fazali (b) avtotransformatorlar

(1.6 – rasimga qarang) Transformatorning bitta o‘ramida induksiyalanadigan EYuK $E_{o'r}$ 1.11-jadvalda yetishmayotgan parametrlarni qiymatlarini shuningdek avtotransformatorning massasi va isroflari xuddi shunday quvvatdagi va kuchlanishdagi ikki chulg‘amli transformatornikidan kamligini aniqlash talab etiladi. Avtotransformatorning birlamchi zanjiridan ikkilamchi zanjiriga elektr va elektromagnit yo‘li bilan uzatilayotgan quvvati aniqlansin. Masalani yechishda salt ishlash toki hisobga olinmasin.

Yechish variant 1.

1. Avtotransformatorning chulg‘amidagi o‘ramlar soni

$$w_1 = \frac{U_1}{E_{o'r}} = \frac{220}{0,85} = 259 \text{ o'ram.}$$

2. Ikkilamchi kuchlanish

$$U_2 = w_2 \cdot E_{o'r} = 130 \cdot 0,85 = 110 \text{ V.}$$

3. Avtotransformatorning transformatsiyalash koeffitsiyenti

$$k_A = \frac{w_1}{w_2} = \frac{259}{130} = 2,0.$$

4. Birlamchi zanjirdagi nominal tok

$$I_{1nom} = \frac{S_{nom}}{U_{1nom}} = \frac{15 \cdot 10^3}{220} = 68 \text{ A.}$$

| Parametr | Variantlar | | | | | | | | | |
|----------------|------------|------|------|-----|-----|------|-----|------|-----|-------|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
| S_{nom}, kVA | 15 | 4 | 6 | 16 | 8 | 3 | 5 | 2,8 | 9 | 12 |
| U_1, V | 220 | - | 380 | - | 220 | - | 220 | - | 380 | - |
| U_2, V | - | 110 | - | 220 | - | 127 | - | 140 | - | 220 |
| $E_{o'r}$ | 0,85 | 0,75 | 1,73 | 0,9 | 0,9 | 0,85 | 1 | 0,85 | 1 | 1,022 |
| w_1 | - | - | - | - | - | 250 | 250 | 270 | 400 | 400 |
| w_2 | 130 | 130 | 250 | 240 | 130 | - | - | - | - | - |

5. Ikkilamchi zanjirdagi nominal tok

$$I_{2nom} = \frac{S_{nom}}{U_{2nom}} = \frac{15 \cdot 10^3}{110} = 136 \text{ A.}$$

6. Chulg'am o'ramlarining umumiy qismidagi tok

$$I_{12} = I_2 - I_1 = 136 - 68 = 68 \text{ A.}$$

7. Elektr yo'li bilan birlamchi zanjirdan ikkilamchi zanjiriga uzatiladigan quvvat

$$S_{el} = \frac{S_{nom}}{k_A} = \frac{15}{2,0} = 7,5 \text{ kVA.}$$

Shu tariqa elektromagnit yo'l orqali o'tuvchan quvvatning yarmi uzatiladi, shu sababli nominal quvvati 15 kVA bo'lgan ikki chulg'amli transformator bilan taqqoslaganda qaralayotgan avtotransformator aktiv materialdan tayyorlangan bo'lib massasi va isroflari ikki martaga kamroqdir.

1.15 – masala. 1.12-jadvalda pasaytiruvchi avtotransformatorning quyidagi parametrlarini qiymatlari ko'rsatilgan: nominal quvvat S_{nom} , transformatsiya koeffitsiyenti k_A , birlamchi va ikkilamchi zanjirlardagi toklar I_{1nom} va I_{2nom} , o'ramlarning umumiy qismidagi tok I_{12} , birlamchi va ikkilamchli kuchlanishlar U_1 va U_2 , hisobiy S_{his} va elektr yo'li bilan uzatilayotgan quvvat S_{el} . 1.12-jadvalda

keltirilgan parametrlardan foydalanib, yetishmaydigan parametrlarning qiymatlari aniqlansin.

1.12 – jadval

| Parametr | Variantlar | | | | | | | | | |
|----------------|------------|------|-----|------|------|-----|------|-----|-----|------|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
| S_{nom}, kVA | 2,64 | - | - | 2,2 | - | 3,5 | - | 3,5 | - | 2,8 |
| S_a, kVA | | - | 1,3 | 0,85 | - | - | 0,65 | - | - | - |
| S_{his}, kVA | | - | 0,5 | - | 0,8 | - | - | - | 1,1 | - |
| U_1, V | | 220 | 380 | - | - | 380 | - | 380 | - | - |
| U_2, V | 127 | | - | 250 | - | - | 300 | - | 220 | - |
| I_{1nom}, A | 12 | 8 | | - | - | - | - | - | - | 12,7 |
| I_{2nom}, A | - | - | - | - | - | 12 | - | 11 | 15 | - |
| I_{12nom}, A | - | - | - | - | 6 | - | - | - | - | - |
| k_A | - | 1,35 | - | - | 1,25 | - | 1,3 | - | - | 1,8 |

Yechish variant 1.

1. Birlamchi kuchlanish

$$U_1 = \frac{S_{nom}}{I_{1nom}} = \frac{2640}{12} = 220 \text{ V.}$$

2. Transformatsiyalash ko'effitsiyenti

$$k_A = \frac{U_1}{U_2} = \frac{220}{127} = 1,73.$$

3. Ikkilamchi tok

$$I_{2nom} = I_{1nom} \cdot k_A = 12 \cdot 1,73 = 21 \text{ A.}$$

4. Avtotransformator chulg'ami o'ramlarining umumiy qismidagi tok

$$I_{12} = I_2 - I_1 = 21 - 12 = 9 \text{ A.}$$

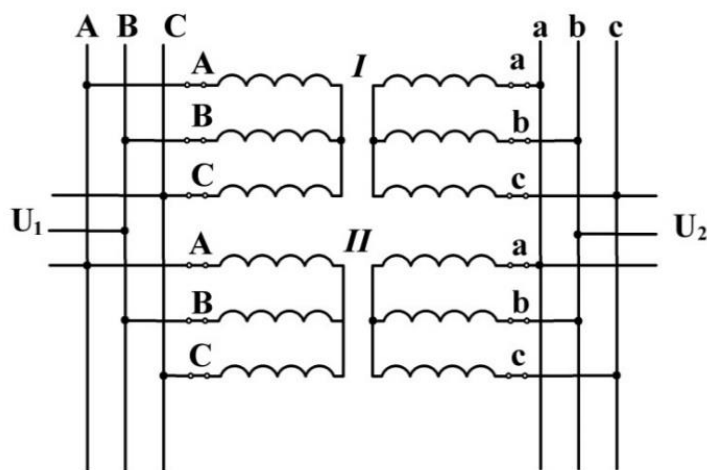
5. Avtotransformatorning hisobiy quvvati

$$S_{his} = U_2 \cdot I_{12} = 127 \cdot 9 = 1140.$$

6. Ikkilamchi zanjirga elektr yo'li bilan uzatilayotgan avtotransformatorning quvvati

$$S_{el} = S_{1nom} - S_{his} = 2640 - 1140 = 1500 \text{ VA.}$$

1.16 – masala. Ikkita har birining quvvati 100 kVA bo'lgan transformatorlar parallel ishlayapti



1.7 – rasm. Transformatorlarning parallel ishlash sxemasi

$u_{qt1} = 5\%$, $u_{qt2} = 7\%$. Transformatorlar o'rtasida 150 kVA li yuklama qanday taqsimlanadi.

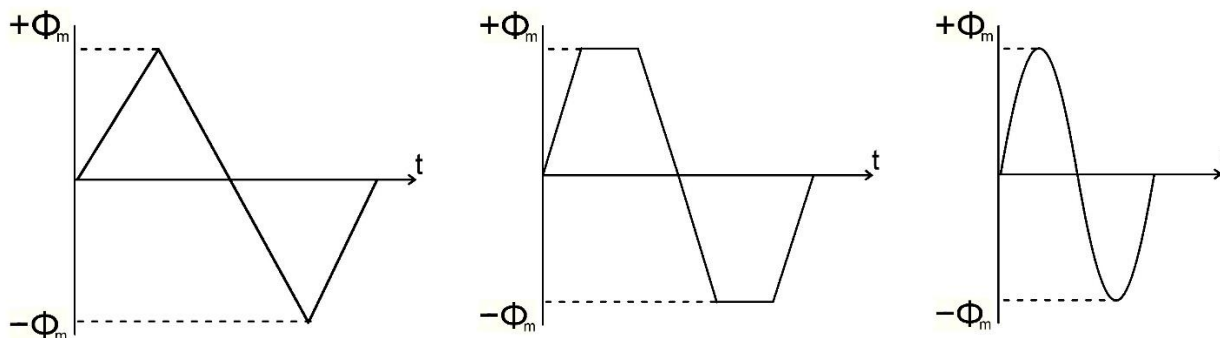
Yechish. Bizga ma'lumki yuklama u_{qt} ga teskari taqsimlanadi. Shunday qilib u_{qt} kuchlanishi katta transformatorlar u_{qt} kuchlanishi kichik transformatorlarga nisbatan kam yuklanadi. Birinchi transformatorning yuklamasi $P_{s.ish1}$ bo'lsa, u holda ikkinchi transformatorning yuklamasi $150 - P_{s.ish1}$ bo'ladi. Transformatorlar o'rtasida yuklama quyidagi nisbatda bo'ladi.

$$\frac{P_{s.ish1}}{150 - P_{s.ish1}} = \frac{7}{5}$$

Bundan birinchi transformator yuklamasi $P_{s.ish1} = 87,5 \text{ kVA}$, ikkinchisidiki $150 - P_{s.ish1} = 62,5 \text{ kVA}$. Demak birinchi transformator 88% ga, ikkinchi transformator 63% ga yuklangan bo'ladi.

1.6. Mustaqil yechish uchun masalalar

1.17- masala. 1.8 – rasmda ko‘rsatilgandek vaqt bo‘yicha asosiy magnit oqimini



1.8-rasm. Vaqt bo‘yicha asosiy magnit oqimining o‘zgarishi

o‘zgarishida transformatorning birlamchi va ikkilamchi chulg‘amlaridagi EYuK larning vaqt bo‘yicha o‘zgarishi bog‘liqligini ko‘rsating.

1.18-masala. Birlamchi chulg‘am kuchlanishi $U_1=220 V$, tarmoq chastotasi $f=50 Hz$, transformator o‘zagidagi asosiy magnit oqimining maksimal qiymati $\Phi_m=0,0036 Vb$ bo‘lsa, salt ishlash rejimida ikkilamchi chulg‘am kuchlanishi $U_2=12 V$ ni olish uchun transformator chulg‘amlarining o‘ramlar soni aniqlansin. O‘zgaruvchan kattaliklar kompleks ko‘rinishda yozilsin va kuchlanishlar vektor diagramma qurilsin?

Javob: $w_1=275$, $w_2=15$.

1.19- masala. Agar burchak chastota $\omega=314 sek^{-1}$, o‘zakdagi asosiy magnit oqimining maksimal qiymati $\Phi_m=0,003 Vb$ bo‘lsa, kuchlanishning bir volt qiymatiga to‘g‘ri keluvchi chulg‘am o‘ramlar soni aniqlansin?

Javob: 1,5 o‘ram/V.

1.20- masala. $U_1=35 kV$ kuchlanishili tarmoqqa transformatorni ulashda, salt ishlash rejimidagi ikkilamchi kuchlanish $U_2=400 V$ bo‘lsa, salt ishlash tokini

hisobga olmagan holda $I_2=145 A$ yuklama tokidagi birlamchi chulg'am toki aniqlansin?

Javob: $I_1 = 1,66 A$.

1.21-masala. Transformatorning birlamchi va ikkilamchi chulg'amlaridagi o'ramlar soni mos ravishda $w_1=792$ va $w_2=264$ bo'lganda, $I_2=1 A$ tokda aktiv – induktiv yuklamaga va quvvat koeffitsiyenti $\cos \varphi_2=0,8$ ikkilamchi kuchlanish $U_2=110 V$ mos keladi. Birlamchi chulg'amdagi tok va unga keltirilgan kuchlanish U_1 aniqlansin? Tarmoq chastotasi $f=50 Hz$. Transformator chulg'amlarining kompleks qarshiligi $Z_1=Z_2'=(11+j20)$. Salt ishlashdagi birlamchi chulg'amning kompleks qarshiligi $Z_0=(300+j3000)$.

Javob: $U_1=346 V, I_1=0,42 A$.

1.22-masala. Pasaytiruvchi transformatorning ikkilamchi nominal kuchlanishi $U_{2nom}=400 V$. Transformatsiyalash koeffitsiyenti $k=10$. Iste'molchi qarshiligi $Z=(20+j0)$. Transformatorning almashtirish sxemasidagi iste'molchining keltirilgan qarshilik, kuchlanish va toki aniqlansin?

Javob: $Z'_{ist}=2000 \Omega, U'_{2nom}=4000 V, I'_2=2 A$.

1.23-masala. Transformator salt ishlash rejimida tarmoqqa ulanganda ikkilamchi chulg'am qisqichlaridagi kuchlanish $U_{20}=6600 V$, tok kuchi $I_0=12,3 A$, quvvat $P_0=26,6 kW$. Chulg'amlarning aktiv qarshiliklari $R_1=0,5835 \Omega, R_2=0,037 \Omega$. Induktiv qarshiliklari $x_1=4,4 \Omega$, va $x_2=0,42 \Omega$. Transformatorning almashtirish sxemasidagi qolgan parametrlari hisoblansin? Birlamchi chulg'amning nominal kuchlanishi $U_{1nom}=20210 V$.

Javob: $6 R'_2=0,347 \Omega, x'_2=3,94 \Omega, R_0=176 \Omega, x_0=1633 \Omega$.

1.24-masala. Transformator almashtirish sxemasining parametrlari ma'lum: $Z_1=(3+j10), Z_2'=(1,66+j10,8), Z_0=(500+j25000), Z'_p=(312+j234)$. Birlamchi kuchlanish $U_1=5770 V$, kompleksli tok I_1 va EYuK E_1 aniqlansin.

Javob: $I_1=14,1 e^{-j39,5}; -E_1=5650 e^{-j1}$.

1.25-masala. TM-250/10 uch fazali transformatorning parametrlari ma'lum: to'la quvvat $S_{nom}=250 \text{ kVA}$; birlamchi nominal kuchlanish $U_{1nom}=10 \text{ kV}$; ikkilamchi chulg'am qisqichlaridagi kuchlanish $U_{20}=0,4 \text{ kV}$; salt ishlash rejimidagi tok va quvvat $I_{0\%}=3\%$, $P_0=870 \text{ W}$. Keltirilgan ma'lumotlar bo'yicha transformatorning ish rejimini xarakterlaydigan qanday parametrlar va kattaliklarni aniqlash mumkin? Ularning ahamiyati qanday ?

1.26-masala. Ikkilamchi chulg'ami qisqa tutashtirilgan transformatorning yuqori chulg'amiga (YK) $U_{o'z}=38 \text{ kV}$ kuchlanish keltirilgan. Chulg'amlardagi toklar nominal qiymatlarga ega $I_{1nom}=I_{2nom}=1100 \text{ A}$. Qisqa tutashuv rejimidagi quvvat $P_{qt}=950 \text{ kW}$ bo'lsa, keltirilgan ma'lumotlar bo'yicha transformatorning qanday parametrlarini aniqlash mumkin va ularni ahamiyati qanday?

1.27-masala. Transformatorning birlamchi nominal kuchlanishi $U_{1nom}=10 \text{ kV}$, transformatsiyalash koeffitsiyenti $k=25$. Agar nominal yuklamada $U_2=390 \text{ V}$ bo'lsa, transformator ikkilamchi kuchlanishining o'zgarishi aniqlansin?

Javob: $\Delta U=10 \text{ V}$.

1.28-masala. $S_{nom}=63 \text{ kVA}$ va kuchlanishi $6000/0,23 \text{ kV}$ bo'lgan bir fazali transformatorga ulangan iste'molchining kuchlanishi qancha? Agar $U_{2nom}=230 \text{ V}$ kuchlanishda va $\cos \varphi_2=0,81$ ($\varphi_2 > 0$) quvvat koeffitsiyentida iste'molchining aktiv quvvati $P_2=40 \text{ kW}$ bo'lsa, qisqa tutashuv kuchlanish $u_{qt}=5,5\%$ va qisqa tutashuv rejimidagi quvvat isrofi $P_{qt}=1600 \text{ W}$ ligi ma'lum.

Javob: $U_2=221 \text{ V}$.

1.29-masala. Transformatorning quyidagi ma'lum parametrlari bo'yicha: $S_{nom}=400 \text{ kVA}$, $U_{1nom}=35 \text{ kV}$, $U_{2nom}=6,5\%$. Qisqa tutashuv rejimidagi quvvat isrofi $P_{qt}=5,5 \text{ kW}$, aktiv ($\varphi_2=0$), induktiv ($\varphi_2=90^0$), sig'im ($\varphi_2=-90^0$) va aktiv – induktiv ($\varphi_2=36,87^0$) yuklamalarda transformator ikkilamchi kuchlanishining o'zgarishi aniqlansin?

Javob: 1) $\Delta U=1,375\%$; 2) $\Delta U=6,353\%$; 3) $\Delta U= - 6,353\%$, 4) $\Delta U=4,91\%$.

1.30-masala. Nominal $S_{nom}=63 \text{ kVA}$ quvvatli transformatorida salt ishlashdagi quvvat isrofi $P_0=265 \text{ W}$, qisqa tutashuvdagi esa $P_{qt}=1280 \text{ W}$. Optimal yuklanish koefitsiyenti va FIK ning maksimal qiymati, shuningdek quvvat koefitsiyentining uchta qiymatida 1) $\cos \varphi_2=0,8$; ($\varphi_2 > 0$) 2) $\cos \varphi_2=1$ va 3) $\cos \varphi_2=0,8$; ($\varphi_2 < 0$) nominal rejimdagi FIK aniqlansin?

Javob: $\beta_{opt}=0,454$; 1) va 3) $\eta_{max}=97,74 \%$, $\eta_{nom}=97,03 \%$; 2) $\eta_{max}=98,18 \%$, $\eta_{max}=97,61\%$.

1.31-masala. ОДГ – 20000/150 rusumli bir fazali transformator katalogida keltirilgan: $S_{nom}=20000 \text{ kVA}$; $U_{yu.k}=160 \text{ kV}$; $U_{p.k}=10,5 \text{ kV}$; Salt ishlash quvvat isrofi $P_0=63,2 \text{ kW}$ va qisqa tutashuv quvvat isrofi $P_{qt}=119,7 \text{ kW}$, salt ishlash toki $I_0=11,4\%$; qisqa tutashuv kuchlanishi $U_q=2,9\%$; chastota $f=50 \text{ Hz}$. Pasaytiruvchi transformator uchun birlamchi va ikkilamchi nominal kuchlanish va toklar, salt ishlash toki, transformatsiyalash koefitsiyenti, qisqa tutashuv kuchlanishining ta'sir etuvchi qiymati, almashtirish sxemasining parametrlari, kuchlanish o'zgarishi, iste'molchining quvvat koefitsiyenti $\cos \varphi_2=1$ bo'lganda nominal rejimdagi ikkilamchi kuchlanish va FIK hamda shu xarakterdagi yuklamada FIKning maksimal qiymati aniqlansin?

Javob: $U_{1nom}=160 \text{ kV}$; $U_{2nom}=10,5 \text{ kV}$; $I_{1nom}=125 \text{ A}$; $I_{2nom}=1904 \text{ A}$; $I_0=14,25 \text{ A}$; $k=15,24 \text{ V}$; $U_{1qt}=4640 \text{ V}$; $Z_1=Z'_2=(3,83+j18,16)$; $Z_0=(311+j11224)$; $\Delta U=0,6 \%$; $U_2=10437 \text{ V}$; $\eta_{nom}=99,09 \%$; $\eta_{max}=99,14 \%$.

1.32-masala. Nominal quvvati $S_{nom}=400 \text{ kVA}$ bo'lgan uch fazali transformator kuchlanishi 35 kV li tarmoqqa ulangan. Agar transformatsiyalash koefitsiyenti $k=w_1/w_2=3,21$ bo'lsa, chulg'amlarning ulanish sxemalari Y/Y ; Y/Δ va Δ/Y bo'lgandagi ikkilamchi liniya va faza kuchlanishlari hamda toklari aniqlansin?

Javob: Y/Y : $U_{2l}=10,9 \text{ kV}$; $U_{2f}=6,3 \text{ kV}$; $I_{2l}=I_{2f}=21,2 \text{ A}$;

$$Y/\Delta: U_{2l}=U_{2f}=6,3 \text{ kV}; I_{2l}=36,6 \text{ A}; I_{2f}=21,2 \text{ A};$$

$$\Delta/Y: U_{2l}=18,9 \text{ kV}; U_{2f}=10,9 \text{ kV}; I_{2l}=I_{2f}=12,2 \text{ A}$$

1.33-masala. TM-30/10 rusumli uch fazali transformator katalogida keltirilgan: chulg'amlarning ulanish sxemasi $Y/Y-0$, quvvat $S_{nom}=30 \text{ kVA}$; $U_{yu.k}=10 \text{ kV}$; $U_{p.k}=0,4 \text{ kV}$, salt ishlashdagi quvvat isrofi $P_0=300 \text{ W}$ va qisqa tutashuvdagi quvvat isrofi $P_{qt}=1,41 \text{ kW}$, salt ishlash toki $I_0=9\%$, qisqa tutashuv kuchlanishi $U_q=5,5 \%$, chastota $f=50 \text{ Hz}$. Transformator pasaytiruvchi. Quvvat koeffitsiyenti $\cos \varphi_2=0,8$ ($\varphi_2>0$) bo'lgandagi 1.3.15 – masala shartida keltirilgan barcha kattaliklar, shuningdek ikkilamchi liniya va faza kuchlanishlari aniqlansin? Transformator yuklamasi simmetrik deb hisoblansin.

$$\begin{aligned} \text{Javob: } & U_{1nom}=5774 \text{ V}; U_{2nom}=230 \text{ V}; I_{1nom}=1,73 \text{ A}; I_{2nom}=43,5 \text{ A}; \\ & I_0=0,156 \text{ A}; \quad k=25 \text{ A}; \quad U_{1qt}=317,6 \text{ V}; \quad Z_1=Z_2'=(47,2+j78,5); \\ & Z_0=(4162+j36780); \quad \Delta U=5,1 \%; \quad \eta_{nom}=94,5 \%; \quad \eta_{max}=96 \%; \quad U_{2l}=378 \text{ V}; \\ & U_{2f}=218 \text{ V}. \end{aligned}$$

1.7. Nazorat topshiriqlari

Elektr energiya iste'molchilari uch fazali ikki chulg'amli transformatorlardan ta'minot oladi. Texnik ma'lumotlar 5.1 – jadvalda keltirilgan. Tarmoq chastotasi $f=50 \text{ Hz}$. Aniqlansin: transformatsiyalash koeffitsiyenti, nominal faza va liniya kuchlanishlari va toklari, salt ishlash toki, qisqa tutashuv kuchlanishi, qisqa tutashuv qarshiligi, birlamchi va ikkilamchi chulg'amlarning aktiv va induktiv qarshiliklari, iste'molchining $\cos \varphi_2=0,8$ ($\varphi_2>0$) quvvat koeffitsiyentidagi FIK va ikkilamchi faza hamda liniya kuchlanishlari, nominal rejimdagi kuchlanish isrofi, $\cos \varphi_2=0,7$ va yuklama toki $I_2=2 \cdot I_{2nom}$ dagi ikkilamchi kuchlanish. Tashqi xarakteristika va quvvat koeffitsiyenti $\cos \varphi_2=0,8$ ($\varphi_2>0$) dagi FIK ni yuklama koeffitsiyentiga bog'liqligi qurilsin. Transformator yuklamasi simmetrik, transformator pasaytiruvchi.

II-BOB. ASINXRON MOTORLLAR

2.1. Asosiy tushunchalar

Sirpanish s – bu o'zgaruvchan tok mashinasi statori magnit maydon aylanish chastotasi bilan rotorning aylanish chastotasi orasidagi farqning magnit maydoni aylanish chastotasiga nisbatini ifodalaydi:

$$s = \frac{n_1 - n_2}{n_1}; \quad s = \frac{n_1 - n_2}{n_1} \cdot 100\% \quad (2.1)$$

bu yerda n_1 – magnit maydon aylanish chastotasi, $\frac{ayl}{min}$, n_2 – rotorning aylanish chastotasi, $\frac{ayl}{min}$.

Kritik sirpanish – bu asinxron mashina maksimal aylantiruvchi moment hosil qilgandagi sirpanish bo'lib, quyidagi tenglama bilan ifodalanadi:

$$s_{kr} = s_{nom} \cdot (\lambda + \sqrt{\lambda^2 - 1}) \quad (2.2)$$

bu yerda $\lambda = M_{max}/M_{nom}$ – motorning yuklanish qobiliyatini aniqlovchi koeffitsiyent; s_{nom} – nominal yuklamadagi sirpanish.

Asinxron mashinaning magnit maydon aylanish chastotasi:

$$n_1 = 60 \cdot f_1 / p \quad (2.3)$$

bu yerda f_1 – ta'minot tarmog'i tokining chastotasi, (Hz); p – mashina chulg'aming juft qutblar soni.

Rotorning aylanish tezligi:

$$n_2 = n_1 \cdot (1 - s) = \frac{60 \cdot f_1}{p} \cdot (1 - s) \quad (2.4)$$

Stator magnit maydonining rotor o'tkazgichlarida hosil qilgan tok chastotasi va EYuK:

$$f_2 = s \cdot f_1 = s \cdot \frac{p \cdot n_1}{60} \quad (2.5)$$

Motorning tarmoqdan iste'mol qiladigan aktiv quvvati:

$$P_1 = 3 \cdot U_{1f} \cdot I_{1f} \cdot \cos \varphi = \sqrt{3} \cdot U_1 \cdot I_1 \cdot \cos \varphi \quad (2.6)$$

bu yerda U_{1f} – faza kuchlanishining qiymati, (V); I_{1f} – faza tokining qiymati, (A); U_1 – liniya kuchlanishining qiymati, (V); I_1 – liniya tokining qiymati, (A); $\cos \varphi$ – quvvat koeffitsiyenti, φ – tok va kuchlanish orasidagi faza siljish burchagi. Shuningdek, motorning FIK quvvatlar nisbati orqali quyidagicha ifodalanadi:

$$P_1 = P_2 / \eta, \quad (2.7)$$

bu yerda η – motorning FIK:

Reaktiv quvvat:

$$Q_1 = 3 \cdot U_{1f} \cdot I_{1f} \cdot \sin \varphi = \sqrt{3} \cdot U_1 \cdot I_1 \cdot \sin \varphi, \quad (2.8)$$

bu yerda

$$\sin \varphi = \sqrt{1 - \cos^2 \varphi}, \quad (2.9)$$

Elektromagnit quvvat:

$$P_{em} = P_1 - \Delta P_1 = \sqrt{3} \cdot U_1 \cdot I_1 \cdot \cos \varphi - (P_{1el} + P_{1po'l}) = \dot{I} \cdot w_1 = \frac{P_{2el}}{s}, \quad (2.10)$$

bu yerda ΔP_1 – statordagi isrof, (W); $\Delta P_{1el} = 3 \cdot R_1 \cdot I_1^2$ – statordagi elektr isrofi, (W); $\Delta P_{1po'l}$ – stator po'latidagi isrofi, (W); M – aylanish momenti, (N · m); w_1 – aylanuvchan magnit maydonining burchak sinxron tezligi, $\left(\frac{rad}{s}\right)$.

Motor validagi foydali quvvat:

$$P_2 = P_1 - \Sigma \Delta P = P_1 - (\Delta P_{1el} + \Delta P_{1po'l} + \Delta P_{2el} + \Delta P_{2po'l} + \Delta P_{mex} + \Delta P_{qo'ish}) \quad (2.11)$$

$$P_2 = P_1 \cdot \eta, \quad (2.12)$$

$$P_2 = \Delta P_{e.mag} \cdot (1 - s) = M \cdot \omega_2 \quad (2.13)$$

$$P_2 = \frac{M \cdot n_2}{9,55} \quad (2.14)$$

bu yerda

$$\sum \Delta P = P_1 - (\Delta P_{1el} + \Delta P_{1po'l} + \Delta P_{2el} + \Delta P_{2po'l} + \Delta P_{mex} + \Delta P_{qo'ish})$$

asinxron motorning umumiy isrofi, (W); ΔP_{2el} – rotordagi elektr isrof, (W); $\Delta P_{2po'l}$ – rotorning magnit isrofi, (W); ΔP_{mex} – mexanik isrof, (W); $\Delta P_{qo'ish}$ – qo'shimcha isrof, (W); rotorning burchak tezligi, $\left(\frac{rad}{s}\right)$; M – motor validagi aylanish momenti, $N \cdot m$.

Asinxron motor validagi aylanish moment:

$$M = 9,55 \cdot \frac{P_2}{n_2} \quad (2.15)$$

$$M = \frac{3 \cdot E_2 \cdot I_2 \cdot \cos \varphi_2}{\omega_2} \quad (2.16)$$

$$M = C_M \cdot I_{2s} \cdot F_m \cdot \cos \varphi_2 \quad (2.17)$$

$$M = C_1 \cdot U_1^2 \quad (2.18)$$

bu yerda C_1 – motorning konstruktiv ma'lumotlariga bog'liq o'zgarmas koeffitsiyent; I_{2s} – rotor toki, (A); $\cos \varphi_2$ – rotor toki bilan EYuK orasidagi fazalar siljish burchagi. Rotor chulg'ami bitta fazasining aktiv elektr qarshiligi quyidagi tenglama bilan ifodalanishi mumkin:

$$R_2 = \frac{M_{nom} \cdot (n_1 - n_2)}{9,55 \cdot m_2 \cdot I_{2nom}^2} \quad (2.19)$$

bu yerda M_{nom} – nominal moment, ($N \cdot m$); m_2 – rotorning fazalar soni; I_{2nom} – rotorning nominal toki, (A).

Ishga tushirish tokining karraligi:

$$K_I = I_{ish.t} / I_{nom} \quad (2.20)$$

bu yerda $I_{ish.t}$ – motorni ishga tushirish toki.

Ishga tushirish momentining karraligi:

$$K_I = M_{ish.t} / M_{nom} \quad (2.21)$$

bu yerda $M_{ish.t}$ – motorni ishga tushirish momenti.

Motorning yuklanish qobilyati:

$$\lambda = M_{max} / M_{nom} \quad (2.22)$$

bu yerda M_{max} – motorning maksimal aylanuvchi momenti, $(N \cdot m)$;

M_{nom} – nominal aylantiruvchi moment, $(N \cdot m)$.

Faza rotorli asinxron motor uchun rostlash reostatining qarshiligi:

$$R_{reos} = R_2 \cdot \left(\frac{s}{s_{nom}} - 1 \right) \quad (2.23)$$

Aylanuvchi rotorning induktiv qarshiligi:

$$x_{2s} = x_2 \cdot s \quad (2.24)$$

bu yerda x_2 – qo'zg'almas rotorning induktiv qarshiligi.

Elektr mashinasining foydali ish koeffitsiyenti P_2 foydali aktiv quvvatning P_1 aktiv quvvatga nisbatiga teng, ya'ni:

$$\eta = \frac{P_2}{P_1} = \frac{P_1 - \Sigma P}{P_1} = 1 - \frac{\Sigma P}{P_1}, \quad (2.25)$$

2.2. Masalalarni yechish bo'yicha namunalalar

2.2.1. Asinxron motorlarning sirpanishi, EYuK va toklari

2.1 – masala. 2.1 – jadvalda uch fazali rotorli qisqa tutashgan asinxron motor parametrlarining quyidagi ma'lumotlari keltirilgan: asosiy magnit oqimi Φ , stator chulg'amida ketma-ket ulangan o'ramlar soni w_1 , nominal sirpanish s_{nom} , qo'zg'almas holatdagi rotor chulg'amida induksiyalanadigan EYuK E_2 va nominal sirpanish bilan aylanayotgan rotorning EYuK E_{2s} , rotorning n_{nom} aylanish chastotasidagi EYuK chastotasi f_2 . Ta'minlovchi tarmoqdagi tok chastotasi

$f_1=50 \text{ Hz}$. Har bir variant uchun jadvalda ko'rsatilmagan parametrlarning qiymatlarini aniqlash talab etiladi.

2.1-jadval

| Parametr | Variantlar | | | | | | | | | |
|--------------------------------|------------|-----------|-------|------|-------|------|------|-----------|-------|------|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
| Φ, Vb | 0,02 8 | 0,03 2 | 0,048 | - | 0,025 | - | - | 0,02 8 | 0,028 | - |
| w_1 , chulg'amlar soni | 18 | - | 24 | 16 | - | 24 | 18 | - | 36 | 18 |
| k_{ch1} | 0,95 | 0,96 | 0,96 | 0,98 | 0,98 | 0,96 | 0,95 | 0,95 | 0,98 | 0,98 |
| s_{nom} | 0,04 | - | 0,05 | 0,04 | - | 0,05 | - | - | - | - |
| $2p$ | 4 | 6 | 2 | 4 | - | 8 | 4 | 8 | - | 4 |
| E_{1f}, V | - | 210 | - | 98 | 110 | 200 | - | 120 | - | 100 |
| E_2, V | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| E_{2s}, V | - | - | - | - | - | - | 0,13 | - | - | - |
| f_2, Hz | - | - | - | - | - | - | 2,5 | 3,2 | - | 2,5 |
| $n_{nom}, \frac{ayl}{min}$ | - | 970 | - | - | 2920 | - | - | - | 1470 | - |

Yechish varinat 1.

1. Stator chulg'aming EYuK

$$E_{1f} = 4,44 \cdot \Phi \cdot f_1 \cdot w_1 \cdot k_{ch1} = 4,44 \cdot 0,028 \cdot 50 \cdot 18 \cdot 0,95 = 106 \text{ V.}$$

2. Nominal aylanish chastotasida rotor chulg'aming EYuK

$$E_{2s} = 4,44 \cdot \Phi \cdot f_1 \cdot s_{nom} \cdot w_2 \cdot k_{ch2} = 4,44 \cdot 0,028 \cdot 50 \cdot 0,04 \cdot 0,5 \cdot 1 = 0,12 \text{ V.}$$

3. Qo'zg'almas rotor chulg'aming EYuK

$$E_2 = \frac{E_{2s}}{s_{nom}} = \frac{0,12}{0,04} = 3 \text{ V.}$$

4. Nominal sirpanishdagi rotor EYuK ning chastotasi

$$f_2 = f_1 \cdot s_{nom} = 50 \cdot 0,04 = 2 \text{ Hz.}$$

5. Rotorning nominal aylanish chastotasi

$$n_{nom} = n_1 \cdot (1 - S) = 1500 \cdot (1 - 0,04) = 1440 \frac{ayl}{min}.$$

2.2 – masala. Uch fazali faza rotorli asinxron motor 2.2-jadvalda keltirilgan ma'lumotlarga ega: Havo bo'shlig'idagi magnit induksiyasining B_δ maksimal qiymati, stator diametri D_1 , stator o'zagi uzunligi $l_1 = 0,8 D_1$, stator va rotor chulg'amlaridagi qutblar soni $2p$, stator va rotorning faza chulg'amlaridagi ketma-ket ulungan o'ramlar soni w_1 va w_2 , stator va rotorning asosiy garmonikalari uchun chulg'am koeffitsiyentlari $k_{ch1} = k_{ch2} = 0,93$. Aniqlash talab etiladi: stator chulg'amidagi faza EYuK ning qiymati E_1 ; faza rotorli chulg'amdagi EYuK E_2 , rotor qo'zg'almas bo'lganda va s sirpanish bilan aylanganda ta'minot tarmog'i tokining chastotasi $f_1 = 50 \text{ Hz}$.

2.2-jadval

| Parametr | Variantlar | | | | | | | | | |
|----------------|------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
| B_δ, Tl | 1,5 | 1,35 | 1,50 | 1,40 | 1,45 | 1,50 | 1,38 | 1,45 | 1,50 | 1,38 |
| D_1, mm | 180 | 160 | 228 | 235 | 160 | 300 | 280 | 320 | 360 | 290 |
| l_1, mm | 141 | 130 | 180 | 190 | 130 | 250 | 250 | 270 | 300 | 250 |
| $2p$ | 4 | 4 | 4 | 6 | 4 | 4 | 6 | 4 | 8 | 6 |
| w_1 | 48 | 18 | 24 | 32 | 48 | 36 | 32 | 36 | 12 | 24 |
| w_2 | 8 | 4 | 6 | 10 | 16 | 12 | 16 | 18 | 8 | 12 |
| $s, \%$ | 8 | 12 | 10 | 6 | 5 | 12 | 8 | 10 | 6 | 8 |

Yechish variant 1.

1. Qutb bo'linmasi

$$\tau = \frac{\pi \cdot D_1}{2\pi} = \frac{3,14 \cdot 180}{4} = 141 \text{ mm}.$$

2. Asosiy magnit oqimi

$$\Phi = \left(\frac{2}{\pi}\right) \cdot B_{\delta} \cdot l_1 \cdot \tau = \left(\frac{2}{\pi}\right) \cdot 1,5 \cdot 0,8 \cdot 180 \cdot 10^{-3} \cdot 141 \cdot 10^{-3} = 0,019 \text{ Vb.}$$

3. Stator faza chulg'aming EYuK

$$E_1 = 4,44 \cdot f_1 \cdot \Phi \cdot w_1 \cdot k_{ch1} = 4,44 \cdot 50 \cdot 0,019 \cdot 48 \cdot 0,93 = 188 \text{ V.}$$

4. Qo'zg'almas rotor chulg'amidagi EYuK

$$E_2 = 4,44 \cdot f_1 \cdot \Phi \cdot w_2 \cdot k_{ch2} = 4,44 \cdot 50 \cdot 0,019 \cdot 8 \cdot 0,93 = 31 \text{ V.}$$

5. Sirpanish 8% bo'lganda aylanuvchan rotordagi EYuK

$$E_{2s} = E_2 \cdot s = 31 \cdot 0,08 = 2,5 \text{ V.}$$

6. Qo'zg'almas rotorda tok chastotasi $f_2 = f_1 = 50 \text{ Hz}$. 8% sirpanishda aylanuvchan rotordagi tok chastotasi

$$f_2 = f_1 \cdot s = 50 \cdot 0,08 = 4 \text{ Hz.}$$

2.3 – masala. 4A seriyali uch fazali rotori qisqa tutashgan asinxron motor 2.3 – jadvalda keltirilgan texnik ma'lumotlarga ega. Aylanish o'qining balandligi h , qutblar soni $2p$, nominal yuklamadagi sirpanish s_{nom} , valdagi moment M_{nom} , boshlang'ich ishga tushirish momenti $M_{ish.t}$ va maksimal moment M_{max} , motor tarmoqdan iste'mol qiladigan aktiv quvvat P_{1nom} , nominal yuklamadagi umumiy isroflar ΣP , stator chulg'amlarini “yulduzcha” va “uchburchak” ulanganda ta'minlovchi tarmoqdagi nominal I_{1nom} va ishga tushirish toki $I_{ish.t}$ aniqlansin.

2.3-jadval

| Motor turlari | $P_{nom},$ kW | $n_{2nom},$ $\frac{ayl}{min}$ | $\eta_{nom},$ % | $\cos \varphi_1$ | $\frac{I_{ish.t}}{I_{nom}}$ | $\frac{M_{ish.t}}{M_{nom}}$ | $\frac{M_{max}}{M_{nom}}$ | U_1, V |
|---------------|--------------------|----------------------------------|--------------------|------------------|-----------------------------|-----------------------------|---------------------------|----------|
| 4A100S2Y3 | 4,0 | 2880 | 86,5 | 0,89 | 7,5 | 2,0 | 2,5 | 220/380 |
| 4A160S2Y3 | 15,0 | 2940 | 88,0 | 0,91 | 7,0 | 1,4 | 2,2 | 220/380 |
| 4A200M2Y3 | 37,0 | 2945 | 90,0 | 0,89 | 7,5 | 1,4 | 2,5 | 380/660 |
| 4A112M4Y3 | 5,5 | 1445 | 85,5 | 0,85 | 7,0 | 2,0 | 2,2 | 220/380 |
| 4A132M4Y3 | 11,0 | 1460 | 87,5 | 0,87 | 7,5 | 2,2 | 3,0 | 220/380 |

| | | | | | | | | |
|------------|------|------|------|------|-----|-----|-----|---------|
| 4A180M4Y3 | 30,0 | 1470 | 91,0 | 0,89 | 6,5 | 1,4 | 2,3 | 380/660 |
| 4A200M6Y3 | 22,0 | 975 | 90,0 | 0,90 | 6,5 | 1,3 | 2,4 | 220/380 |
| 4A280M6Y3 | 90,0 | 985 | 92,5 | 0,89 | 5,5 | 1,4 | 2,2 | 380/660 |
| 4A315M8Y3 | 110 | 740 | 93,0 | 0,85 | 6,5 | 1,2 | 2,3 | 380/660 |
| 4A355M10Y3 | 110 | 590 | 93,0 | 0,83 | 6,0 | 1,0 | 1,8 | 380/660 |

Yechish 4A100S2Y3 divigatel variant.

1. Motorning tipini belgilashlarda 4A seriyasidan so'ngi sonlar aylanish o'qini balandligini ko'rsatadi, ya'ni $h = 100 \text{ mm}$.

2. Keyin keladigan son qutblar sonini bildiradi, ya'ni $2p = 2$; o'zgaruvchan tok tarmoq chastotasi 50 Hz da bu qutblar soniga sinxron aylanish chastotasi mos keladi $n_1 = 3000 \frac{\text{ayl}}{\text{min}}$.

3. Nominal yuklamadagi sirpanish motor rotorining nominal aylanish chastotasi orqali aniqlanadi

$$s_{nom} = \frac{n_1 - n_{2nom}}{n_1} = \frac{3000 - 2880}{3000} = 0,04 \text{ yoki } 4\%.$$

4. Nominal yuklamada motor validagi moment (motorning foydali momenti, ya'ni nominal aylanish chastotasi $2880 \frac{\text{ayl}}{\text{min}}$ bo'lganda)

$$M_2 = 9,55 \cdot \frac{P_{nom}}{n_{2nom}} = 9,55 \cdot \frac{4000}{2880} = 13,26 \text{ N} \cdot \text{m}.$$

5. Boshlang'ich ishga tushirish momenti

$$M_{ish.t} = M_{nom} \cdot \frac{M_{ish.t}}{M_{nom}} = M_{nom} \cdot 2 = 13,26 \cdot 2 = 26,52 \text{ N} \cdot \text{m}.$$

6. Motorning maksimal (kritik) momenti uning yuklanish qobiliyati bo'yicha aniqlanadi

$$M_{max} = M_{nom} \cdot \frac{M_{max}}{M_{nom}} = 13,26 \cdot 2,5 = 33,15 \text{ N} \cdot \text{m}.$$

7. Stator faza chulg'amidagi nominal tok

$$I_{1nom} = \frac{P_{nom}}{m_1 \cdot U_1 \cdot \eta_{nom} \cdot \cos \varphi_{1nom}} = \frac{4000}{3 \cdot 220 \cdot 0,865 \cdot 0,89} = 7,9 \text{ A}.$$

8. Nominal yuklama rejimida motorni tarmoqdan iste'mol qiladigan aktiv quvvat

$$P_{1nom} = \frac{P_{nom}}{\eta_{nom}} = \frac{4}{0,865} = 4,6 \text{ kW}.$$

9. Nominal yuklamada motorning umumiy isroflari

$$\Sigma P = P_{1nom} - P_{nom} = 4,6 - 4,0 = 0,6 \text{ kW}.$$

10. Statorning liniya toki; stator chulg'amlari "yulduzcha" ulanganda

$$I_{1Y} = I_1 = 7,9 \text{ A}.$$

stator chulg'amlari "uchburchak" ulanganda

$$I_{1\Delta} = 1,73 \cdot I_1 = 1,73 \cdot 7,9 = 13,5 \text{ A}.$$

2.4 – masala. 2.4-jadvalda uch fazali asinxron motorning quyidagi parametrlarining qiymatlari keltirilgan: stator va rotor orasidagi bir tomonlama havo bo'shlig'i δ , qutblar soni $2p$, pazlar soni Z_1 , havo bo'shlig'idagi magnit induksiyasining maksimal qiymati B_δ , stator chulg'aming bir g'altagidagi o'ramlar soni $w_{g''}$, (faza chulg'aming barcha g'altaklari ketma-ket ulangan), asosiy garmonika uchun stator chulg'aming chulg'am koeffitsiyenti k_{ch1} , magnitli to'yinish koeffitsiyenti k_μ , havo bo'shlig'i koeffitsiyenti k_δ . Berilgan havo bo'shlig'ida statorni magnitlovchi tok qiymatini, shuningdek bu tok qiymatini havo bo'shlig'i berilgan qiymatga nisbatan 25% ga oshirilganda yoki kamaytirilganda aniqlash zarur; havo bo'shlig'i qiymatini magnitlovchi tok qiymatiga ta'siri to'g'risida xulosa berilsin; asinxron motorlardagi havo bo'shlig'i chegarasi nimalarga bog'liq.

2.4-jadval

| Parametr | Variantlar | | | | | | | | | |
|--------------|------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
| δ, mm | 0,6 | 0,4 | 0,8 | 0,5 | 0,7 | 0,3 | 0,4 | 0,7 | 0,5 | 0,6 |
| $2p$ | 6 | 4 | 8 | 6 | 6 | 2 | 4 | 6 | 4 | 8 |
| Pazlar | 24 | 24 | 48 | 36 | 60 | 18 | 36 | 48 | 32 | 54 |

| | | | | | | | | | | |
|------------------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| soni Z_1 | | | | | | | | | | |
| B_δ, Tl | 0,9 | 0,8 | 0,9 | 1,0 | 0,7 | 0,8 | 0,8 | 1,0 | 0,7 | 0,9 |
| o'ramlar soni $w_{g'ral}$ | 8 | 7 | 6 | 8 | 5 | 4 | 5 | 5 | 6 | 4 |
| k_{ch1} | 0,91 | 0,95 | 0,92 | 0,94 | 0,96 | 0,92 | 0,92 | 0,94 | 0,93 | 0,92 |
| k_μ | 1,37 | 1,32 | 1,38 | 1,40 | 1,35 | 1,40 | 1,34 | 1,37 | 1,35 | 1,38 |
| k_δ | 1,30 | 1,35 | 1,36 | 1,38 | 1,34 | 1,37 | 1,35 | 1,36 | 1,34 | 1,38 |

Yechish variant 1.

1. Havo bo'shlig'ining magnit kuchlanishi

$$F_\delta = 0,8 \cdot \beta_\delta \cdot \delta \cdot k_\delta \cdot 10^3 = 0,8 \cdot 0,9 \cdot 0,6 \cdot 1,3 \cdot 10^3 = 562 \text{ A.}$$

2. Salt ishlash rejimida nominal keltirilgan kuchlanishda juft qutblardagi stator chulg'aming MYuK

$$\Sigma F_{nom} = 2 \cdot F_\delta \cdot k_\mu = 2 \cdot 562 \cdot 1,37 = 1540 \text{ A.}$$

3. Stator faza chulg'aming ketma-ket ulangan o'ramlar soni

$$w_1 = Z_1 \cdot \frac{w_{g'ral}}{m_1} = \frac{24 \cdot 8}{3} = 64 \text{ o'ram.}$$

4. Statordagi magnitlovchi tok

$$I_{1\mu} = p \cdot \frac{\Sigma F_{nom}}{0,9 \cdot m_1 \cdot w_1 \cdot k_{ch1}} = 3 \cdot \frac{1540}{0,9 \cdot 3 \cdot 64 \cdot 0,91} = 29,4 \text{ A.}$$

5. Boshqa parametrlarning o'zgarish qiyamatlarida havo bo'shlig'i o'lchamini o'zgarishida magnitlovchi tok havo bo'shlig'iga proporsional o'zgaradi. Shu sababli havo bo'shlig'i 25% ga oshirilganda shuncha miqdorga magnitlovchi tok ham oshadi, bu esa motorda elektr isroflarni oshishiga olib keladi, bu isroflarning qiymati chulg'amlardagi tokning kvadratiga proporsional bo'ladi. Aksincha havo bo'shlig'i kamaytirilganda magnitlovchi tok kamayadi, ya'ni motordagi isroflar kamayib, uning FIK ortadi. Shunday qilib birinchi qarashda asinxron motorda havo bo'shlig'i minimal bo'lishi kerak degan ta'ssurot hosil bo'ladi. Lekin bunday ta'ssurot qisman to'g'ridir, negaki bo'shliqni kamaytirish bilan detallarga aniq

ishlov berish talabi ortadi, shuningdek podshipniklarga ham. U yoki bu talablar ham motorni tayyorlash bahosini ortishiga sabab bo'ladi, juda ham kichik havo bo'shlig'ida texnik jihatdan motorni ishonchli ishlashini ta'minlash mumkin bo'lmay qoladi, negaki aylanuvchan rotorni qo'zg'almas statorga tegishi xavfi oshadi. Shu sababli motorni o'lchamlariga bog'liq holda va unga qo'yiladigan talablar asosan asinxron motorlarni ekspluatatsiya qilish va loyihalash tajribalari asosida bo'shliqning optimal o'lchami qabul qilinadi.

2.5 – masala. Faza rotorli uch fazali asinxron motor stator faza chulg'amida $w_1 \cdot k_{ch1}$ va rotor chulg'amida $w_2 \cdot k_{ch2}$ effektiv o'ramlar soniga ega. Stator faza chulg'amining EYuK $E_1 = 0,95 \cdot U_1$. Qo'zg'almas rotor faza chulg'amining EYuK E_2 , s sirpanish bilan aylanayotgan rotor faza chulg'amining EYuK E_{2s} .

2.5 – jadvalda keltirilgan parametrlarning qiymatlaridan foydalanib, ko'rsatilmagan qiymatlar aniqlansin, agar motorni ta'minlovchi kuchlanish $U_1 = \frac{220}{380} V$ bo'lsa.

2.5-jadval

| Parametr | Variantlar | | | | | | | | | |
|---------------------|------------|------|------|------|------|------|------|-----|------|------|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
| $w_1 \cdot k_{ch1}$ | 18 | 24 | - | 32 | - | 36 | - | 24 | - | 48 |
| $w_2 \cdot k_{ch2}$ | 12 | - | 18 | - | 12 | - | 18 | - | 16 | - |
| E_1, V | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| E_2, V | - | 93 | - | 105 | - | 104 | - | 98 | - | 110 |
| E_{2s}, V | - | 5,58 | 6,5 | 5,25 | 5,8 | - | 4,0 | 5,8 | 4,6 | - |
| s | 0,05 | - | 0,04 | - | 0,07 | 0,05 | 0,03 | - | 0,05 | 0,04 |

Yechish variant 1.

1. Stator faza chulg'amining EYuK

$$E_1 = 0,95 \cdot U_1 = 0,95 \cdot 220 = 209 V.$$

2. EYuK bo'yicha transformatsiyalash koeffitsiyenti

$$k_e = \frac{w_1 \cdot k_{ch1}}{w_2 \cdot k_{ch2}} = \frac{18}{12} = 1,5.$$

3. Qo'zg'almas rotor faza chulg'aming EYuK

$$E_2 = \frac{E_1}{k_e} = \frac{209}{1,5} = 139 V.$$

4. Aylanuvchan rotor faza chulg'aming EYuK

$$E_{2s} = E_2 \cdot s = 139 \cdot 0,05 = 7 V.$$

2.2.2. Isroflar va FIK, elektrmagnit momenti, mexanik xarakteristika

2.6 – masala. Uch fazali asinxron motor chastotasi 50 Hz, kuchlanishi 380 V tarmoqqa ulangan, stator chulg'ami “yulduzcha” usulda ulangan. Motor validagi statik yuklama moment M_s , motorning foydali quvvati P_{nom} , tarmoqdan iste'mol qilinadigan quvvat P_{1nom} , FIK η_{nom} , quvvat koeffitsiyenti $\cos\varphi_1$, stator faza chulg'aming toki I_{1nom} , qutiblar soni $2p$, sirpanish s_{nom} . Qayd etilgan paramerlarning ba'zilari 2.6-jadvalda keltirilgan. Yetishmaydigan parametrlar qiymatlarini aniqlash talab etiladi.

2.6-jadval

| Parametr | Variantlar | | | | | |
|------------------|------------|------|------|----|------|----|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
| P_{nom}, kW | - | 12 | - | 15 | 22 | - |
| P_{1nom}, kW | - | 14,6 | - | - | 27,8 | 35 |
| $\eta_{nom}, \%$ | 82 | - | 85 | 89 | - | 90 |
| $\cos \varphi_1$ | 0,80 | 0,78 | 0,80 | - | 0,78 | - |
| I_{1nom}, A | - | - | 18 | 30 | - | 62 |
| $M_s, N \cdot m$ | 180 | - | 105 | - | 145 | - |
| $s_{nom}, \%$ | 4 | 3,5 | - | 3 | - | 3 |
| $2p$ | 6 | 4 | - | 4 | 4 | 6 |

Yechish variant 1.

1. Nominal aylanish chastotasi

$$n_{nom} = n_1 \cdot (1 - s_{nom}) = 1000 \cdot (1 - 0,04) = 960 \frac{ayl}{min}.$$

2. Motorning foydali quvvati

$$P_{nom} = 0,105 \cdot M_s \cdot n_{nom} = 0,105 \cdot 180 \cdot 960 = 18144 W.$$

3. Motor istemol qiladigan quvvat

$$P_{1nom} = \frac{P_{nom}}{\eta_{nom}} = \frac{18144}{0,82} = 22126 W.$$

4. Motor iste'mol qiladigan stator toki

$$I_{1nom} = \frac{P_{1nom}}{m_1 \cdot U_{1nom} \cdot \cos \varphi_1} = \frac{22126}{3 \cdot 220 \cdot 0,8} = 41,9 A.$$

2.7 – masala. Stator chulg'ami “uchburchak” ulangan uch fazali asinxron motorning qutblar soni $2p = 4$ va u chastotasi $50 Hz$, kuchlanishi $380 V$ bo'lgan tarmoqqa ulangan. 2.7-jadvalda motorni nominal yuklamaga mos keluvchi parametrlari keltirilgan: motor quvvati P_{nom} , FIK η_{nom} , quvvati koeffitsiyenti $\cos \varphi_1$. $P_2 = 0,85 \cdot P_{nom}$ yuklamada motorning FIK $\eta_{max} = 1,03 \cdot \eta_{nom}$ eng katta qiymatga ega. Normal yuklama rejimida qolgan barcha isroflar turlarini aniqlash zarur bo'ladi.

2.7-jadval

| Parametr | Variantlar | | | | | | | | | |
|------------------|------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
| P_{nom}, kW | 3,0 | 4,0 | 5,5 | 7,5 | 11 | 15 | 18,5 | 22 | 30 | 37 |
| $\eta_{nom}, \%$ | 81,5 | 82 | 85 | 85,5 | 86 | 87,5 | 88 | 90 | 90,5 | 91 |
| $s_{nom}, \%$ | 5,5 | 5,0 | 4,0 | 3,3 | 3,0 | 3,0 | 2,7 | 2,5 | 2,3 | 2,0 |
| $\cos \varphi_1$ | 0,76 | 0,80 | 0,82 | 0,84 | 0,86 | 0,87 | 0,89 | 0,89 | 0,90 | 0,90 |

Yechish varianti 1.

1. FIK ning maksimal qiymati

$$\eta_{max} = 1,03 \cdot \eta_{nom} = 1,03 \cdot 0,81 = 0,834 \text{ yoki } 83,4 \%$$

2. Shu FIK dagi motor yuklanmasi

$$P_2 = 0,85 \cdot P_{nom} = 0,85 \cdot 3 = 2,55 \text{ kW}.$$

3. η_{max} da iste'mol qilinadigan quvvat

$$P_1 = \frac{P_2}{\eta_{max}} = \frac{2,55}{0,834} = 3,06 \text{ kW}.$$

4. η_{max} dagi umumiy isroflar

$$\Sigma P = P_1 - P_2 = 3,06 - 2,55 = 0,57 \text{ kW}.$$

5. Motorning doimiy isroflari

$$P_d = P_m + P_{mex} = 0,5 \cdot \Sigma P = 0,5 \cdot 570 = 285 \text{ W}.$$

6. Nominal rejimda iste'mol qilinadigan quvvat

$$P_{1nom} = \frac{P_{nom}}{\eta_{nom}} = \frac{3}{0,81} = 3,7 \text{ kW}.$$

7. Nominal rejimdagi umumiy isroflar

$$\Sigma P_{nom} = P_{1nom} - P_{nom} = 3,7 - 3,0 = 0,7 \text{ kW} = 700 \text{ W}.$$

8. Nominal rejimda o'zgaruvchi isroflar

$$P_{o'zgz} = P_{el} + P_{qo'sh} = \Sigma P_{nom} - P_d = 700 - 285 = 415 \text{ W}.$$

9. Salt ishlash rejimidagi moment

$$M_{s.ish} = 9,55 \cdot \frac{P_d}{n_1} = 9,55 \cdot \frac{285}{1500} = 1,8 \text{ N} \cdot \text{m}.$$

10. Nominal aylanish chastotasi

$$n_{nom} = n_1 \cdot (1 - s_{nom}) = 1500 \cdot (1 - 0,055) = 1417 \frac{\text{ayl}}{\text{min}}.$$

11. Nominal yuklamada motor validagi foydali moment

$$M_2 = 9,55 \cdot \frac{P_{nom}}{n_{nom}} = 9,55 \cdot \frac{3000}{1417} = 20,2 \text{ N} \cdot \text{m}.$$

12. Nominal yuklamadagi elektromagnit moment

$$M_{nom} = M_2 + M_0 = 20,2 + 1,8 = 22 \text{ N} \cdot \text{m}.$$

13. Elektromagnit quvvatning nominal qiymati

$$P_{em} = 0,105 \cdot M_{nom} \cdot n_1 = 0,105 \cdot 22 \cdot 1500 = 3465 \text{ W}.$$

14. Rotor chulg'amidagi elektr isroflar

$$P_{e2} = s_{nom} \cdot P_{em} = 0,055 \cdot 3465 = 190 \text{ W}.$$

15. Qo'shimcha isroflar

$$P_{qo'sh} = 0,005 \cdot P_{1nom} = 0,005 \cdot 3700 = 18 \text{ W.}$$

16. Nominal rejimdagi elektr isroflar

$$P_e = P_{o'zg} - P_{qo'sh} = 415 - 18 = 397 \text{ W.}$$

17. Stator chulg'amidagi elektr isroflar

$$P_{e1} = P_e - P_{e2} = 397 - 190 = 207 \text{ W.}$$

18. Tekshirish: $\Sigma P_{nom} = P_d + P_{e1} + P_{e2} + P_{qo'sh} = 285 + 207 + 190 + 18 = 700 \text{ W}$ (7 – punktga qarang).

2.8 – masala. 2.8-jadvalda 4AK seriyali faza rotorli uch fazali asinxron motorning texnik ma'lumotlari keltirilgan. Motorning nominal yuklamadagi barcha isrof turlarini aniqlash talab etiladi. Ta'minot kuchlanishi 660 V, stator chulg'ami "yulduzcha" ulangan, tok chastotasi 50 Hz, ishga tushirish tokining karraligi $\lambda_i = 5,7$; qisqa tutashuv quvvat koeffitsiyenti $\cos \varphi_{qt} = 0,5 - \cos \varphi_1$ deb qabul qilinsin.

2.8-jadval

| Motor turlari | P_{nom}, kW | $\eta_{nom}, \%$ | $\cos \varphi_1$ | $s_{nom}, \%$ | $\frac{M_{max}}{M_{nom}}$ |
|--|---------------|------------------|------------------|---------------|---------------------------|
| Sinxron aylanish chastotasi 1500 ayl/min | | | | | |
| 4AK160S4Y3 | 11 | 86,5 | 0,86 | 5 | 3 |
| 4AK160M4Y3 | 14 | 88,5 | 0,87 | 4 | 3,5 |
| 4AK180M4Y3 | 18 | 89 | 0,88 | 3,5 | 4 |
| 4AK200M4Y3 | 22 | 90 | 0,87 | 2,5 | 4 |
| 4AK200L4Y3 | 30 | 90,5 | 0,87 | 2,5 | 4 |
| 4AK225M4Y3 | 37 | 90 | 0,87 | 3,5 | 3 |
| 4AK160SA4Y3 | 45 | 91 | 0,88 | 3 | 3 |
| 4AK160SB4Y3 | 55 | 90,5 | 0,9 | 3 | 3 |
| 4AK250M4Y3 | 71 | 90,5 | 0,86 | 2,5 | 3 |
| Sinxron aylanish chastotasi 1000 ayl/min | | | | | |

| | | | | | |
|------------|-----|------|------|-----|-----|
| 4AK160S6Y3 | 7,5 | 82,5 | 0,77 | 5 | 3,5 |
| 4AK160M6Y3 | 10 | 84,5 | 0,76 | 4,5 | 3,8 |

Yechish 4AK160M6Y3 variant.

1. Nominal rejimda motor iste'mol qiladigan quvvat

$$P_{1nom} = \frac{P_{nom}}{\eta_{nom}} = \frac{10}{0,845} = 11,8 \text{ kW}.$$

2. Motorning nominal toki

$$I_{1nom} = \frac{P_{1nom}}{m_1 \cdot U_{1nom} \cdot \cos \varphi_1} = \frac{11800}{3 \cdot 380 \cdot 0,76} = 13,6 \text{ A}.$$

3. Umumiy isroflar

$$\Sigma P = P_{1nom} - P_{nom} = 11800 - 10000 = 1800 \text{ W} = 1,8 \text{ kW}.$$

4. To'g'ridan-to'g'ri ulangandagi motorni ishga tushirish toki

$$I_{1ish.t} = I_{1nom} \cdot \lambda_i = 13,6 \cdot 5,7 = 77,9 \text{ A}.$$

5. Motorning qisqa tutashuvdagi qarshiligi

$$Z_{q.t} = \frac{U_1}{I_{1ish.t}} = \frac{380}{77,9} = 4,88 \Omega.$$

6. Shu qarshilikning aktiv tashkil etuvchisi

$$r_{q.t} = Z_{q.t} \cdot \cos \varphi_{q.t} = 4,88 \cdot 0,38 = 1,85 \Omega.$$

$$\text{bunda } \cos \varphi_{q.t} = 0,5 \cdot \cos \varphi_1 = 0,5 \cdot 0,76 = 0,38.$$

7. Nominal yuklama rejimda stator va rotor chulg'amlarining elektr isroflari

$$P_e = 3 \cdot I_{1nom}^2 \cdot r_{q.t} = 3 \cdot 13,6^2 \cdot 1,85 = 1026 \text{ W}.$$

8. Qo'shimcha isroflar

$$P_{qo'sh} = 0,005 \cdot P_{1nom} = 0,005 \cdot 11800 = 59 \text{ W}.$$

9. Nominal yuklama rejimdagi o'zgaruvchan isroflar

$$P_{o'zlg} = P_e + P_{qo'sh} = 1026 + 59 = 1085 \text{ W}.$$

10. O'zgarmas (doimiy) isroflar (magnit va mexanik)

$$P_m + P_{mex} = \Sigma P - P_e - P_{qo'sh} = 1800 - 1026 - 59 = 715 \text{ W}.$$

2.9 – masala. 2.7-masala ma'lumotlaridan va yechish natijalaridan foydalanib motorning FIK yuklama koeffitsiyentining $\beta = \frac{I_1}{I_{1nom}} = 0,25; 0,5; 0,75$ va 1 qiymatlari uchun aniqlansin va $\eta = f(P_2/P_{nom})$ grafigi qurilsin. Quvvat koeffitsiyenti $\cos \varphi_1$ ning qiymatini aniqlashda 2.1-rasmdagi grafikdan foydalanish tavsiya etiladi, $\beta = 1$ va 1,1 qiymatlardan tashqari, ularga mos keluvchi $\cos \varphi_1$ nominal yuklama uchun motorning texnik ma'lumotlari jadvalidan olinadi.

Yechish 4AK160M6Y3 motor varianti.

Doimiy isroflar (2.8 - jadvalga qarang) $P_d = P_m + P_{mex} = 521 W$ yuklamaga bog'liq emas, o'zgaruvchan isroflar esa $P_{o'zgz} = P_e + P_{qo'sh}$ β^2 ga proporsional. Quyida talab qilinayotgan parametrlarning qiymatlari yuklama koeffitsiyenti $\beta = 0,5$ uchun hisoblansin.

1. Stator chulg'amidagi tok

$$I_1 = 0,5 \cdot I_{1nom} = 0,5 \cdot 13,6 = 6,8 A.$$

2. 3.6 - rasmdagi grafikdan $\beta = 0,5$ dagi quvvat koeffitsiyenti

$$\cos \varphi_1 = 0,6.$$

3. Motorning iste'mol quvvati

$$P_1 = 3 \cdot U_1 \cdot I_1 \cdot \cos \varphi_1 = 3 \cdot 380 \cdot 6,8 \cdot 0,6 = 4650 W.$$

4. O'zgaruvchan isroflar

$$P_{o'zgz} = 1085 \cdot \beta^2 = 1085 \cdot 0,5^2 = 271 W.$$

5. $\beta = 0,5$ umumiy isroflar

$$\Sigma P = P_d + P_{o'zgz} = 715 + 271 = 986 W.$$

6. $\beta = 0,5$ dagi foydali quvvat

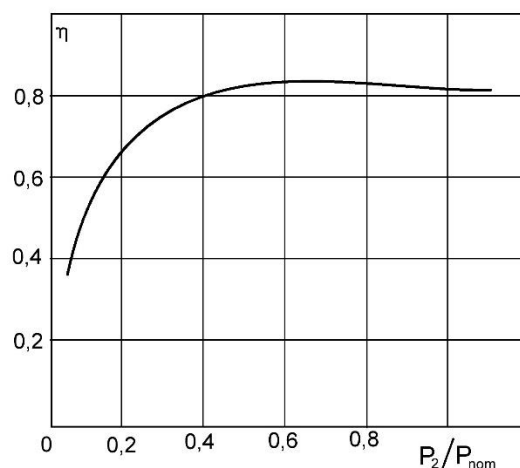
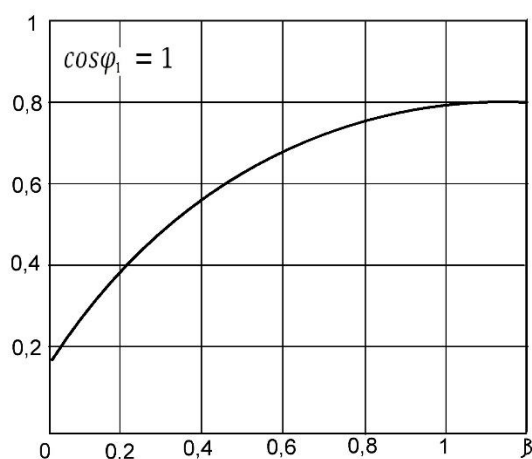
$$P_2 = P_1 - \Sigma P = 4650 - 986 = 3664 W.$$

7. $\beta = 0,5$ motorning FIK

$$\eta = \frac{P_2}{P_1} = \frac{3664}{4650} = 0,787 \text{ yoki } 78,7 \%$$

8. Quvvatlar nisbati $P_2/P_{nom} = 3,664/10 = 0,37$.

Yuklama koeffitsiyentining barcha qiymatlari bo'yicha hisob natijalari 2.9-jadvalda keltirilgan, 2.2 -rasmda esa $\eta = f(P_2/P_{nom})$ grafigi taqdim etilgan.



2.1-rasm. $\cos \varphi_1 = f(\beta)$ grafigi 2.2-rasm. $\eta = f(P_2/P_{nom})$ bog'liqligi

2.9-jadval

| Parametr | Parametr qiymatlari | | | | |
|------------------|---------------------|------|------|-------|-------|
| β | 0,25 | 0,5 | 0,75 | 1,0 | 1,1 |
| β^2 | 0,0625 | 0,25 | 0,56 | 1,0 | 1,21 |
| P_d, W | 715 | 715 | 715 | 715 | 715 |
| $\cos \varphi_1$ | 0,4 | 0,6 | 0,74 | 0,76 | 0,76 |
| $\Sigma P, W$ | 780 | 986 | 1298 | 1756 | 1975 |
| I_{1nom}, A | 3,4 | 6,8 | 10,2 | 13,6 | 15 |
| $P_{o'izg}, W$ | 65 | 271 | 583 | 1041 | 1260 |
| P_1, W | 1506 | 4650 | 8560 | 11756 | 12902 |
| P_2, W | 726 | 3631 | 7262 | 10000 | 10927 |
| η | 0,48 | 0,79 | 0,88 | 0,850 | 0,846 |
| P_2/P_{nom} | 0,07 | 0,36 | 0,73 | 1,0 | 1,09 |

2.10 – masala. Stator chulg'ami “yulduzcha” ulangan uch fazali asinxron motor $2p$ qutblar soniga ega va chastotasi 50 Hz , kuchlanishi $U_{1l} = 380 \text{ V}$ li

tarmoqqa ulangan. Qo'zg'almas rotorning salt ishlash rejimida kontaktli halqalarida ulchangan EYuK E_{20} . Stator va rotor chulg'amlari r_1 va x_1 , r_2 va x_2 qarshiliklarga mos holda (3.11-jadval). Aniqlanishi talab etiladi: Nominal yuklamadagi rotorning aylanishi chastotasi n_{nom} , nominal rejimdagi elektromagnit moment M_{nom} , motorning nominal quvvati P_{nom} va yuklanish qobiliyati. Mexanik isroflar $P_{mex}=3 \cdot P_{qo'sh}$ qabul qilinsin.

2.10-jadval

| Parametr | Variantlar | | | | |
|---------------|------------|-------|-------|-------|-------|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| r_1, Ω | 0,21 | 0,04 | 0,065 | 0,035 | 0,055 |
| x_1, Ω | 0,20 | 0,09 | 0,11 | 0,073 | 0,16 |
| r_2, Ω | 0,044 | 0,031 | 0,027 | 0,020 | 0,033 |
| x_2, Ω | 0,089 | 0,082 | 0,07 | 0,10 | 0,082 |
| E_{20}, V | 270 | 360 | 290 | 250 | 267 |
| $2p$ | 8 | 10 | 10 | 10 | 10 |
| s_{nom} | 0,04 | 0,03 | 0,035 | 0,03 | 0,035 |

Yechish variant 1.

1. Rotor zanjiridagi qarshilikning keltirilgan qiymati

$$r'_2 = r_2 \cdot k_e^2 = 0,044 \cdot 1,34^2 = 0,08 \Omega;$$

$$x'_2 = x_2 \cdot k_e^2 = 0,089 \cdot 1,34^2 = 0,16 \Omega;$$

bunda k_e – stator chulg'ami va qo'zg'almas rotor chulg'ami orasidagi transformatsiyalash koeffitsiyenti

$$k_e = 0,95 \cdot \frac{U_{1l}}{E_{20}} = 0,95 \cdot \frac{380}{270} = 1,34.$$

faza rotorli motorlar uchun $k_e = k_f$

2. Nominal yuklamada rotor zanjiridagi tokning keltirilgan qiymati

$$I'_2 = \frac{U_1}{\sqrt{(r_1 + r'_2/s_{nom})^2 + (x_1 + x'_2)^2}} = \frac{220}{\sqrt{(0,21 + 0,08/0,04)^2 + (0,20 + 0,16)^2}} = 98 \text{ A.}$$

3. Qutblar soni $2p = 8$, tok chastotasi 50 Hz va nominal sirpanish $s_{nom} = 0,04$ da nominal aylanish chastotasi

$$n_{nom} = 750 \cdot (1 - 0,04) = 720 \frac{\text{ayl}}{\text{min}}$$

4. Motorning nominal rejimidagi elektromagnit momenti

$$M_{nom} = \frac{m_1 \cdot U_1^2 \cdot r_2' \cdot P}{2 \pi f_1 s \left[(r_1 + r_2'/s_{nom})^2 + (x_1 + x_2')^2 \right]} =$$

$$= \frac{3 \cdot 220^2 \cdot 0,08 \cdot 4}{2 \cdot 3,14 \cdot 50 \cdot 0,04 \cdot \left[(0,21 + 0,08/0,04)^2 + (0,2 + 0,16)^2 \right]} = 738 \text{ N} \cdot \text{m}.$$

5. Motorning maksimal momenti

$$M_{max} = \frac{m_1 \cdot U_1^2 \cdot P}{4 \pi f_1 \left[\pm r_1 + \sqrt{r_1^2 + (x_1 + x_2')^2} \right]} =$$

$$= \frac{3 \cdot 220^2 \cdot 4}{4 \cdot 3,14 \cdot 50 \left[0,21 + \sqrt{0,21^2 + (0,20 + 0,16)^2} \right]} = 1476 \text{ N} \cdot \text{m}.$$

6. Motorning yuklanish momenti

$$\lambda_M = \frac{1476}{738} = 2.$$

7. Motorning nominal yuklamadagi elektromagnit quvvati

$$P_{em} = 0,105 \cdot M_{nom} \cdot n_1 = 0,105 \cdot 738 \cdot 750 = 58117 \text{ W}.$$

8. Nominal yuklamada rotor chulg'amidagi elektr isroflar

$$P_{e2} = m_1 \cdot I_2'^2 \cdot r_2' = 3 \cdot 98^2 \cdot 0,08 = 2304 \text{ W}.$$

9. Nominal yuklamadagi qo'shimcha isroflar

$$P_{qo'sh} \approx 0,005 \cdot P_{em} = 0,005 \cdot 58117 = 290 \text{ W}.$$

10. Mexanik isroflar

$$P_{mex} = 2 \cdot P_{qo'sh} = 2 \cdot 290 = 580 \text{ W}.$$

11. Motorning nominal rejimidagi foydali quvvati

$$P_{nom} = P_{em} - P_{e2} - P_{qo'sh} - P_{mex} = 58117 - 2304 - 290 - 580 = 54943 \text{ W} \approx 5,5 \text{ kW}.$$

2.11 – masala. Qisqa tutashgan rotorli uch fazali asinxron motor kuchlanishi $U_{1l} = 380 V$, chastotasi $f_1 = 50 Hz$ li tarmoqdan ishlamoqda. Nominal yuklamada motor rotori n_{nom} chastota bilan aylanadi; motorning yuklanish qobiliyati λ_m , ishga tushirish momentining karraligi $M_{ish.t}/M_{nom}$ (2.11-jadval). Agar nominal rejimda elektromagnit quvvat P_{em} bo'lsa, motor parametrlarining qiymatlari hisoblansin va mexanik karakteristikasi $M_* = f(s)$ nisbiy birliklarda qurilsin. Nominalga nisbatan kuchlanishning qanday tushuvida motor validagi nominal moment bilan ishga tushish qobiliyatini va kuchlanishning qanday tushuvida o'ta yuklanish qobiliyatining yo'qotishi aniqlansin.

2.11-jadval

| Parametr | Variantlar | | | | | | | | | |
|---------------------|------------|------|-----|------|-----|------|-----|------|-----|-----|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
| P_{em}, kW | 7,5 | 15 | 11 | 4,0 | 15 | 1,1 | 30 | 3,0 | 7,5 | 37 |
| $n_{nom}, ayl/min$ | 1440 | 2940 | 960 | 1420 | 720 | 2920 | 580 | 1430 | 730 | 575 |
| λ_m | 2,2 | 1,9 | 2,0 | 2,2 | 2,0 | 1,9 | 1,8 | 2,2 | 1,7 | 1,8 |
| $M_{ish.t}/M_{nom}$ | 1,4 | 1,4 | 1,2 | 1,0 | 1,0 | 1,2 | 1,4 | 1,0 | 0,9 | 1,0 |
| $2p$ | 4 | 2 | 6 | 4 | 8 | 2 | 10 | 4 | 8 | 10 |

Yechish variant 1.

Hisoblashlarni nisbiy birliklarda soddalashtirilgan formula bo'yicha amalga oshiramiz.

$$M_* = \frac{2}{[(s/s_{kr}) + (s_{kr}/s)]}$$

bunda $M_* = M/M_{max}$ – elektromagnit momentning nisbiy qiymati.

1. Nominal sirpanish

$$s_{nom} = \frac{n_1 - n_{nom}}{n_1} = \frac{1500 - 1440}{1500} = 0,04.$$

2. Kritik sirpanish

$$s_{kr} = s_{nom} (\lambda_m + \sqrt{\lambda_m^2 - 1}) = 0,04 (2,2 + \sqrt{2,2^2 - 1}) = 0,17.$$

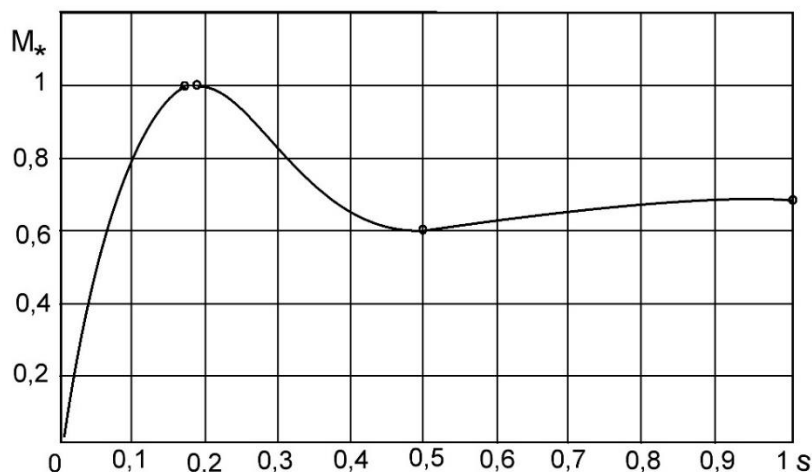
3. Sirpanishlar $s_{nom} = 0,04$; $s_{kr} = 0,17$; $s = 0,2$; $s = 0,5$; $s = 0,8$ bo'lganda momentning nisbiy qiymatlarini hisoblaymiz.

4. Hisoblash natijalari 3.13-jadvalda keltirilgan.

2.12-jadval

| Parametr | Parametr qiymatlari | | | | | |
|----------------|---------------------|------|------|------|-----|------|
| s | 0,04 | 0,17 | 0,2 | 0,5 | 0,8 | 1,0 |
| M_* | 0,445 | 1,0 | 0,98 | 0,61 | 0,4 | 0,64 |
| $M, N \cdot m$ | 47,7 | 105 | 103 | 64 | 42 | 66,8 |

Olingan natijalar bo'yicha momentning haqiqiy qiymatlari hisoblangan va motorning mexanik xarakteristikasi $M_* = f(s)$ (3.3-rasm) qurilgan.



2.3-rasm. Asinxron motorning mexanik xarakteristikasi

Moment nisbiy qiymatining taqribiy formulasi sirpanishning kattaroq qiymatlarida sezilarli xatoliklar berganligi sababli sirpanish $s = 1,0$ ga mos keluvchi, ishga tushirish momentining qiymatini nominal moment qiymati bo'yicha aniqlaymiz.

$$M_{nom} = 9,55 \cdot P_{em} / n_1 = 9,55 \cdot \frac{7500}{1500} = 47,7 \text{ N} \cdot \text{m}.$$

$$\text{Demak, } M_{ish.t} = M_{nom} \cdot 1,4 = 47,7 \cdot 1,4 = 66,8 \text{ N} \cdot \text{m}.$$

Ishga tushirish momentining nisbiy qiymati .

$$M_{ish.t*} = M_{ish.t}/M_{max} = \frac{66,8}{105} = 0,63$$

bunda maksimal moment qiymati

$$M_{max} = M_{nom} \cdot \lambda_m = 47,2 \cdot 2,2 = 105 \text{ N} \cdot \text{m}.$$

5. Ma'lumki elektromagnit momentning qiymati U_1^2 to'g'ri proporsional. Shu sababli ishga tushirish momentining $M_{ish.t}/M_{nom} = 1,4$ karraligida ishga tushirish momenti nominal momentga teng bo'lar ekan, agar ta'minot kuchlanishining qiymati $U'_{1l} = U_{1l}/\sqrt{1,4} = 380/1,18 = 322 \text{ V}$ gacha kamaysa.

Natijada keyinchalik kuchlanishning kamroq tushuvi shunga olib keladiki, motorning validagi nominal yuklama momentida ham ishga tushirish sodir bo'lmaydi. Motorning o'ta yuklanish qobiliyati to'g'risida shuni aytish mumkin: $\lambda_m = 2,2$ ekanligini hisobga olsak, bu qobiliyat tarmoq kuchlanishini $U_{1l}/\sqrt{2,2} = 380/1,48 = 257 \text{ V}$ ga kamaytirganda yo'qoladi.

2.12 – masala. Stator chulg'amlari “yulduzcha” ulangan A2 seriyadagi uch fazali qisqa tutashgan rotorli asinxron motor kuchlanishi 380 V , chastotasi 50 Hz li tarmoqdan ishlamoqda. Motorning nominal parametrlari 3.14-jadvalda keltirilgan: foydali quvvat P_{nom} , aylanish chastotasi n_{nom} , F.I.K η_{nom} , quvvat koeffitsiyenti $\cos \varphi_{1nom}$; ishga tushirish tokining karraligi $\frac{I_{ish.t}}{I_{nom}}$, ishga tushirish $\frac{M_{ish.t}}{M_{nom}}$, va maksimal $\frac{M_{max}}{M_{nom}}$ momentlar karraligi; $20 \text{ }^\circ\text{C}$ temperaturada stator faza chulg'amining aktiv qarshiligi $r_{1,2,0}$. Motor parametrlarini hisoblash va mexanik xarakteristikasini qurish talab etiladi $n_2=f(M)$. Qisqa tutashuv rejimidagi quvvat koeffitsiyenti $\cos \varphi_{qt} = 0,5 \cdot \cos \varphi_{1nom}$ qabul qilinsin.

2.13-jadval

| Motor turlari | P_{nom} , kW | n_{nom} , ayl /min | η_{nom} , % | $\cos \varphi_{1nom}$ | $I_{ish.t} / I_{nom}$ | $M_{ish.t} / M_{nom}$ | M_{max} / M_{nom} | $r_{1,2,0}, \Omega$, $20 \text{ }^\circ\text{C}$ da |
|---------------|----------------|----------------------|------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|---------------------|--|
| A2-61-2 | 17 | 2900 | 88,0 | 0,88 | 7 | 1,2 | 2,2 | 0,1900 |

| | | | | | | | | |
|---------|-----|------|------|------|---|-----|-----|--------|
| A2-62-2 | 22 | 2900 | 89,0 | 0,88 | 7 | 1,1 | 2,2 | 0,1540 |
| A2-71-2 | 30 | 2900 | 90,0 | 0,90 | 7 | 1,1 | 2,2 | 0,1170 |
| A2-72-2 | 40 | 2900 | 90,5 | 0,90 | 7 | 1,0 | 2,2 | 0,0770 |
| A2-81-2 | 55 | 2900 | 91,0 | 0,90 | 7 | 1,0 | 2,2 | 0,0540 |
| A2-82-2 | 75 | 2900 | 92,0 | 0,90 | 7 | 1,0 | 2,2 | 0,0347 |
| A2-91-2 | 100 | 2920 | 93,0 | 0,90 | 7 | 1,0 | 2,2 | 0,0209 |
| A2-92-2 | 125 | 2920 | 94,0 | 0,90 | 7 | 1,0 | 2,2 | 0,0144 |
| A2-61-4 | 13 | 1450 | 88,5 | 0,88 | 7 | 1,3 | 2,0 | 0,2700 |
| A2-62-4 | 17 | 1450 | 89,5 | 0,88 | 7 | 1,3 | 2,0 | 0,1890 |
| A2-71-4 | 22 | 1455 | 90,0 | 0,88 | 7 | 1,2 | 2,0 | 0,1700 |

Yechish A2-71-4 rusumli motor varianti.

1. Nominal yuklama rejimida motor iste'mol qiladigan quvvat

$$P_{1nom} = \frac{P_{nom}}{\eta_{nom}} = \frac{22}{0,9} = 24,4 \text{ kW}.$$

2. Nominal yuklama rejimida motor iste'mol qiladigan tok

$$I_{1nom} = \frac{P_{1nom}}{3 \cdot U_{1nom} \cdot \cos \varphi_{1nom}} = \frac{24400}{3 \cdot 220 \cdot 0,8} = 42 \text{ A}.$$

3. Motorni ishga tushirish toki

$$I_{ish.t} = I_{1nom} \cdot (I_{ish.t}/I_{1nom}) = 42 \cdot 7 = 294 \text{ A}.$$

4. Motorning qisqa tutashuv qarshiligi

$$Z_{qt} = \frac{U_1}{I_{ish.t}} = \frac{220}{294} = 0,75 \Omega.$$

5. Qisqa tutashuv rejimidagi quvvat koeffitsiyenti

$$\cos \varphi_{qt} = 0,5 \cdot 0,88 = 0,44; \sin \varphi_{qt} = 0,895.$$

6. Qisqa tutashuv qarshiligining aktiv va induktiv tashkil etuvchilari

$$x_{qt} = Z_{qt} \cdot \sin \varphi_{qt} = 0,75 \cdot 0,895 = 0,67 \Omega;$$

$$r_{qt} = Z_{qt} \cdot \cos \varphi_{qt} = 0,75 \cdot 0,44 = 0,33 \Omega.$$

7. Ishchi temperaturadagi stator faza chulg'aming qarshiligi

$$r_1 = r_{1,20}[1 + \alpha(\theta_{ish} - 20)] = 0,17[1 + 0,004(75 - 20)] = 0,21 \Omega.$$

bunda $\theta_{ish} = 75 \text{ }^\circ\text{C}$ – ishchi temperatura; $\alpha = 0,004$ – mis qarshiligining temperatura koeffitsiyenti.

8. Nominal yuklama rejimidagi sirpanish

$$s_{nom} = \frac{n_1 - n_{nom}}{n_1} = \frac{1500 - 1455}{1500} = 0,03.$$

9. Rotor faza chulg'ami aktiv qarshiligining keltirilgan qiymati

$$r_2' = r_{qt} - r_1 = 0,33 - 0,21 = 0,12 \Omega.$$

10. Elektromagnit momentning nominal qiymatini quyidagi formuladan aniqlaymiz

$$M = \frac{m_1 \cdot U_1^2 \cdot r_2' \cdot P}{2\pi \cdot f_1 \cdot s_{nom} [(r_1 + r_2'/s_{nom})^2 + x_{qt}^2]} =$$

$$= \frac{3 \cdot 220^2 \cdot 0,12 \cdot 2}{2 \cdot 3,14 \cdot 50 \cdot 0,03 [(0,21 + 0,12/0,03)^2 + 0,67^2]} = 204 \text{ N} \cdot \text{m}.$$

11. Maksimal moment

$$M_{max} = M_{nom} \cdot \lambda = 204 \cdot 2 = 408 \text{ N} \cdot \text{m}.$$

12. Ishga tushirish momenti

$$M_{ish.t} = 204 \cdot 1,2 = 245 \text{ N} \cdot \text{m}.$$

13. Kritik sirpanish

$$s_{kr} = s_{nom} \cdot \left[\frac{M_{max}}{M_{nom}} + \sqrt{\left(\frac{M_{max}}{M_{nom}} \right)^2 - 1} \right] = 0,03 \cdot [2 + \sqrt{2^2 - 1}] = 0,11.$$

14. $s = 0,5$ sirpanishdagi moment

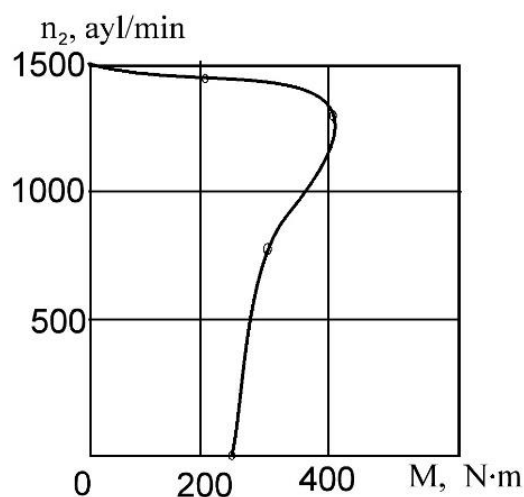
$$M = \frac{m_1 \cdot U_1^2 \cdot r_2' \cdot P}{2\pi \cdot f_1 \cdot s [(r_1 + r_2'/s)^2 + (x_1 + x_2')^2]} =$$

$$= \frac{3 \cdot 220^2 \cdot 0,12 \cdot 2}{2 \cdot 3,14 \cdot 50 \cdot 0,5 [(0,21 + 0,12/0,5)^2 + 0,69^2]} = 341 \text{ N} \cdot \text{m}.$$

15. Aylanish chastotasini formula bo'yicha hisoblab $n_2 = n_1 \cdot (1 - s)$, motorni mexanik xarakteristikasini qurish uchun parametrlarni hisob natijalarini olamiz.

| | | | | | |
|---------------------------------------|------|------|------|-----|-----|
| Sirpanish | 0 | 0,03 | 0,11 | 0,5 | 1,0 |
| Aylanish chastotasi $\frac{ayl}{min}$ | 1500 | 1455 | 1335 | 750 | 0 |
| Moment, $N \cdot m$ | 0 | 204 | 410 | 341 | 245 |

16. Olingan natijalar bo'yicha $n_2=f(M)$ mexanik xarakteristikalarni quramiz.



2.4-pacm. Asinxron motorning mexanik xarakteristikasi

2.13 – masala. 2.15-jadvalda AK2 seriyadagi uch fazali faza rotorli asinxron motorlarning texnik ma'lumotlari keltirilgan. Nominal M_{nom} va maksimal M_{max} momentlar qiymatlarini, nominal s_{nom} va kritik s_{kr} sirpanishlarni, shuningdek motorning boshlang'ich ishga tushirish momenti maksimalga teng bo'lishi uchun rotor faza chulg'amiga ulanishi kerak bo'ladigan rezistor qarshiligini aniqlash talab etiladi; shu rejim uchun mexanik xarakteristika qurilsin va undan nominal moment M_{nom} ga mos keluvchi sirpanish aniqlansin. Tarmoq kuchlanishi 380 V, chastota 50 Hz; stator chulg'ami "yulduzcha" ulangan. Motorning tarmoqqa to'g'ridan-to'g'ri (reostatsiz) ulagandagi ishga tushirish tokining karraligi $\lambda=I_{ish.t}/I_{nom}=7$; qisqa tutashuv rejimidagi quvvat koeffitsiyenti $\cos \varphi_{qt}=0,5 \cdot \cos \varphi_{nom}$ deb, qabul qilinsin.

| Motor turlari | P_{nom} , kW | n_{nom} , ayl /min | η_{nom} , % | $\cos \varphi_{1nom}$ | M_{max} / M_{nom} | $r_{1.20}$, Ω , 20 °C da. |
|---------------|-------------------|----------------------------|---------------------|-----------------------|--------------------------|--------------------------------------|
| AK2-81-4 | 40 | 1440 | 90,0 | 0,84 | 2,0 | 0,0725 |
| AK2-82-4 | 55 | 1440 | 90,5 | 0,84 | 2,0 | 0,0390 |
| AK2-91-4 | 75 | 1450 | 90,5 | 0,85 | 2,0 | 0,0326 |
| AK2-92-4 | 100 | 1450 | 90,5 | 0,85 | 2,0 | 0,0210 |
| AK2-81-6 | 30 | 960 | 89,0 | 0,84 | 1,8 | 0,0920 |
| AK2-82-6 | 40 | 960 | 89,0 | 0,85 | 1,8 | 0,0605 |
| AK2-91-6 | 55 | 960 | 89,0 | 0,86 | 1,8 | 0,0590 |
| AK2-92-6 | 75 | 960 | 90,5 | 0,86 | 1,8 | 0,0350 |
| AK2-81-8 | 22 | 720 | 87,5 | 0,79 | 1,7 | 0,1570 |
| AK2-82-8 | 30 | 720 | 87,5 | 0,79 | 1,7 | 0,0935 |

Yechish AK2-82-8 motor varianti.

1. Nominal rejimda motor iste'mol qiladigan quvvat

$$P_{1nom} = \frac{P_{nom}}{\eta_{nom}} = \frac{30}{0,875} = 34,3 \text{ kW.}$$

2. Nominal rejimda motorning iste'mol toki

$$I_{1nom} = \frac{P_{1nom}}{m_1 \cdot U_{1nom} \cdot \cos \varphi_{1nom}} = \frac{34300}{3 \cdot 220 \cdot 0,79} = 66 \text{ A.}$$

3. Nominal rejimdagi sirpanish

$$S_{nom} = \frac{750 - 720}{750} = 0,04.$$

4. Ishchi temperatura 75 °C da stator fazasining aktiv qarshiligi

$$r_1 = r_{1.20} [1 + \alpha(75 - 20)] = 0,0935 \cdot [1 + 0,004 \cdot 55] = 0,0935 \cdot 1,22 = 0,114 \Omega.$$

5. To'g'ridan – to'g'ri (*reostatsiz*) ulashdagi ishga tushirish toki

$$I_{ish.t} = I_{1nom} (I_{ish.t} / I_{1nom}) = 66 \cdot 7 = 462 \text{ A.}$$

6. Qisqa tutashuv qarshiligi

$$Z_{qt} = \frac{U_1}{I_{ish.t}} = \frac{220}{462} = 0,48 \Omega.$$

7. Qisqa tutashuvning quvvat koeffitsiyenti

$$\cos \varphi_{qt} = 0,5 \cdot \cos \varphi_{1nom} = 0,5 \cdot 0,79 = 0,395; \sin \varphi_{qt} = 0,918.$$

8. Qisqa tutashuv qarshiligining induktiv takshil etuvchisi

$$x_{qt} = Z_{qt} \cdot \sin \varphi_{qt} = 0,48 \cdot 0,918 = 0,44 \Omega.$$

9. Qisqa tutashuv qarshiligining aktiv tashkil etuvchisi

$$r_{qt} = Z_{qt} \cdot \cos \varphi_{qt} = 0,48 \cdot 0,395 = 0,19 \Omega.$$

10. Stator fazasiga keltirilgan rotor fazasining aktiv qarshiligi

$$r_2' = r_{qt} - r_1 = 0,19 - 0,114 = 0,076 \Omega.$$

11. $s_{nom} = 0,04$ sirpanishda rotor fazasining aktiv qarshiligi

$$r_2'/s_{nom} = 0,076/0,04 = 1,9 \Omega.$$

12. Elektromagnit momentining nominal qiymati

$$\begin{aligned} M_{nom} &= \frac{m_1 \cdot U_1^2 \cdot r_2' \cdot P}{2\pi \cdot f_1 \cdot s_{nom} [(r_1 + r_2'/s_{nom})^2 + x_{qt}^2]} = \\ &= \frac{3 \cdot 220^2 \cdot 0,076 \cdot 4}{2 \cdot 3,14 \cdot 50 \cdot 0,04 [(0,114 + 1,9)^2 + 0,44^2]} = 720 \text{ N} \cdot \text{m}. \end{aligned}$$

13. Momentning maksimal qiymati

$$\begin{aligned} M_{max} &= \frac{m_1 \cdot U_1^2 \cdot P}{4\pi f_1 \left[\pm r_1 + \sqrt{r_1^2 + x_{qt}^2} \right]} = \\ &= \frac{3 \cdot 220^2 \cdot 4}{4 \cdot 3,14 \cdot 50 \left[\pm 0,114 + \sqrt{0,114^2 + 0,44^2} \right]} = 1640 \text{ N} \cdot \text{m}. \end{aligned}$$

14. Kritik sirpanish

$$s_{kr} \approx \pm r_2'/x_{qt} = 0,076/0,44 = 0,17.$$

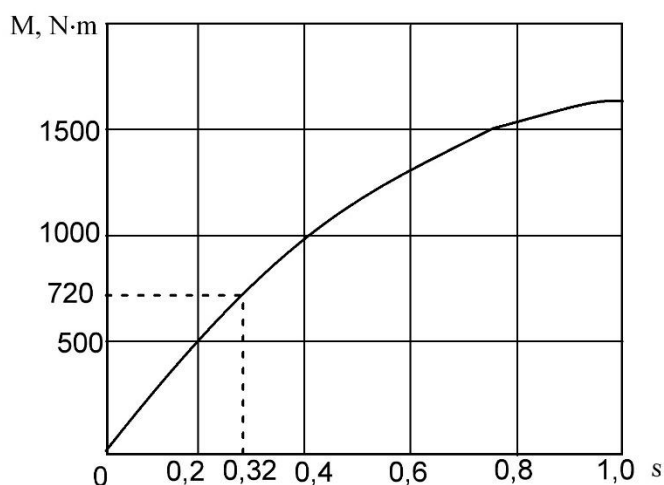
15. Ishga tushirish momenti maksimal bo'lishi uchun rotor zanjiriga ulanuvchi rezistor qarshiligi r_{qorsh} shunday bo'lishi kerakki, bunda rotor fazasining umumiy aktiv qarshiligi x_{qt} ga teng bo'lishi zarur. Demak,

$$r_{qorsh} = x_{qt} - r_2' = 0,44 - 0,076 = 0,364 \Omega.$$

16. $M = f(s)$ sun'iy mexanik xarakteristikani qurish uchun (rotor zanjirining keltirilgan qarshiligiga mos keluvchi $r_{qo'rish} + r_2' = 0,44 \Omega$) $s=0,5$ va $s=0,75$ sirpanishlardagi momentlar qiymatini hisoblaymiz.

Sirpanishni bir qator qiymatlari uchun elektromagnit momentni hisoblash natijalari quyida keltirilgan:

| | | | | |
|----------------|---|------|------|------|
| s | 0 | 0,5 | 0,75 | 1,0 |
| $M, N \cdot m$ | 0 | 1381 | 1500 | 1640 |



2.5-rasm. Asinxron motorning sun'iy mexanik xarakteristikasi $M=f(s)$

2.5-rasmdagi xarakteristikadan ko'rinadiki $M_{nom} = 720 N \cdot m$ nominal momentda, sirpanish $s = 0,32$ bu esa aylanish chastotasi $n_{nom} = 750 \cdot (1 - 0,32) = 510 \frac{ayl}{min}$ ga mos keladi.

2.14 – masala. Nominal quvvati P_{nom} bo'lgan uch fazali asinxron motor kuchlanishi $380 V$, chastotasi $50 Hz$, li tarmoqqa ulangan stator chulg'ami “yulduzcha” ulangan. Quvvat koeffitsiyenti $\cos \varphi_1$ da n_{1nom} chastota bilan aylanayotgan motor I_{1nom} tok iste'mol qiladi. Salt ishlash rejimida motor $I_{1,0}$ tokda tarmoqdan $P_{1,0}$ quvvat iste'mol qiladi; stator faza chulg'aminging aktiv qarshiligi ishchi temperaturada r_1 (2.16-jadval). Mexanik isroflar P_{mex}

qiymatlarini qabul qilib, nominal yuklama rejimidagi motorning barcha ko'rinishdagi isroflari aniqlansin.

2.16-jadval

| Parametr | Variantlar | | | | | |
|----------------------------|------------|------|-------|-------|------|------|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
| P_{nom}, kW | 15 | 7,0 | 75 | 100 | 7,0 | 10 |
| I_{1nom}, A | 32 | 14 | 140 | 180 | 11 | 19 |
| $n_{nom}, \frac{ayl}{min}$ | 1455 | 2910 | 960 | 1460 | 1450 | 2920 |
| r_1, Ω | 0,25 | 0,58 | 0,036 | 0,015 | 0,52 | 0,33 |
| $\cos \varphi_1$ | 0,85 | 0,90 | 0,88 | 0,91 | 0,86 | 0,91 |
| P_{e10}, W | 820 | 400 | 1270 | 2000 | 300 | 330 |
| I_{10}, A | 7,0 | 4,0 | 31 | 43 | 4,5 | 5,0 |
| P_{mex}, W | 160 | 170 | 250 | 450 | 120 | 220 |

Yechish variant 1.

1. Salt ishlash rejimida stator chulg'amidagi elektr isroflar

$$P_{e10} = m_1 \cdot I_{10}^2 \cdot r_1 = 3 \cdot 7^2 \cdot 0,25 = 37 W.$$

2. Doimiy isroflar (magnit va mexanik isroflar yig'indisi)

$$P_d = P_{10} - P_{e10} = 820 - 37 = 783 W.$$

3. Magnit isroflar

$$P_m = P_d - P_{mex} = 783 - 160 = 663 W.$$

4. Nominal yuklamada tarmoqdan iste'mol qilinuvchi quvvat

$$P_{1nom} = m_1 \cdot U \cdot I_{nom} \cdot \cos \varphi_1 = 3 \cdot 220 \cdot 32 \cdot 0,85 = 17952 W.$$

5. Umumiy isroflar

$$\Sigma P = P_{1nom} - P_{nom} = 17952 - 15000 = 2952 W.$$

6. Nominal rejimda motorning FIK

$$\eta_{nom} = P_{nom} / P_{1nom} = 15 / 17,95 = 0,83.$$

7. Nominal rejimdagi o'zgaruvchan isroflar (stator va rotor chulg'amlaridagi elektr isroflar va qo'shimcha isroflar yig'indisi)

$$P_{o'z.nom} = \Sigma P - P_d = 2952 - 783 = 2169 \text{ W.}$$

8. Nominal rejimdagi qo'shimcha isroflar

$$P_{qo'sh.nom} = 0,005 \cdot P_{1nom} = 0,005 \cdot 17952 = 90 \text{ W.}$$

9. Nominal rejimda stator chulg'amidagi elektr isroflar

$$R_{e1nom} = m_1 \cdot I_{1nom}^2 \cdot r_1 = 3 \cdot 32^2 \cdot 0.25 = 768 \text{ W.}$$

10. Nominal rejimda rotor chulg'amidagi elektr isroflar

$$P_{e2nom} = P_{o'z.nom} - P_{e1nom} - P_{qo'sh.nom} = 2169 - 768 - 90 = 1311 \text{ W.}$$

2.2.3. Aylanma diagramma va ishchi xarakteristikalar

2.15 – masala. 2.17-jadval ma'lumotlari va 2 – ilovada keltirilgan uch fazali asinxron motorlarning ishchi xarakteristikalaridan har bir taklif etilayotgan variantlar bo'yicha aniqlanishi talab etiladi:

a) Nominal ish rejimidagi motorning parametrlari – stator toki I_{1nom} , FIK η_{nom} , quvvat koeffitsiyenti $\cos \varphi_{nom}$, sirpanish s_{nom} , aylanish chastotasi n_{nom} , iste'mol qilinadigan quvvat P_{1nom} ;

2.17-jadval

| Parametr | Variantlar | | | | | |
|------------------------------------|------------|----------|-------|----------|----------|-------|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
| Rasm(2-ilovaga qarang) | I.2.1 | I.2.2 | I.2.3 | I.2.4 | I.2.5 | I.2.6 |
| P_{nom}, kW | 250 | 2,8 | 7,5 | 160 | 4,0 | 45 |
| Tarmoqdagi kuchlanish U_{1l}, V | 660 | 220 | 380 | 380 | 220 | 380 |
| Stator obmotkasining ulash sxemasi | Y | Δ | Y | Δ | Δ | Y |
| $2p$ | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 |

b) FIK ning maksimal qiymati η_{max} va shu FIK ga mos qoluvchi nominal P_{nom} ga nisbatan ulushlarda ifodalangan yuklama P_2 ;

v) Nominal yuklamadagi o'zgaruvchan isroflar $P_{o'z.nom}$ ni doimiy isroflar P_d ga nisbati;

g) Stator chulg'ami fazasining aktiv qarshiligi r_1 .

Yechish variant 1.

1. Nominal rejidagi motor parametrlari (2-ilova, I 2-1 rasmga qarang):

motorning foydali quvvati $P_{nom}=250 kW$; stator toki $I_{1nom} = 250 A$; sirpanish $s_{nom} = 1,7\%$ yoki $0,017$; aylanish chastotasi $n_{nom}=1500 (1 - 0,017)=$

$1474 \frac{ayl}{min}$; FIK $\eta_{nom} = 0,92$; quvvat koeffitsiyenti $\cos \varphi_{1nom}=0,88$; iste'mol

qilinadigan quvvat $P_{1nom} = P_{nom}/\eta_{nom} = 250/0,92 = 271,7 kW$.

2. FIK ning maksimal qiymatga $\eta_{max} = 0,94$, $P_2 = 150 kW$, ya'ni $0,6 P_{nom}$ ga mos keladi (I.2-1 rasmga qarang, 2-ilova).

3. $0,6 P_{nom} = 150 kW$ yuklamadagi motor iste'mol qiladigan quvvat

$$P_1 = P_2/\eta_{max} = 150/0,94 = 159,6 kW.$$

4. $0,6 P_{nom} = 150 kW$ yuklamadagi isroflar yig'indisi

$$\Sigma P = P_1 - P_2 = 159,6 - 150 = 9,6 kW.$$

5. Doimiy isroflar

$$P_d = P_m + P_{mex} = \frac{\Sigma P}{2} = \frac{9,6}{2} = 4,8 kW.$$

6. Nominal yuklamadagi motorning umumiy isroflari

$$\Sigma P_{nom} = P_{1nom} - P_{nom} = 271,7 - 250 = 21,7 kW.$$

7. Nominal yuklama rejimidagi o'zgaruvchan isroflar

$$P_{o'z.nom} = \Sigma P_{nom} - P_d = 21700 - 4800 = 16900 W.$$

8. Nominal yuklamada o'zgaruvchan isroflarni doimiy isroflarga nisbati

$$P_{o'z.nom}/P_d = 16900/4800 \approx 3,5.$$

9. Nominal yuklamadagi qo'shimcha isroflar

$$P_{qo'sh} = 0,005 \cdot P_{1nom} = 0,005 \cdot 271700 = 1359 W.$$

10. Salt ishlash momenti

$$M_0 = 9,55 \cdot \frac{P_d}{n_1} = 9,55 \cdot \frac{4800}{1500} = 31 N \cdot m.$$

11. Motor validagi nominal moment

$$M_{2nom} = 9,55 \cdot \frac{P_{nom}}{n_{nom}} = 9,55 \cdot \frac{25000}{1474} = 1620 \text{ N} \cdot \text{m}.$$

12. Nominal rejimdagi elektromagnit moment

$$M_{nom} = M_{2nom} + M_0 = 1620 + 31 = 1651 \text{ N} \cdot \text{m}.$$

13. Nominal rejimdagi elektromagnit quvvat

$$P_{em.nom} = 0,105 \cdot M_{nom} \cdot n_1 = 0,105 \cdot 1651 \cdot 1500 = 260032 \text{ W}.$$

14. Nominal yuklama rejimida rotor chulg'amidagi elektr isroflar

$$P_{e2.nom} = s_{nom} \cdot P_{em.nom} = 0,017 \cdot 260032 = 4420 \text{ W}.$$

15. Nominal yuklama rejimida stator chulg'amidagi elektr isroflar

$$P_{e1nom} = P_{o'iz.nom} - P_{e2nom} - P_{qo'.nom} = 16900 - 4420 - 1359 = 11121 \text{ W}.$$

16. Stator chulg'ami fazasining aktiv qarshiligi

$$r_1 = \frac{P_{e1.nom}}{m_1 \cdot I_{1nom}^2} = \frac{11121}{3 \cdot 250^2} = 0,059 \Omega.$$

2.16 – masala. Uch fazali asinxron motorning soddalashtirilgan aylanma diagrammasi qurilsin va uning nominal ish rejimiga mos keluvchi parametrlari aniqlansin. Diagrammani qurish uchun zarur ma'lumotlar 2.18 – javdvalda keltirilgan: nominal quvvat P_{nom} ; stator chulg'amining faza kuchlanishi U_{1f} ; stator fazasining toki (nominal) I_{1f} ; qutblar soni $2p$; ishchi temperaturadagi stator chulg'ami fazasining aktiv qarshiligi r_1 ; salt ish faza toki I_{of} ; salt ish quvvati P_0 ; ideal salt ishlash quvvati $P_0 = P_0 - 3 \cdot I_0 \cdot r_1$; mexanik isroflar P_{mex} ; salt ishlash quvvat koeffitsiyenti $\cos \varphi_0$; qisqa tutashuv quvvati P_{qt} ; qisqa tutashuv faza kuchlanishi U_{qt} ; qisqa tutashuv quvvat koeffitsiyenti $\cos \varphi_{qt}$; tok chastotasi 50 Hz.

2.18-jadval

| Parametr | Variantlar | | | | | |
|---------------|------------|-----|-----|-----|------|-----|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
| P_{nom}, kW | 3,0 | 12 | 70 | 22 | 250 | 16 |
| U_{1f}, V | 220 | 220 | 220 | 220 | 1730 | 220 |

| | | | | | | |
|---------------------|------|------|-------|-------|-------|------|
| I_{1f}, A | 6,3 | 25 | 190 | 54 | 60 | 40 |
| $2p$ | 4 | 4 | 4 | 8 | 6 | 8 |
| r_1, Ω | 1,7 | 0,32 | 0,035 | 0,15 | 0,68 | 0,15 |
| I_{of}, A | 1,83 | 9,7 | 55 | 32,8 | 17,5 | 9,6 |
| P_0, W | 300 | 565 | 6500 | 1340 | 10750 | 950 |
| P'_0, W | 283 | 475 | 6180 | 1120 | 10125 | 890 |
| P_{mex}, W | 200 | 250 | 600 | 370 | 1350 | 270 |
| $\cos \varphi_0$ | 0,24 | 0,10 | 0,20 | 0,064 | 0,12 | 0,15 |
| P_{qt}, W | 418 | 1780 | 9500 | 2360 | 12160 | 1740 |
| U_{qt}, V | 59,5 | 57,8 | 58,0 | 44,0 | 360 | 42,0 |
| $\cos \varphi_{qt}$ | 0,37 | 0,34 | 0,30 | 0,33 | 0,25 | 0,34 |

Yechish variant 1.

1. \dot{U}_{1f} kuchlanishga nisbatan salt ishlash toki \dot{I}_{of} va qisqa tutashuv toki \dot{I}_{1qt} orasidagi faza siljish burchaklari (3.6-rasm)

$$\varphi_0 = \arccos 0,24 = 76^\circ;$$

$$\varphi_{qt} = \arccos 0,37 = 68^\circ.$$

2. Nominal kuchlanishga keltirilgan qisqa tutashuv faza toki

$$I_{1qt} = I_{1f} \cdot \frac{U_{1f}}{U_{qt}} = 6,3 \cdot \frac{220}{59,5} = 23 A.$$

3. Tok masshtabini qurish uchun mo'ljallangan qog'oz varag'i o'lchamlarini hisobga olib qabul qilamiz: masalan agar A4 (210x297 mm) li formatdagi varaq qo'llanilsa tok masshtabi $m_i = 0,1 A/mm$ qabul qilinadi.

4. Tok vektorining uzunligi:

salt ishlash tokining

$$\overline{OH} = I_{of}/m_i = 1,83/0,1 = 18,3 \text{ mm};$$

stator nominal tokining

$$\overline{OD}_1 = I_{1f}/m_i = 6,3/0,1 = 63 \text{ mm};$$

qisqa tutashuv tokining

$$\overline{OK} = I_{1qt}/m_i = 23/0,1 = 230 \text{ mm.}$$

5. Quvvat va moment masshtablari

$$m_P = m_1 \cdot U_{1f} \cdot m_i = 3 \cdot 220 \cdot 0,1 = 66 \text{ W/mm};$$

$$m_M = 9,55 m_P/n_1 = 9,55 \cdot \frac{66}{1500} = 0,42 \text{ N} \cdot \frac{\text{m}}{\text{mm}}.$$

6. Ordinatalar o'qida O nuqtadan ixtiyoriy uzunlikda U_{1f} kuchlanish vektorini quramiz va φ_0 burchak ostida ordinata o'qiga nisbatan salt ishlash toki vektori $\overline{OH} = 18,3 \text{ mm}$ hamda φ_{qt} burchak ostida qisqa tutashuv toki vektori $\overline{OK} = 230 \text{ mm}$ ni quramiz.

7. N nuqtadan absissa o'qiga parallel ravishda to'g'ri chizik o'tkazamiz, bu chiziqda toklar aylanasi diametriga teng bo'lgan \overline{HC} kesmani joylashtiramiz

$$D_i = \frac{(U_{1f}/x_{qt})}{m_i} = \frac{220/8,78}{0,1} = 250 \text{ mm}$$

bunda

$$x_{qt} = Z_{qt} \cdot \sin \varphi_{qt} = (U_{qt}/I_{1f}) \cdot \sin \varphi_{qt} = (59,5/6,3) \cdot 0,93 = 8,78 \Omega.$$

bu yerda $\sin \varphi_{qt} = 0,93$.

8. Aylana diametri o'rtasidagi O' nuqtadagi $\overline{HC}/2$ radius bilan toklar yarim aylanasi o'tkazamiz. Bunda N va K nuqtalar shu yarim aylanada bo'ladi. N va K nuqtalarni birlashtirib \overline{HK} foydali quvvat liniyasiga ega bo'lamiz.

9. Toklar aylanasi D_1 (motor nominal yuklama rejimi nuqtasi) nuqtani belgilaymiz. Buning uchun O nuqtadan $\overline{OD}_1 = 63 \text{ mm}$ li kesmani o'tkazamiz.

10. $\overline{O_1C}$ kesma o'rtasida F nuqtani belgilaymiz, bu nuqta orqali \overline{HC} diametrga perpendikulyar o'tkazamiz. Bu perpendikulyarda

$$\overline{FF}_1 = \overline{HF} \cdot (r_1/x_{qt}) = 180 \cdot (1,7/8,78) = 35 \text{ mm}$$

kesmani belgilaymiz.

11. N nuqtadan F_1 nuqta orqali toklar aylanasi T nuqtada kesib o'tuvchi to'g'ri chiziq o'tkazamiz, bu to'g'ri chiziq $s = \pm\infty$ sirpanishga mos keladi. Olingan \overline{HT} liniya elektromagnit quvvat (moment) liniyasi hisoblanadi.

12. O_1 nuqtadan \overline{HT} liniyaga perpendikulyar tushiramiz va uni toklar aylanasi bilan kesishguncha davom ettiramiz. Shu zayilda olingan E nuqta maksimal momentga mos keladi, negaki \overline{EN} kesma momentlar masshtabida motorning maksimal momentini aks ettiradi, $\frac{\overline{EN}}{D_1C} = \frac{M_{max}}{M_{nom}}$ kesmalar nisbati esa motorni o'ta yuklanish qobiliyatini bildiradi.

13. D_1 nuqta toklar aylanasi motorning nominal yuklama rejimiga mos keladi. To'g'ri burchakli uchburchak OD_1a toklar uchburchagini ifodalaydi: $\overline{OD_1}$ tomoni – stator nominal toki (4-punktga qarang), $\overline{D_1a}$ tomoni – stator tokining aktiv tashkil etuvchisi, \overline{Oa} tomoni – stator tokining reaktiv (induktiv) tashkil etuvchisi.

14. Motorning quvvat koeffitsiyenti $\cos\varphi_1$ ni aniqlash uchun qo'shimcha qurishlarni amalga oshiramiz: ordinatalar o'qida radiusi 50 mm li yarim aylana o'tkazamiz, $\overline{OD_1}$ liniyani esa shu yarim aylana h nuqtada kesishguncha davom ettiramiz. $\overline{Oh} = 88 \text{ mm}$ kesmani yarim aylana diametriga nisbati nominal yuklama rejimidagi quvvat koeffitsiyenti qiymatini aniqlaydi:

$$\cos\varphi_1 = \frac{\overline{Oh}}{100} = \frac{88}{100} = 0,88.$$

15. Sirpanish va motor rotorining aylanish chastotasini aniqlash uchun ham qo'shimcha qurishlar zarur bo'ladi: H nuqtadan ordinatalar o'qiga parallel ravishda \overline{HQ} liniyasini o'tkazamiz, so'ngra Q nuqtadan \overline{HT} elektr magnit quvvat liniyasiga parallel ravishda foydali quvvat liniyasi \overline{HK} ning davom bilan L nuqtada kesishguncha liniya o'tkazamiz. Shu zayilda olingan \overline{QL} liniya sirpanish shkalasini ifodalaydi: salt ish nuqtasi H da sirpanish $s = 0$, qisqa tutashuv nuqtasi K da sirpanish $s = 1$. $\overline{HD_1}$ kesmani sirpanish shkalasi bilan kesishguncha davom ettirib, sirpanish shkalasida s_1 nuqtani hosil qilamiz, bu nuqta motorning nominal yuklama rejimidagi sirpanishni aniqlaydi. $s_1 = 0,045$. Bunda aylanish chastotasi

$$n_{nom} = 1500 \cdot (1 - 0,045) = 1430 \frac{ayl}{min}.$$

16. Motorning nominal quvvati (tekirish)

$$P_{nom} = \overline{D_1b} \cdot m_p = 46 \cdot 66 \cdot 10^{-3} = 3 \text{ kW}.$$

17. Nominal rejimda iste'mol qilinadigan quvaat

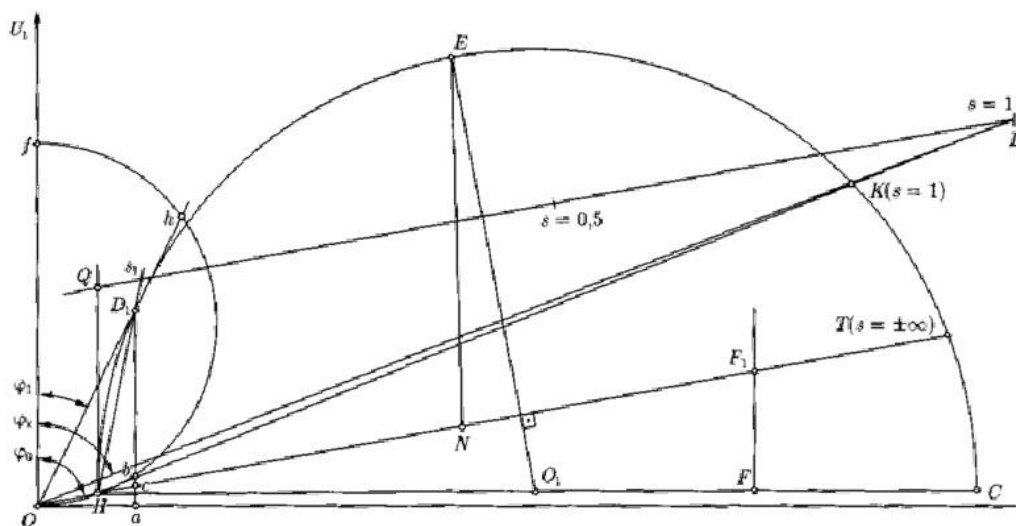
$$P_{1nom} = \overline{D_1 a} \cdot m_p = 55 \cdot 66 \cdot 10^{-3} = 3,6 \text{ kW}.$$

18. Nominal rejimda motorning FIK

$$\eta_{nom} = \frac{\overline{D_1 b}}{\overline{D_1 a}} = \frac{46}{55} = 0,84.$$

19. Nominal rejimdagi elektromagnit moment

$$M_{nom} = \overline{D_1 C} \cdot m_M = 51 \cdot 0,42 = 21,4 \text{ N} \cdot \text{m}.$$



2.6-rasm. Asinxron motorning aylanma diagrammasi

2.17 – masala. 2.16-masalada keltirilgan uch fazali asinxron motor parametrlarining qiymatlaridan foydalanib, (3.19-jadvalga qarang) asinxron motorning parametrlari hisoblansin va ishchi xarakteristikallari qurilsin: $I_1, M_2, n_2, \cos \varphi_1, \eta = f(P_2)$. Bunda 3.16-masalani yechishda qurilgan soddalashtirilgan aylanma diagrammadan yoki ishchi xarakteristikallarni hisoblashni analitik usulidan foydalanish mumkin.

Yechish 1-variantni analitik usul bilan hisoblaymiz.

1. Salt ishlash tokining aktiv va reaktiv tashkil etuvchilari:

$$I_{oa} = I_{of} \cdot \cos \varphi_1 = 1,83 \cdot 0,24 = 0,44 \text{ A};$$

$$I_{or} = I_{of} \cdot \sin \varphi_1 = 1,83 \cdot 0,93 = 1,70 \text{ A}.$$

2. Qisqa tutashuv qarshiligi

$$Z_{qt} = \frac{U_{qtf}}{I_{1f}} = \frac{59,5}{6,3} = 9,45 \Omega.$$

3. Qisqa tutashuv qarshiligining aktiv va reaktiv tashkil etuvchilari

$$r_{qt} = Z_{qt} \cdot \cos \varphi_{qt} = 9,45 \cdot 0,37 = 3,5 \Omega;$$

$$x_{qt} = Z_{qt} \cdot \sin \varphi_{qt} = 9,45 \cdot 0,93 = 8,78 \Omega.$$

4. Rotor chulg'ami aktiv qarshiligining keltirilgan qiymati

$$r'_2 = r_{qt} - r_1 = 3,5 - 1,7 = 1,8 \Omega.$$

5. Kritik sirpanish

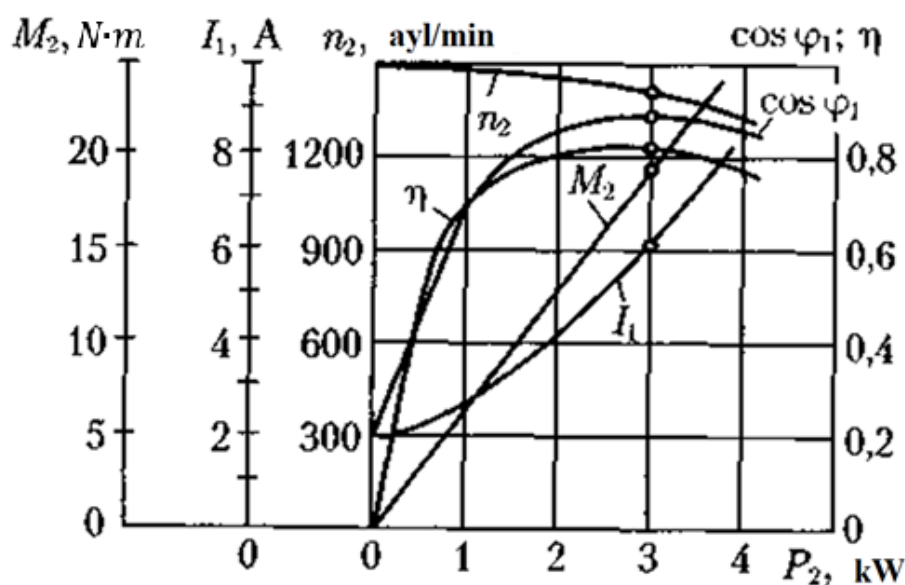
$$s_{kr} \approx \frac{r'_2}{x_{qt}} = \frac{1,8}{8,78} = 0,20.$$

6. Nominal sirpanish (3.16 – masala ma'lumotlari bo'yicha) $s_{nom} = 0,045$.

7. Magnit isroflar

$$P_M = P'_0 - P_{mex} = 283 - 200 = 83 W.$$

Keyingi parametrlarini hisoblash uchun sirpanishni bir necha qiymatlarni keltirib, $s=0,001; 0,02; 0,03; 0,045; 0,06$ va ularning har biri uchun hisoblashlarni bajaramiz. Hisob natijalari va hisoblash formulalari 3.20 – jadvalda keltirilgan. Olingan natijalar bo'yicha motorning ishchi xarakteristikalarini quramiz (3.7-rasm).



2.7-rasm. Uch fazali asinxron motorning ishchi xarakteristikasi

| Hisoblash formulalari | Parametrlarning s* sirpanishga bog'liqlik qiymatlari | | | | |
|---|--|-------|-------|-------|-------|
| | 0,01 | 0,02 | 0,03 | 0,045 | 0,06 |
| $r'_2/s = 1,8/s, \Omega$ | 180 | 90 | 60 | 39,1 | 30 |
| $r_{qt} = r_1 + r'_2/s, \Omega$ | 181,7 | 91,7 | 61,7 | 40,8 | 31,7 |
| $Z_{qt} = \sqrt{r_{qt}^2 + x_{qt}^2}, \Omega$ | 182 | 92 | 62,5 | 42 | 33,2 |
| $\cos \varphi_2 = r_{qt}/Z_{qt}$ | 0,998 | 0,996 | 0,987 | 0,971 | 0,955 |
| $I'_2 = U_1/Z_{qt}, A$ | 1,21 | 2,38 | 3,52 | 5,24 | 6,63 |
| $I'_{2a} = I'_2 \cos \varphi_2, A$ | 1,21 | 2,37 | 3,47 | 5,09 | 6,33 |
| $I'_{2r} = I'_2 \sin \varphi_2, A$ | 0,08 | 0,19 | 0,57 | 1,25 | 1,95 |
| $I_{1a} = I_{oa} + I'_{2a}, A$ | 1,65 | 2,82 | 3,91 | 5,54 | 6,77 |
| $I_{1r} = I_{or} + I'_{2r}, A$ | 1,85 | 1,96 | 2,34 | 3,02 | 3,72 |
| $I_1 = \sqrt{I_{1a}^2 + I_{1r}^2}, A$ | 2,48 | 3,43 | 4,55 | 6,30 | 7,70 |
| $\cos \varphi_1 = I_{1a}/I_1$ | 0,66 | 0,82 | 0,86 | 0,88 | 0,88 |
| $P_1 = 3 \cdot U_1 I_{1f}, W$ | 1089 | 1861 | 2580 | 3652 | 4468 |
| $n_2 = 1500 \cdot (1 - s), \frac{ayl}{min}$ | 1485 | 1470 | 1455 | 1430 | 141 |
| $P_{e1} = 3 \cdot I_1^2 \cdot r_1, W$ | 31,0 | 60,0 | 105 | 200 | 302 |
| $P_{em} = P_1 + P_{e1} + P_m, W$ | 975 | 1718 | 2392 | 3369 | 4083 |
| $\beta^2 = (I_1/I_{1nom})^2$ | 0,15 | 0,29 | 0,52 | 1,0 | 1,44 |
| $P_{qo'sh} = (0,005 \cdot P_{1nom}) \cdot \beta^2, W$ | 2,7 | 5,2 | 9,4 | 18 | 26 |
| $P_{em} = P_1 + P_{e1} + P_m, W$ | 975 | 1718 | 2392 | 3369 | 4083 |
| $P_{e2} = s \cdot P_{em}, W$ | 10 | 34 | 72 | 151 | 245 |
| $P_2 = P_{em} - P_{e2} - P_{mex} - P_{qo'sh}, W$ | 762 | 1479 | 2110 | 3000 | 3612 |
| $M_2 = 9,55 \cdot P_2/n_2, N \cdot m$ | 4,9 | 9,6 | 13,8 | 20,0 | 24,5 |
| $\eta = P_2/P_1$ | 0,70 | 0,79 | 0,82 | 0,82 | 0,81 |

2.2.4. Ishga tushirish va aylanish chastotasini rostdlash

2.18 – masala. Uch fazali faza rotorli asinxron motor uchun 2.20- jadvalda ma'lumotlar keltirilgan: nominal quvat P_{nom} , nominal sirpanish s_{nom} , yuklanish qobiliyati λ_m , qutblar soni $2p$. Uch pog'onali ishga tushurish reostati qarshiligini hisoblash talab etiladi.

2.20-jadval

| Parametr | Variantlar | | | | | |
|-----------------------------|------------|-------|-------|-------|-------|-------|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
| P_{nom}, W | 15 | 75 | 22 | 5,5 | 14 | 7,5 |
| $2p$ | 8 | 4 | 8 | 8 | 4 | 6 |
| $s_{nom}, \%$ | 5 | 3,3 | 4 | 5,3 | 5 | 5 |
| r_2, Ω | 0,37 | 0,014 | 0,053 | 0,150 | 0,095 | 0,130 |
| $\lambda = M_{max}/M_{nom}$ | 3,0 | 2,0 | 2,0 | 1,7 | 1,7 | 1,7 |

Yechish variant 1.

- Nominal aylanish chastotasi

$$n_{nom} = n_1 \cdot (1 - s) = 750 \cdot (1 - 0,05) = 712 \frac{ayl}{min}$$

- Motorning nominal momenti

$$M_{nom} = 9,55 \cdot \frac{P_{nom}}{n_{nom}} = 9,55 \cdot \frac{15000}{712} = 201 N \cdot m.$$

- Qayta ulash momenti qiymatini nominalga teng deb qabul qilamiz

$$M_2 = 1,0 \cdot M_{nom} = 1,0 \cdot 201 = 201 N \cdot m.$$

- Boshlang'ich ishga tushirish momentini qayta ulash momentiga nisbatini

$$\lambda = M_1/M_2 = 2,1$$

qabul qilamiz.

5. Boshlang'ich ishga tushirish momenti

$$M_1 = M_2 \cdot \lambda = 201 \cdot 2,1 = 422 \text{ N} \cdot \text{m},$$

yani

$$M_1/M_{max} = 422/(3 \cdot 201) = 0,7.$$

bu ishga tushirish reostati qarshiligini analitik usulda hisoblashga imkon yaratadi.

6. Ishga tushirishi reostati IR uchinchi pog'ona rezistorining qarshiligi

$$r_{qo'ish3} = r_2 \cdot (\lambda - 1) = 0,37 \cdot (2,1 - 1) = 0,41 \Omega.$$

7. Ikkinchi pog'ona rezistorining qarshiligi

$$r_{qo'ish2} = r_{qo'ish3} \cdot \lambda = 0,41 \cdot 2,1 = 0,86 \Omega.$$

8. Birinchi pog'ona rezistorining qarshiligi

$$r_{qo'ish1} = r_{qo'ish2} \cdot \lambda = 0,86 \cdot 2,1 = 1,80 \Omega.$$

9. Birinchi pog'onada IR qarshiligi

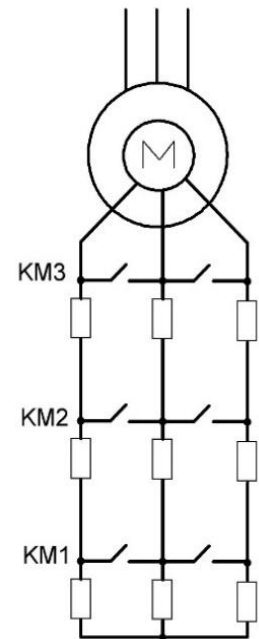
$$R_{pr1} = r_{qo'ish1} + r_{qo'ish2} + r_{qo'ish3} = 1,8 + 0,86 + 0,41 = 3,07 \Omega.$$

10. Ikkinchi pog'ona IR qarshiligi

$$R_{pr2} = r_{qo'ish2} + r_{qo'ish3} = 0,86 + 0,41 = 1,27 \Omega.$$

11. Uchunchi pog'ona IR qarshiligi

$$R_{pr3} = r_{qo'ish3} = 0,41 \Omega.$$



2.8-rasm. Uch pog'anali ishga tushirish reostati

2.19 – masala. Faza rotorli uch fazali asinxron motor validagi yuklama $M_2 = 0,75 \cdot M_{nom}$ bilan ishlamoqda. Rotorning har bir faza chulg'amida ko'rsatilgan yuklamada aylanish chastotasi $n_2 = 0,5 \cdot n_1$ bo'lishi uchun ulanadigan rezistor qarshiligi $r_{qo'ish}$ ning qiymati aniqlansin. Motorning kerakli ma'lumotlari 2.21 – jadvalda keltirilgan: nominal quvvat P_{nom} , stator faza kuchlanishi U_{1f} , qutblar soni $2p$, nominal yuklamadagi sirpanish s_{nom} , ishchi temperaturadagi rotor chulg'ami qarshiligi r_2 .

| Parametr | Variantlar | | | | | |
|---------------|------------|-------|-------|-------|-------|-------|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
| P_{nom}, W | 10 | 75 | 22 | 5,5 | 14 | 7,5 |
| U_{1f}, V | 220 | 220 | 220 | 220 | 220 | 220 |
| $2p$ | 4 | 4 | 8 | 8 | 4 | 6 |
| $s_{nom}, \%$ | 5 | 3,3 | 4 | 5,3 | 5 | 5 |
| r_2, Ω | 0,115 | 0,014 | 0,053 | 0,150 | 0,095 | 0,130 |

Yechish variant 1.

1. Nominal rejimdagi aylanish chastotasi

$$n_{nom} = n_1 \cdot (1 - s_{nom}) = 1500 \cdot (1 - 0,05) = 1425 \frac{ayl}{min}$$

2. Nominal yuklamadagi motor validagi moment

$$M_{nom} = 9,55 \cdot \frac{P_{nom}}{n_{nom}} = 9,55 \cdot \frac{10000}{1425} = 67 N \cdot m.$$

3. Motor sun'iy mexanik xarakteristikasidagi ishchi uchastkani to'g'ri chiziqli deb hisoblab, yuklama momentlarining o'zaro aloqasi va ularga mos sirpanishlarni olamiz.

$M_1/M_{nom} = S_{0,75}/S_{nom}$ bundan motor validagi yuklama $M_2 = 0,75 \cdot M_{nom}$ ga mos bo'lgan sirpanishni aniqlaymiz:

$$S_{0,75} = (0,75 \cdot M_{nom} \cdot s_{nom}) / M_{nom} = 0,75 \cdot s_{nom} = 0,75 \cdot 0,05 = 0,0375.$$

4. $n_2 = 0,5 \cdot n_{nom}$ aylanish chastotasidagi sirpanish

$$s = (n_1 - 0,5 \cdot n_{nom}) / n_1 = (1500 - 0,5 \cdot 1425) / 1500 = 0,525.$$

5. Rotor zanjiridagi aktiv qarshilik va sirpanish o'rtasidagi proporsionallik prinsipidan foydalanib, motor validagi yuklama $M_2 = 0,75 \cdot M_{nom}$ bo'lganda

aylanish chastotasi $0,5 \cdot n$ ni olish uchun rotor faza chulg'amiga ulanadigan qo'shimcha rezistor qarshiligi $r_{qo'sh}$ ni aniqlaymiz:

$(r_{qo'sh} + r_2)/r_2 = s/s_{0,75}$ bundan qo'shimcha rezistor qarshiligi $r_{qo'sh} = (s - s_{0,75}) \cdot r_2 / s_{0,75} = (0,525 - 0,0375) \cdot 0,115 / 0,0375 = 1,49 \Omega$ bunda $s=0,525$ – past aylanish chastotasi $n_2=0,5 \cdot n_{nom}$ – dagi sirpanish; $S_{0,75}=0,0375$ motor validagi yuklama $M_2=0,75 \cdot M_{nom}$ – dagi sirpanish; $r_2=0,115 \Omega$ – ishchi temperaturadagi rotor faza chulg'amining qarshiligi.

2.20 – masala. Statorning boshlang'ich ishga tushirish toki qiymatini ikki martaga kamaytirish uchun rotori qisqa tutashgan uch fazali asinxron motor stator chulg'ami zanjiriga ulanishi zarur bo'lgan rezistor qarshiligi $r_{qo'sh}$ va bunda motor ishchi ishga tushirish momenti qanchaga kamayishi aniqlansin. Buning uchun motor parametrlarining qiymatlari 2.22- jadvalda keltirilgan: motorning nominal quvvati P_{nom} ; ta'minot tarmog'i faza kuchlanishi U_{1f} ; F.I.K. η_{nom} ; ishga tushirish tokining karraligi $\frac{I_{1ish.t}}{I_{1nom}}$; ishga tushirish momentining karraligi $\frac{M_{ish.t}}{M_{nom}}$; nominal yuklama va qisqa tutashuv rejimidagi quvvat koeffitsiyentlari $\cos \varphi_{nom}$, $\cos \varphi_{qt}$; tok chastotasi 50 Hz.

2.22-jadval

| Parametr | Motor turlari | | | | | | | |
|-----------------------|---------------|--------------|--------------|--------------|--------------|-------------|--------------|-------------|
| | AИP 90L4 | AИP 100S4 | AИP 100L4 | AИP 112M2 | AИP 132S4 | AИP 80A4 | AИP 132S8 | AИP 80B4 |
| P_{nom}, kW | 2,2 | 3,0 | 4,0 | 7,5 | 5,5 | 1,1 | 4,0 | 1,5 |
| U_{1f}, V | 220 | 220 | 220 | 220 | 220 | 220 | 220 | 220 |
| $\eta_{nom}, \%$ | 81 | 82 | 85 | 87,5 | 87,5 | 75 | 83 | 83 |
| $\cos \varphi_{nom}$ | 0,83 | 0,83 | 0,84 | 0,88 | 0,88 | 0,81 | 0,70 | 0,83 |
| $I_{1ish.t}/I_{1nom}$ | 6,5 | 7,0 | 7,5 | 5,0 | 7,0 | 5,5 | 6,0 | 5,5 |
| $M_{ish.t}/M_{nom}$ | 2,1 | 2,0 | 2,0 | 2,2 | 2,0 | 2,2 | 1,8 | 2,2 |
| $\cos \varphi_{qt}$ | 0,86 | 0,84 | 0,85 | 0,74 | 0,75 | 0,88 | 0,85 | 0,86 |

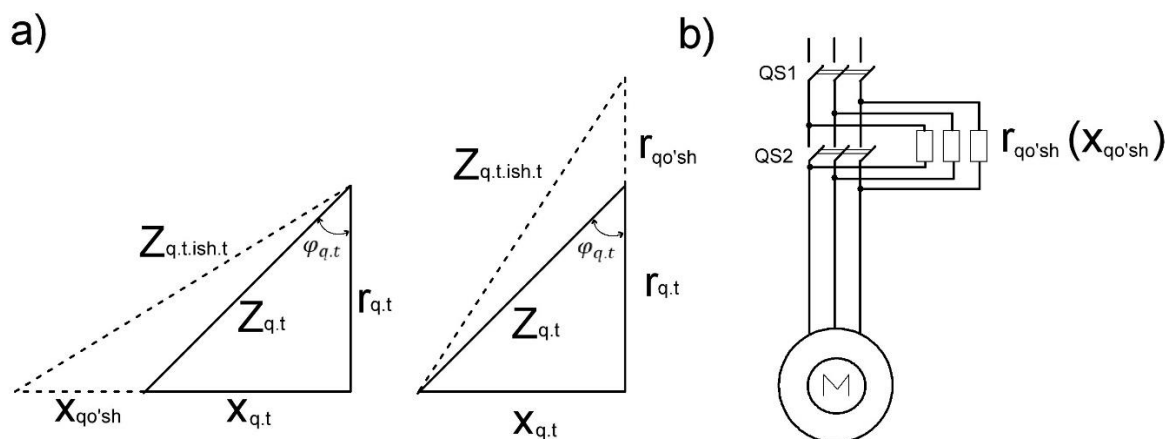
Yechish AIP90L4 dvigatel varianti.

Asinxron motor ishga tushirish tokining qiymati uning qisqa tutashuv qarshiligi bilan aniqlanadi

$$I_{1ish.t} = U_1 / z_{qt}$$

Shuning uchun ishga tushirish tokini kamaytirish uchun $Z_{qt.n}$ uning aktiv r_{qt} yoki induktiv x_{qt} tashkil etuvchilari hisobiga oshirish kerak.

Buning uchun zarur bo'lgan qisqa tutashuv qarshiligi tashkil etuvchilarining qiymatlari r_{qt} yoki x_{qt} ta'minot tarmog'ining liniya simlariga qo'shimcha qarshilikni ketma-ket ulash bilan (3.9 b-rasm) amalga oshiriladi. Ishga tushirish yakunida QS2 rubilnik bilan qarshiliklar shug'ullanadi va ular dvigatel ishiga hech qanday ta'sir o'tkazmaydi. Shu maqsadda qo'shimcha induktiv qarshilik sifatida uzakli drosselni qo'llash ko'proq samaralidir, chunki bu elementlarning aktiv qarshiligi sezilarli emas va ulardagi isroflar katta emas.



2.9-rasm. Qisqa tutashtirilgan rotorli asinxron motor ishga tushirish tokini kamaytirish

Biroq quvvati kichikroq motorlarda ishga tushirish tokini chegaralash uchun ko'proq rezistorlar qo'llaniladi, ular arzon va drosselga nisbatan kichikroq o'lchamga ega. Ishga tushirish tokini K marta kamaytirish uchun zarur bo'lgan qo'shimcha qarshilik qiymati quyidagi ifodalardan aniqlanadi:

$$r_{qo'sh} = \sqrt{(KZ_{qt})^2 - x_{qt}^2} - r_{qt};$$

$$x_{qo'sh} = \sqrt{(KZ_{qt})^2 - r_{qt}^2} - x_{qt}.$$

1. Statorning nominal toki (faza qiymati)

$$I_{1f} = \frac{R_{nom}}{3 \cdot U_{1f} \cdot \eta_{nom} \cdot \cos \varphi_{nom}} = \frac{2200}{3 \cdot 220 \cdot 0,81 \cdot 0,83} = 5 \text{ A.}$$

2. Boshlang'ich ishga tushirish toki (qisqa tutashuv toki)

$$I_{1fish.t} = I_{1f} \left(\frac{I_{1ish.t}}{I_{1nom}} \right) = 5 \cdot 6,5 = 32,5 \text{ A.}$$

3. Motor qisqa tutashuvning qashiligi

$$Z_{qt} = \frac{U_{1f}}{I_{1fish.t}} = \frac{220}{32,5} = 6,77 \text{ } \Omega.$$

4. Qisqa tutashuv qarshiligining aktiv va induktiv tashkil etuvchilari

$$r_{qt} = Z_{qt} \cos \varphi_{qt} = 6,77 \cdot 0,86 = 5,82 \text{ } \Omega;$$

$$x_{qt} = Z_{qt} \sin \varphi_{qt} = 6,77 \cdot 0,51 = 3,45 \text{ } \Omega.$$

5. Boshlang'ich ishga tushurish tokini 2 marta ($K = 2$) ga kamaytirish uchun, qo'shimcha qarshilik $r_{qo'sh}$

$$r_{qo'sh} = \sqrt{(KZ_{qt})^2 - x_{qt}^2} - r_{qt} = \sqrt{(2 \cdot 6,77)^2 - 3,45^2} - 5,82 = 7,27 \text{ } \Omega.$$

6. Shu qarshilikda hisoblanadigan quvvat

$$R_{qo'sh} = \left(\frac{I_{1fish.t}}{2} \right)^2 \cdot r_{qo'sh} = \left(\frac{32,5}{2} \right)^2 \cdot 7,27 = 1920 \text{ W.}$$

Rezistor orqali o'tayotgan tok qisqa muddatli ekanligini hisobga olsak (odatda bir necha sekund), bu quvvatni ikki martaga kamaytirish mumkin.

7. Ishga tushirish paytida motor stator chulg'amining klemma (*qisqichlaridagi*) laridagi kuchlanish.

$$U'_{1f} \approx 220 - \left(\frac{I_{1fish.t}}{2} \right)^2 \cdot r_{qo'sh} = 220 - \left(\frac{32,5}{2} \right)^2 \cdot 7,27 = 102 \text{ V.}$$

Shunday qilib, stator chulg'ami klemmlariga keltiriladigan kuchlanish nominalga nisbatan $102/220 = 0,46$ ni tashkil etadi. Bunda motorni ishga tushirish momenti $M_{ish.t}$ ga nisbatan $0,46^2 = 0,21$ ni tashkil etadi, ya'ni

$$0,21 \cdot M_{ish.t} = 0,21 \cdot 2,1 \cdot M_{nom} = 0,44 \cdot M_{nom}.$$

Demak, bu motor ishga tushirish paytida nominalga nisbatan valda 44% yuklamaga ega bo'lish kerak.

2.21 – masala. 4A seriyasidagi faza rotorli uch fazali asinxron motor 2.23-jadvalda keltirilgan quyidagi katalog ma'lumotlariga ega: nominal quvvat P_{nom} , nominal sirpanish s_{nom} , FIK η_{nom} ; quvvat koeffitsiyenti $\cos \varphi_{nom}$; rotor toki I_{2nom} ; rotor EYuK E_2 ; yuklanish qobiliyati $\lambda_M = \frac{M_{max}}{M_{nom}}$. Aniqlansin: nominal M_{nom} va maksimal M_{max} momentlar, tabiiy mexanik xarakteristika rejimidagi kritik sirpanish s_{kr} ; ishga tushirish momenti karraligi $\frac{M_{ish.t}}{M_{nom}} = 1,5$ ni olish uchun zarur bo'lgan ishga tushirish reostatining qarshiligi $R_{ish.t.r}$ va nominal yuklama momentida $n_2 = 0,5 \cdot n_1$ aylanish chastotasini olish uchun zarur bo'lgan qarshilik $r_{qo'ish}$.

2.23-jadval

| Motor turlari | P_{nom} , kW | $2p$ | s_{nom} , % | η_{nom} , % | $\cos \varphi_{nom}$ | I_{2nom} , A | E_2 , V | $\frac{M_{max}}{M_{nom}}$ |
|---------------|-------------------|------|------------------|---------------------|----------------------|-------------------|--------------|---------------------------|
| 4AHK225M8 | 30 | 8 | 5 | 86,5 | 0,80 | 165 | 120 | 1,8 |
| 4AHK250SM8 | 37 | 8 | 5,5 | 87,5 | 0,80 | 190 | 115 | 2,2 |
| 4AHK250B8 | 45 | 8 | 4 | 89 | 0,82 | 190 | 140 | 2,2 |
| 4AHK250M8 | 55 | 8 | 3,5 | 89,5 | 0,83 | 185 | 190 | 2,2 |
| 4AHK280S8 | 75 | 8 | 4 | 90,5 | 0,84 | 257 | 190 | 1,9 |
| 4AHK280M8 | 90 | 8 | 4 | 90,5 | 0,84 | 267 | 214 | 1,9 |
| 4AHK315S8 | 110 | 8 | 3,5 | 91,5 | 0,84 | 311 | 225 | 1,9 |

| | | | | | | | | |
|-----------|-----|---|-----|------|------|-----|-----|-----|
| 4AHK315M8 | 132 | 8 | 3,5 | 92 | 0,84 | 364 | 247 | 1,9 |
| 4AHK355S8 | 160 | 8 | 2,7 | 92,5 | 0,86 | 353 | 285 | 1,7 |
| 4AHK355M8 | 200 | 8 | 2,7 | 92,5 | 0,86 | 359 | 350 | 1,7 |

Yechish 4AHK225M8 motor varianti.

1. Nominal rejimdagi aylanish chastotasi

$$n_{nom} = n_1 \cdot (1 - s_{nom}) = 750 \cdot (1 - 0,05) = 712,5 \frac{ayl}{min}$$

2. Nominal moment

$$M_{nom} = 9,55 \cdot \frac{P_{nom}}{n_{nom}} = 9,55 \cdot \frac{30000}{712,5} = 402 N \cdot m.$$

3. Maksimal moment

$$M_{max} = M_{nom} \cdot \lambda_M = 402 \cdot 1,8 = 723,6 N \cdot m.$$

4. Tabiiy mexanik xarakteristika rejimidagi kritik sirpanish

$$s_{kr} = s_{nom} \cdot \left(\lambda_M + \sqrt{\lambda_M^2 - 1} \right) = 0,05 \cdot \left(1,8 + \sqrt{1,8^2 - 1} \right) = 0,16.$$

5. Ishchi temperaturadagi rotor faza chulg'aming aktiv qarshiligi

$$r_2 = \left[\frac{E_2}{\sqrt{3} \cdot I_{2nom}} \right] \cdot s_{nom} = \left[\frac{120}{1,73 \cdot 165} \right] \cdot 0,05 = 0,021 \Omega.$$

6. Yuklama momenti $1,5 \cdot M_{nom}$ ga teng bo'lganda tabiiy mexanik xarakteristika rejimidagi ($R_{ish.t.r} = 0$) sirpanish s' . Tabiiy mexanik xarakteristikaning ishchi uchastkasini bir oz yaqinlashish bilan to'g'ri chiziqli (ya'ni $s < s_{kr}$, bo'lganda) deb qabul qilamiz va tenglikni yozamiz

$$\frac{M_{nom}}{s_{nom}} = 1,5 \cdot \frac{M_{nom}}{s'}$$

bundan

$$s' = 1,5 \cdot s_{nom} = 1,5 \cdot 0,05 = 0,0075.$$

7. Bir xil yuklama momentida rotor faza chulg'ami zanjiridagi qarshilikni tabiiy va sun'iy mexanik xarakteristikalar uchun sirpanishga nisbati tengligi prinsipidan foydalanib, tenglikni yozamiz:

$$\frac{r_2 + R_{ish.t.r}}{r_2} = \frac{1}{s'}$$

bunda $R_{ish.t.r} = r_2 + r_{qo'ish}$ – ishga tushirish momenti $M_{ish.t} = 1,5 \cdot M_{nom}$ bo'lgandagi ishga tushirish reostatining qarshiligi, bundan talab qilingan ishga tushirish reostatining qarshiligi

$$R_{ish.t.r} = \left(\frac{r_2}{s'}\right) - r_2 = \left(\frac{0,021}{0,075}\right) - 0,021 = 0,26 \Omega.$$

8. $n_2 = 0,5 \cdot n_1 = 375 \frac{ayl}{min}$ aylanish chastotasini olish uchun rotor faza chulg'amiga ketma - ket ulanadigan rezstor qarshiligi $r_{qo'ish}$ ni, sun'iy va tabiiy mexanik xarakteristikalar rejimidagi rotor zanjiri qarshiliklari nisbatini mos sirpanishlar nisbatiga tengligi prinsipidan foydalanib aniqlaymiz:

$$\frac{r_2 + r_{qo'ish}}{r_2} = \frac{s_{0,5}}{s_{nom}},$$

bunda $s_{0,5} = 0,5$ – rotor aylanish chastotasi $0,5 \cdot n_1$ bo'lgandagi sirpanish. Olingan tenglikdan rezistorning talab etilgan qarshiligi

$$r_{qo'ish} = r_2 \cdot \left(\frac{s_{0,5}}{s_{nom}}\right) - r_2 = 0,021 \cdot \left(\frac{0,5}{0,05}\right) - 0,021 = 0,19 \Omega.$$

2.22 – masala. Stator chulg'amlari “uchburchak” ulangan 4A seriyasidagi uch fazali asinxron motor liniya kuchlanishi $U_{1l} = 380 V$ bo'lgan tarmoqqa ulangan, uning nominal ma'lumotlari: quvvat P_{nom} , aylanish chastotasi n_{nom} , FIK η_{nom} , quvvat koeffitsiyenti $\cos \varphi_{1nom}$, ishga tushirish toki karraligi λ_i , ishga tushirish momenti karraligi $\lambda_{ish.t}$, maksimal moment karraligi λ_M (2.24-jadval).

Aniqlanish talab etiladi:

1. Motorni nominal ishga tushirish va maksimal momentlari;
2. Nominal yuklamadagi iste'mol quvvati va stator toki;
3. Stator ishga tushirish toki va momenti, shuningdek stator chulg'ami “yulduzcha” ulangandagi, tarmoq kuchlanishining oldingi qiymatida motorni yuklanish qobiliyati;

4. Stator faza kuchlanishiing qanday qiymatida motor yuklanish qobilyatini yo'qotadi, ya'ni $\lambda' = 1$.

2.24-jadval

| Motor turlari | P_{nom} , kW | n_{nom} , $\frac{ayl}{min}$ | η_{nom} , % | $\cos \varphi_{1nom}$ | λ_i | $\lambda_{ish.t}$ | λ_{max} |
|---------------|-------------------|----------------------------------|---------------------|-----------------------|-------------|-------------------|-----------------|
| 4AH160S4 | 18,5 | 1450 | 88,5 | 0,87 | 6,5 | 1,3 | 2,1 |
| 4AH200M4 | 45 | 1475 | 91 | 0,89 | 6,5 | 1,3 | 2,5 |
| 4AH280M4 | 160 | 1470 | 93,5 | 0,90 | 6,0 | 1,2 | 2,0 |
| 4AH200M6 | 30 | 975 | 90 | 0,88 | 6,0 | 1,3 | 2,1 |
| 4AH280M6 | 110 | 980 | 92,5 | 0,89 | 6,0 | 1,2 | 2,0 |
| 4AH280M8 | 90 | 735 | 92,5 | 0,86 | 5,5 | 1,2 | 1,9 |

Yechish 4AH160S4 motor varianti.

1. Nominal moment

$$M_{nom} = 9,55 \cdot \frac{P_{nom}}{n_{nom}} = 9,55 \cdot \frac{18500}{1450} = 121,8 \text{ N} \cdot \text{m}.$$

2. Ishga tushirish momenti

$$M_{ish.t} = M_{nom} \cdot \lambda_{ish.t} = 121,8 \cdot 1,3 = 158 \text{ N} \cdot \text{m}.$$

3. Maksimal moment

$$M_{max} = M_{nom} \cdot \lambda_M = 121,8 \cdot 2,1 = 256 \text{ N} \cdot \text{m}.$$

4. Nominal rejimda motor iste'mol qiladigan quvvat

$$P_{1nom} = \frac{P_{nom}}{\eta_{nom}} = \frac{18,5}{0,885} = 20,9 \text{ kW}.$$

5. Stator chulg'ami zanjiridagi nominal toklar:

faza toki

$$I_{1f} = \frac{P_{1nom}}{(m_1 \cdot U_{1f} \cdot \cos \varphi_{1nom})} = \frac{20900}{3 \cdot 380 \cdot 0,87} = 21,1 \text{ A}.$$

liniya toki

$$I_{1l} = \sqrt{3} \cdot I_{1f} = 1,73 \cdot 21,1 = 36,5 \text{ A.}$$

6. Ta'minlash tarmog'idagi ishga tushurish (liniya) toki

$$I_{ish.t.l} = I_{1l} \cdot \lambda_i = 36,5 \cdot 6,5 = 237 \text{ A.}$$

7. Stator chulg'ami "yulduzcha" ulangandagi nominal va ishga tushurish toki.

Bu holatda statorning faza kuchlanishi qiymati

$$U_{1fY} = \frac{U_{1f\Delta}}{\sqrt{3}} = \frac{380}{1,73} = 220 \text{ V}$$

gacha kamayadi.

Statorning faza toki ham 1,73 marta kamayadi, ya'ni

$$I_{1fY} = \frac{I_{1f\Delta}}{\sqrt{3}} = \frac{21,1}{1,73} = 12,2 \text{ A.}$$

Shuningdek ta'minot tarmog'ining liniya simlaridagi ishga tushurish toki ham 3 marta kamayadi.

$$I_{ish.t.l.Y} = \frac{I_{ish.t.l.\Delta}}{3} = \frac{237}{3} = 79 \text{ A.}$$

8. Stator chulg'amlari "yulduzcha" ulanganda motorning nominal va ishga tushurish momentlari.

Asinxron motorning momenti stator kuchlanishining kvadratiga proporsional bo'lgani uchun, faza kuchlanishi $\sqrt{3}$ ga kamaytirilganda motor momentlari 3 marta kamayadi:

$$M_Y = \frac{M_{\Delta}}{3} = \frac{121,8}{3} = 40,6 \text{ N} \cdot \text{m};$$

$$M_{ish.t.Y} = \frac{M_{ish.t.\Delta}}{3} = \frac{158}{3} = 52,7 \text{ N} \cdot \text{m};$$

$$M_{maxY} = \frac{M_{max\Delta}}{3} = \frac{256}{3} = 85,3 \text{ N} \cdot \text{m}.$$

Bunda motorni yuklanish qobiliyati 3 marta kamayadi va

$$\lambda_{MY} = \frac{\lambda_{M\Delta}}{3} = \frac{2,1}{3} = 0,7$$

ni tashkil etadi.

9. Motor yuklanish qobiliyatini yo'qotadigan U'_{1f} faza kuchlanishi, ya'ni

$$\lambda'_M = \frac{M_{max}}{M_{nom}} = 1$$

dagi faza kuchlanishi.

Asinxron motorning momenti stator kuchlanishi kvadratiga proporsional bo'lgani uchun, kuchlanish qiymati

$$U'_{1f} = \frac{U_{1f}}{\sqrt{\lambda_M}} = \frac{380}{\sqrt{2,1}} = 262 \text{ V}$$

gacha kamayganda motor yuklanish qobiliyatini yuqotadi.

2.3. Mustaqil yechish uchun masalalar

2.23-masala. Asinxron motor rotorining nominal aylanish chastotasi $n_{2nom}=960 \frac{ayl}{min}$. Agar tarmoq kuchlanishining chastotasi $f=50 \text{ Hz}$ bo'lsa, motorning juft qutblar soni, nominal sirpanish, aylanuvchan rotor chulg'amidagi EYuK chastotasi aniqlansin?

Javob: $p=3$; $s_{nom}=0,04$; $f_2=2 \text{ Hz}$.

2.24-masala. Qisqa tutashgan rotorli uch fazali asinxron motor $s_{nom}=0,04$ nominal sirpanish bilan ishlamoqda. Ta'minot kuchlanishining chastotasi $f=50 \text{ Hz}$, aylanuvchan magnit oqimining maksimal qiymati $F_m=0,01 \text{ Vb}$, stator va rotor chulg'amlarining o'ramlar soni $w_1=100$ va $w_2=1$ hamda ularning chulg'am koeffitsiyentlari $k_1=0,95$ va $k_2=1$ ma'lum. EYuK transformatsiya koeffitsiyenti stator chulg'ami faza EYuK, aylanuvchan va qo'zg'almas rotor EYuK larining ta'sir etuvchi qiymatlari aniqlansin?

Javob: $k_e=95$, $E_1=211 \text{ V}$; $E_2=2,22 \text{ V}$; $E_{2s}=0,089 \text{ V}$.

2.25-masala. Nominal chastota $n_{2nom}=1440 \frac{ayl}{min}$ bilan aylanayotgan uch fazali asinxron motor rotorining fazasida $E_{2s}=0,15 \text{ V}$ EYuK induksiyanamoqda. Tarmoq kuchlanishi chastotasi $f=50 \text{ Hz}$. Ishga tushirish momentida, rotor fazasidagi EYuK aniqlansin?

Javob: $E_2=3,75 \text{ V}$.

2.26-masala. Uch fazali asinxron motor liniya kuchlanishi $U_l=220 V$ bo'lgan tarmoqqa ulangan. Quvvat koeffitsiyenti $\cos\varphi = 0,8$ da stator chulg'amidagi tok $I_1=30 A$. Motordagi umumiy quvvat isrof $\Sigma P_{is}=1000 W$. Motorning FIK aniqlansin?

Javob: $\eta = 0,89$.

2.27-masala. To'rt qutbli uch fazali motor chastotasi $f=50 Hz$ li tarmoqqa ulangan. Motor validagi aylantiruvchi moment $M_2=67 N \cdot m$, sirpanish $s=0,05$, umumiy quvvat isrofi $\Sigma P_{is}=1,5 kW$. Motorni FIK aniqlansin?

Javob: $\eta = 0,87$.

2.28-masala. Qisqa tutashgan rotorli motor quyidagi ma'lumotlarga ega: quvvat $P_{nom}=75 kW$, liniya kuchlanishi $380 V$, tarmoq chastotasi $f=50 Hz$, stator chulg'amidagi tok $I_{1nom}=141 A$, nominal yuklamadagi umumiy quvvat isrofi $\Sigma P_{is}=5,65 kW$, nominal moment $M_{nom}=489,2 N \cdot m$. Shuningdek, ishga tushirish tokining karraligi $I_{ish.t*}=7,5$ va ishga tushirish momentining karraligi $M_{ish.t*}=2,2$ bo'lsa, P_{1nom} quvvat, nominal ish rejimidagi quvvat koeffitsiyenti va FIK, shuningdek ishga tushirish toki va momenti aniqlansin?

Javob: $P_{1nom}=80,6 kW$; $\cos\varphi_{nom}=0,87$; $\eta_{nom}=0,93$; $I_{ish.t}=1,06 kA$; $M_{ish.t}=1076 N \cdot m$.

2.29-masala. Faza rotorli motor uchun quyidagi nominal ma'lumotlar ma'lum: aktiv quvvat $P_{1nom}=8,9 kW$, kuchlanish $380/220 V$, quvvat koeffitsiyenti $\cos\varphi_{nom}=0,82$; rotor chulg'ami faza toki $I_{2nom}=35 A$. Shuningdek stator va rotor chulg'amlarining faza aktiv qarshiliklari $R_1=0,65 \Omega$, $R_2=0,25 \Omega$ qizigan holatdagi, po'latning quvvat isrofi $P_{pm1}=170 W$, mexanik quvvat isrofi $P_{pmex}=90 W$ lar ham ma'lum. Nominal yuklamadagi FIK aniqlansin?

Javob: $\eta_{nom} = 0,84$.

2.30-masala. Yuqori ishga tushirish momentiga ega bo'lgan bir seriyadagi 4A rusumli to'rt qutbli rotori qisqa tutashgan uch fazali motor quyidagi texnik

ma'lumotlarga ega: quvvat $P_{nom}=11 kW$, kuchlanish $380/220 V$, tarmoq chastotasi $f=50 Hz$, FIK $\eta_{nom}=0,87$; quvvat koeffitsiyenti $\cos\varphi_{nom}=0,86$; sirpanish $s_{nom}=0,028$; ishga tushirish tokining boshlang'ich karraligi $I_{ish.t*}=7,5$; ishga tushirish momentining boshlang'ich karraligi $M_{ish.t*}=2,2$ va yuklanish qobiliyati $M_{max*}=3$ bo'lsa, nominal aylanish chastotasi, nominal, ishga tushirish va maksimal momentlar, kritik sirpanish, motorning nominal va ishga tushirish toklari aniqlansin?

Javob: $n_{2nom}=1460 \frac{ayl}{min}$; $M_{nom}=72 N \cdot m$; $M_{ish.t}=158 N \cdot m$;
 $M_{max}=216 N \cdot m$; $s_m=0,163$; $I_{1nom}=22,4 A$; $I_{ish.t}=168 A$.

2.31-masala. Faza rotorli asinxron motor quyidagi nominal ma'lumotlarga ega: quvvat $P_{nom}=40 kW$, aylanish chastotasi, $n_{2nom}=1440 \frac{ayl}{min}$, kuchlanish $380/220 V$, rotor toki $I_{2nom}=225 A$ va FIK $\eta_{nom}=0,9$. Shuningdek ma'lum: stator chulg'ami faza qarshiligi $R_1=0,0725 \Omega$ va rotorniki $R_2=0,00865 \Omega$. $20^\circ C$ temperaturada, yuklanish qobiliyati $M_{max*}=2$, kontakt halqalari orasidagi kuchlanish $U_{20}=110 V$. Ishga tushirish momenti $M_{ish.t}=0,8 M_{max}$ bo'lganda rotor zanjiridagi ishga tushirish reostatining qarshiligi aniqlansin?

Javob: $R_{ish.t}=0,107 \Omega$.

2.32-masala. AK2 seriyadagi faza rotorli uch fazali motorning nominal ma'lumotlari ma'lum: quvvat $P_{nom}=30 kW$, aylanish chastotasi $n_{2nom}=720 \frac{ayl}{min}$, FIK $\eta_{nom}=0,875$; quvvat koeffitsiyenti $\cos\varphi_{nom}=0,79$; rotor chulg'ami fazasidagi tok $I_{2nom}=150 A$, kritik sirpanish $s_m=0,14$; maksimal moment karraligi $M_{max*}=1,72$; stator chulg'ami faza qarshiligi $R_1=0,11 \Omega$ va rotorniki $R_2=0,015 \Omega$. Tarmoq kuchlanishi $380 V$, stator chulg'ami yulduzcha ulangan. Nominal rejimdagi stator toki, chulg'amlardagi quvvat isroflari, aylanish chastotasini $720 \frac{ayl}{min}$ dan $600 \frac{ayl}{min}$ gacha rostlash uchun reostat qarshiligi aniqlansin?

Javob: $I_{1nom}=65,9 A$; $P_{p.e1}=1594 W$; $P_{p.e2}=1010 W$; $R_{qorsh}=0,06 \Omega$.

2.33-masala. 4A rusumdagi uch fazali asinxron motorning pasport ma'lumotlari: nominal kuchlanish 380 V, nominal quvvat $P_{nom}=4,0 kW$, nominal aylanish chastotasi $n_{2nom}=1430 \frac{ayl}{min}$. Jadvalda motor quvvatining har xil nisbiy qiymatlari uchun FIK va quvvat koeffitsiyentining qiymatlari keltirilgan. Yetishmaydigan ishchi xarakteristikalar nisbiy birliklarda hisoblansin va qurilsin.

2.25-jadval

| | | | | | |
|---------------------|-------|-------|------|------|------|
| P_2^* | 0,25 | 0,50 | 0,75 | 1,00 | 1,25 |
| η | 0,795 | 0,845 | 0,85 | 0,84 | 0,84 |
| $\cos\varphi_{nom}$ | 0,46 | 0,68 | 0,79 | 0,84 | 0,86 |

III-BOB. SINXRON MASHINALAR

3.1.Asosiy tushunchalar

Statorda hosil bo'lgan aylanma magnit maydonning aylanish chastotasi rotorning aylanish chastotasi bilan bir xil chastotada aylanadigan mashinaga sinxron mashina deyiladi.

Sinxron mashinalar motor, generator va kompensator rejimlarida ishlatilishi mumkin. Elektr stansiyalarda o'zgaruvchan tok energiyasini sinxron generatorlar ishlab chiqaradi.

Sinxron mashina statori aylanuvchan magnit maydonining va rotorning aylanish chastotasi:

$$n = \frac{60 \cdot f}{p} \quad (3.1)$$

Simmetrik yuklamada uch fazali generatorning quvvati:

$$P_2 = 3 \cdot U \cdot I \cdot \cos \varphi \quad (3.2)$$

Generatorning aylanish momenti:

$$M = P_{e.mag} / \omega = 9,55 \cdot P_1 / n_1 \quad (3.3)$$

Uch fazali generator quvvatlar muvozanat tenglamasi:

$$P_2 = P_{e.mag} - \Delta P_e = P_{e.mag} - 3 \cdot R_1 \cdot I^2 \quad (3.4)$$

Stator chulg'amidagi pazlar soni:

$$Z = 2 \cdot q \cdot p \cdot m \quad (3.5)$$

bu yerda q –pazlar soni, qutbi va fazaga to'g'ri keluvchi pazlar soni, uch fazali chulg'am uchun fazalar soni $m = 3$.

Sinxron mashina statori birlamchi chulg'amining EYuK:

$$E_1 = 4,44 \cdot f_1 \cdot \Phi \cdot w_1 \cdot k_1 \quad (3.6)$$

Sinxron generator uchun EYuK tenglamasi:

$$U_1 = E_0 + E_c + I_1 \cdot R_1 \quad (3.7)$$

bu yerda E_0 – generatorning asosiy EYuK, (V); E_c – yakor reaksiyasi va sochilma oqimning EYuK, (V); I_1 –stator chulg‘amining tok kuchi,(A); R_1 –stator chulg‘amining aktiv qarshiligi, (Ω).

Uch fazali generatorning FIK:

$$\eta = P_2/P_1 = P_2/(P_2 + \sum \Delta P) \quad (3.8)$$

3.2. Masalalarni yechish bo‘yicha namunalalar

3.2.1. Sinxron generatorlar

3.1-masala. Uch fazali sinxron generatorning parametrlari (3.1-jadval) tok chastotasi 50 Hz bo‘lganda, chiqishdagi nominal (liniya) kuchlanishi, stator chulg‘ami “yulduzcha” ulangan, stator nominal toki I_{1nom} , nominal yuklamadagi generator FIK η_{nom} , qutblar soni $2p$, generator kirishidagi quvvat P_{1nom} , generator chiqishdagi foydali quvvat P_{nom} , nominal yuklama rejimidagi umumiy isroflar ΣP_{nom} , chiqishdagi to‘liq nominal quvvat S_{2nom} , generatorga ulangan yuklamaning quvvat koeffitsiyenti $\cos \varphi_{1nom}$, generator nominal yuklangandagi birlamchi motorning

3.1-jadval

| Parameter | Variantlar | | | | | | | | | |
|-----------------------|------------|------|------|------|-----|------|-------|-------|------|------|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
| S_{nom}, kVA | 330 | - | 270 | 470 | - | 600 | 780 | 450 | 700 | 500 |
| U_{nom}, kV | 6,3 | 3,2 | 0,4 | - | 0,7 | 3,2 | 6,3 | 0,4 | - | 3,2 |
| $\eta_{nom}, \%$ | 92 | - | - | 91 | 90 | 93 | - | - | 93 | 92 |
| $2p$ | 6 | 8 | - | 6 | 10 | 12 | 6 | - | 6 | 10 |
| P_{nom}, kW | - | - | 206 | - | - | - | 667,4 | 369,5 | - | - |
| $\Sigma P_{nom}, kW$ | - | 27 | 18 | - | - | - | - | - | - | - |
| $\cos \varphi_{1nom}$ | 0,9 | - | 0,85 | 0,9 | - | 0,92 | - | 0,9 | 0,92 | 0,85 |
| I_{nom}, A | - | 72,2 | - | 43,1 | 190 | - | - | - | 64,2 | - |
| P_{1nom}, kW | - | 340 | - | - | 190 | - | 717,6 | - | - | - |

| | | | | | | | | | | |
|-----------------------|---|---|---|---|---|---|---|------|---|---|
| $M_{1nom}, N \cdot m$ | - | - | - | - | - | - | - | 7735 | - | - |
|-----------------------|---|---|---|---|---|---|---|------|---|---|

aylantiruvchi momenti M_{1nom} . 3.1-jadvalda keltirilmagan parametrlarni aniqlash talab etiladi.

Yechish variant 1.

1. Generator chiqishidagi foydali quvvat

$$P_{nom} = S_{nom} \cdot \cos \varphi_{1nom} = 330 \cdot 0,9 = 297 \text{ kW}.$$

2. Generator kirishidagi quvvat

$$P_{1nom} = \frac{P_{nom}}{\eta_{nom}} = \frac{297}{0,92} = 322,8 \text{ kW}.$$

3. Umumiy isroflar

$$\Sigma P_{nom} = P_{1nom} - P_{nom} = 322,8 - 297 = 25,8 \text{ kW}.$$

4. Nominal rejimdagi stator toki

$$I_{1nom} = \frac{S_{nom}}{\sqrt{3} \cdot U_{1nom}} = \frac{330}{1,73 \cdot 6,3} = 30,2 \text{ A}.$$

5. $2p = 6$ va tok chastotasi $f_1 = 50 \text{ Hz}$ dagi sinxron aylanish chastotasi

$$n_1 = f_1 \cdot \frac{60}{p} = 50 \cdot \frac{60}{3} = 1000 \frac{\text{ayl}}{\text{min}}.$$

6. Nominal yuklamada generator rotorni sinxron aylanish chastotasi bilan aylantirish uchun zarur bo'lgan yuritma motor momenti.

$$M_{1nom} = 9,55 \cdot 10^3 \cdot \frac{P_{1nom}}{n_1} = 9,55 \cdot 10^3 \cdot \frac{322,8}{1000} = 3083 \text{ N} \cdot \text{m}.$$

3.2-masala. Ayon qutbli uch fazali sinxron generatorlarning texnik ma'lumotlari 3.2 - jadvalda keltirilgan: generatorning asosiy EYuK E_0 (faza qiymati), generator yuklamasining nominal (faza) toki I_{1nom} , asosiy EYuK E_0 vektorini bilan yuklama toki vektorini \dot{I}_{1nom} (aktiv - induktiv yuklama) orasidagi faza siljish burchagi ψ_1 , stator chulg'aming sochilma induktiv qarshiligi x_1 , yakor

reaksiyasining bo‘ylama o‘qi bo‘yicha x_{ad} va ko‘ndalang o‘qi bo‘yicha x_{aq} induktiv qarshiliklar.

Generatorning vektor diagrammasini qurish, nominal kuchlanish U_{1nom} ; to‘liq S_{nom} va aktiv P_{nom} quvvatlarini (generatorning chiqishda) va yuklama kamayganda kuchlanishning o‘zgarishi ΔU_{nom} ni aniqlash talab etiladi. Tok chastotasi 50 Hz; stator chulg‘ami “yulduzcha” ulangan, stator chulg‘amining aktiv qarshiligi hisobga olinmasin.

3.2-jadval

| Parametr | Variantlar | | | | | | |
|------------------|------------|------|------|------|------|------|------|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 |
| E_0, V | 280 | 275 | 284 | 298 | 260 | 265 | 290 |
| $I_{1nom} A$ | 54 | 90 | 108 | 120 | 36 | 28 | 140 |
| $\psi_1, grad$ | 50 | 48 | 50 | 45 | 55 | 48 | 54 |
| x_1, Ω | 0,52 | 0,15 | 0,12 | 0,08 | 0,44 | 0,48 | 0,07 |
| x_{ad}, Ω | 1,0 | 1,32 | 1,24 | 1,18 | 1,65 | 1,82 | 1,05 |
| x_{aq}, Ω | 0,74 | 0,55 | 0,48 | 0,32 | 1,15 | 1,22 | 0,90 |

Yechish variant 1.

1. Ayon qutbli sinxron generatorning kuchlanishlar tenglamasi

$$\dot{U}_1 = \dot{E}_0 + \dot{E}_{1d} + \dot{E}_{1q} + \dot{E}_{\sigma 1}.$$

2. Bo‘ylama o‘q bo‘yicha yakor reaksiyasining EYuK

$$\dot{E}_{1d} = -j\dot{I}_{1nom} \cdot x_{ad} \cdot \sin \psi_1 = -j54 \cdot 1,0 \cdot 0,766 = -j41,4 V.$$

3. Ko‘ndalang o‘q bo‘yicha yakor reaksiyasining EYuK

$$\dot{E}_{1q} = -j\dot{I}_{1nom} \cdot x_{aq} \cdot \cos \psi_1 = -j54 \cdot 0,74 \cdot 0,643 = -j25,7 V.$$

4. Sochilma EYuK

$$\dot{E}_{\sigma 1} = -j\dot{I}_{10m} \cdot x_1 = -j54 \cdot 0,52 = -j28 \text{ V}.$$

5. Kuchlanish vektor diagrammasini quyidagi tartibda quramiz (4.1-rasm): diagramma boshidan (0 nuqta) ixtiyoriy yo‘nalishda tok vektori \dot{I}_{1nom} ni o‘tkazamiz. Bu vektordan ψ_1 burchak ostida kuchlanish uchun qabul qilingan masshtab $m_U = 2 \text{ V/mm}$, bo‘yicha asosiy EYK vektori \dot{E}_0 ni o‘tkazamiz. Induktiv xarakterli yuklamada yakor reaksiyasini magnitsizlovchi ta‘sirini hisobga olib \dot{E}_0 EYK vektori oxiridan teskari yo‘nalishda bo‘ylama o‘q bo‘yicha yakor reaksiyasi EYK vektori \dot{E}_{1d} ni o‘tkazamiz, so‘ngra shu vektorning oxiridan 90° burchak ostida asosiy EYK \dot{E}_0 vektoriga ko‘ndalang o‘q bo‘yicha yakor reaksiyasi EYK vektori \dot{E}_{1q} ni o‘tkazamiz, so‘ngra shu vektor oxiridan tok vektoriga 90° burchak ostida qilib sochilma EYK vektori $\dot{E}_{1\sigma}$ ni o‘tkazamiz. Diagramma boshi (0 nuqta) ni $\dot{E}_{1\sigma}$ vektor oxiri bilan birlashtirib generator chiqishidagi nominal kuchlanish vektori \dot{U}_{1nom} ni olamiz. Uning uzunligini o‘lchab ($115,5 \text{ mm}$) va uni kuchlanish masshtabiga ($m_U = 2 \text{ V/mm}$) ko‘paytirib, bu kuchlanishning qiymatiga ega bo‘lamiz

$$U_{1nom} = 115,5 \cdot 2 = 231 \text{ V}.$$

Stator chulg‘ami “yulduzcha” ulanganda stator qisqichlaridagi liniya kuchlanishi

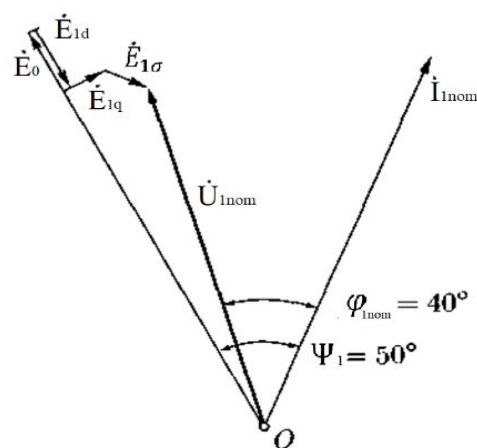
$$U_{1l} = 231 \cdot 1,73 = 400 \text{ V}$$

\dot{U}_{1nom} va \dot{I}_{1nom} vektorlari orasidagi burchakni o‘lchab, faza siljishi $\cos \varphi_{1nom} = 40^\circ$ va quvvat koeffitsiyenti $\cos \varphi_{1nom} = 0,766$ (*ind*) ekanligini aniqlaymiz.

6. Generator chiqishidagi nominal to‘liq quvvat

$$\begin{aligned} S_{nom} &= 3 \cdot U_{1nom} \cdot I_{1nom} = 3 \cdot 231 \cdot 54 \cdot 10^{-3} \\ &= 37,4 \text{ kVA}. \end{aligned}$$

7. Generator chiqishidagi aktiv quvvat



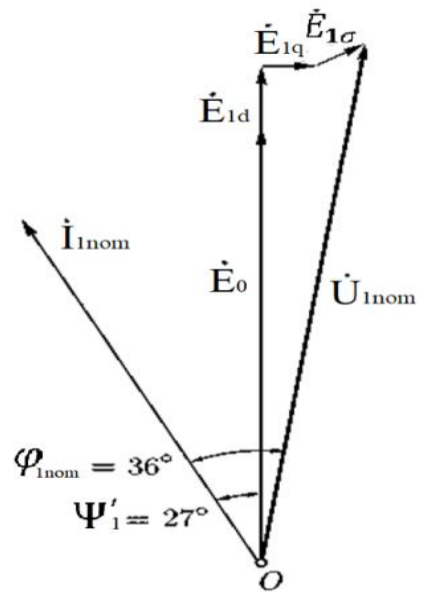
3.1 rasm Aktiv –induktiv yuklamada ayon qutubli sinxron mashinaning EYuK vektor diagrammasi

$$P_{1nom} = S_{nom} \cdot \cos \varphi_{1nom} = 37,4 \cdot 0,766 = 28,6 \text{ kW}.$$

8. Yuklama tushgandagi nominal kuchlanish o'zgarishi

$$\begin{aligned} \Delta U_{nom} &= \left[\frac{E_0 - U_{1nom}}{U_{1nom}} \right] \cdot 100 \\ &= \left[\frac{280 - 231}{231} \right] \cdot 100 \\ &= 21,2\%, \end{aligned}$$

ya'ni yuklamani nominaldan salt ish rejimigacha tushushida generator chiqishidagi kuchlanish 21,2 % ga ko'payadi.



3.2-rasm. Aktiv –sig'im yuklamali ayon qutubli sinxron generatorning kuchlanish vektor diagrammasi

3.3-masala. 3.2-jadvalda keltirilgan kattaliklarning qiymatlaridan foydalanib, generatorning aktiv – sig'im xarakterli yuklamadagi parametrlari aniqlansin: EYuK vektori \dot{E}_0 va yuklama tok vektori \dot{I}_{1nom} orasidagi faza siljish burchagi $\psi_1' = 0,5 \cdot \psi_1$ deb qabul qilinsin.

Yechish variant 1.

1. 3.2 - masalani yechishda $\dot{E}_{1d} = -j41,4 \text{ V}$;

$\dot{E}_{1q} = -j25,7 \text{ V}$; $\dot{E}_{1\sigma} = -j28 \text{ V}$ qiymatlari aniqlangan.

Sig'im xarakterli yuklamada faza bo'yicha tok EYuK dan oldinda keladi, shuning uchun vektor diagrammani qurishda yuklama toki vektori \dot{I}_{1nom} ni EYuK \dot{E}_0 vektoridan chapga $\psi_1' = 0,5 \cdot \psi_1 = 0,5 \cdot 54 = 27^\circ$ ga suramiz (3.2-rasm).

Ma'lumki, sig'im xarakterli yuklamada yakor reaksiyasi generatorga magnitlovchi xarakterdagi ta'sir o'tkazadi. Shuning uchun \dot{E}_{1d} vektori asosiy EYuK vektori \dot{E}_0 yo'nalishida quyiladi (o'tkaziladi). Qolgan hollarda vektor diagrammani qurish tartibi 4.2-masaladagi vektor diagrammani ko'rishdagidek.

Qurish natijasida nominal kuchlanish vektori uzunligi U_{1nom} - 170 mm olinadi. Kuchlanish masshtabi $m_U = 2 V/mm$ ekanini hisobga olib, $U_{1nom} = 340 V$ ekanligini aniqlaymiz, bunda liniya kuchlanishi $U_{1l} = 640 V$. Tok vektori \dot{I}_{1nom} va kuchlanish vektori \dot{U}_{1nom} orasidagi faza siljish burchagi $\varphi_{1nom} = 36^\circ$, quvvat koeffitsiyenti esa $\cos \varphi_{1nom} = 0,809$ (sig'im).

2. Generator chiqishidagi to'liq nominal quvvat

$$S_{nom} = 3 \cdot U_{1nom} \cdot I_{1nom} \cdot 10^{-3} = 3 \cdot 340 \cdot 54 \cdot 10^{-3} = 55 \text{ kVA}.$$

3. Generator chiqishidagi aktiv quvvat

$$P_{nom} = S_{nom} \cdot \cos \varphi_{1nom} = 55 \cdot 0,809 = 44,5 \text{ kW}.$$

4. Yuklama tushganda generator kuchlanishining nominal o'zgarishi

$$\Delta U_{nom} = \left[\frac{E_0 - U_{1nom}}{U_{1nom}} \right] \cdot 100 = \left[\frac{280 - 340}{340} \right] \cdot 100 = -17,6\%,$$

ya'ni yuklama tushganda generator chiqishidagi kuchlanish 17,6 % ga ko'payadi.

3.2 – va 3.3 – masalalarni yechish natijalari taqqoslab, shuni ko'rish mumkin: sinxron generatorlar xususiyati (to'liq va aktiv quvvatning nominal qiymatlari, yuklama tushganda kuchlanishning nominal o'zgarishi) suzilarli darajada yuklama xarakteriga bog'liq kechadi.

3.4-masala. Nominal quvvati P_{nom} va nominal faza kuchlanishi $U_{1f.nom}$ bo'lgan uch fazali sinxron generator $\cos \varphi_{nom} = 0,8$ (induktiv) quvvat koeffitsiyenti bilan ishlamoqda. Stator faza chulg'ami sochilma induktiv qarshilikka (x_1) эга (3.3-жадвал); қисқа туташув нисбати (QTN), ўзгарувчан ток частотаси 50 Hz.

EYuK ning amaliy diagrammasini qurish talab etiladi va u bo'yicha yuklama ΔU ga tushganda generator kuchlanishining nomining o'zgarishini aniqlash talab etiladi. Stator faza chulg'aming aktiv qarshiligi hisobga olinmasin. Generator salt ish xarakteristikasi normal hisoblansin.

| Parametr | Variantlar | | | | | | | | | |
|---------------|------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
| U_{1nom}, V | 230 | 230 | 230 | 400 | 400 | 400 | 400 | 230 | 230 | 230 |
| QTN | 1,4 | 1,2 | 1,3 | 1,1 | 1,4 | 1,1 | 1,2 | 1,3 | 1,2 | 1,4 |
| x_1, Ω | 0,15 | 0,32 | 0,45 | 0,32 | 0,28 | 0,25 | 0,18 | 0,32 | 0,32 | 0,18 |

Yechish variant 1.

1. Stator nominal toki

$$I_{1nom} = \frac{S_{nom}}{m_1 \cdot U_{1nom} \cdot \cos \varphi_{1nom}} = \frac{55000}{3 \cdot 230 \cdot 0,8} = 100 \text{ A}$$

2. Induktiv kuchlanish tushuvi

$$\dot{E}_{1\sigma} = j\dot{I}_{1nom} \cdot x_1 = 100 \cdot j0,15 = j15 \text{ V},$$

yoki nisbiy birliklarda

$$E_{\sigma^*} = \frac{E_{1\sigma}}{U_{1nom}} = \frac{j15}{230} = j0,065$$

3. EYuK amaliy diagrammasini qurish (3.3-rasm)

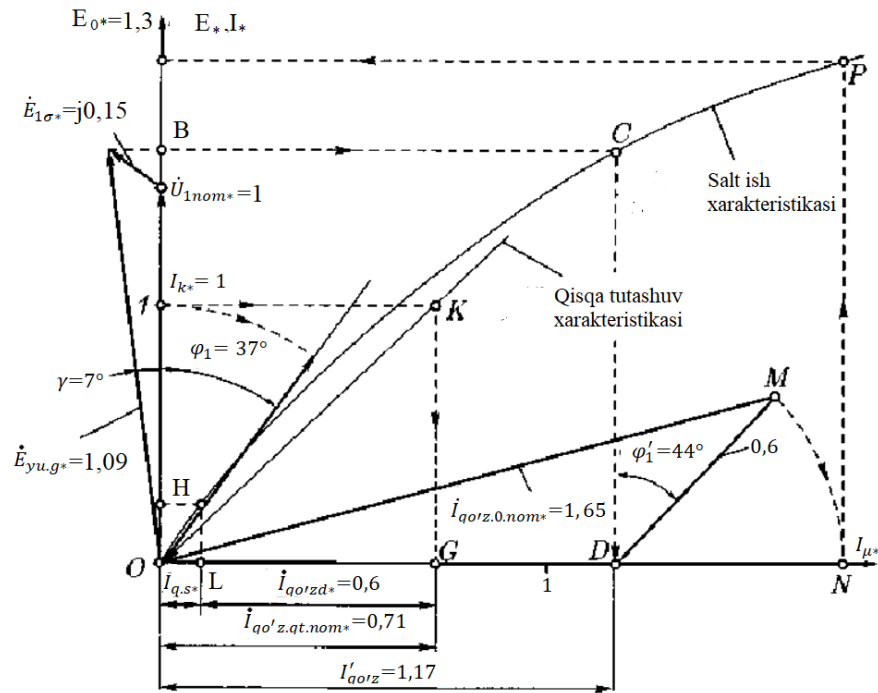
3.1 Quyidagi ma'lumotlar bo'yicha nisbiy birliklarda salt ishlash normal xarakteristikasini quramiz.

| | | | | | | | |
|--------------|------|-----|------|------|------|------|------|
| E_0^* | 0,58 | 1,0 | 1,21 | 1,33 | 1,40 | 1,46 | 1,51 |
| $I_{qo'z}^*$ | 0,5 | 1,0 | 1,5 | 2,0 | 2,5 | 3,0 | 3,5 |

bunda

$$E_0^* = \frac{E_0}{U_{1nom}}; I_{qo'z}^* = \frac{I_{qo'z}}{I_{qo'z.o.nom}}$$

E_0 – generatorning asosiy EYuK; $I_{qo'z}$ – salt ish rejimidagi generatorning qo'zg'atish toki; $I_{qo'z.0.nom}$ – generatorning salt ish rejimida E_0 asosiy EYuK ga mos keluvchi qo'zg'atish toki.



3.3-rasm. Sinxron generator EYuK ning amaliy diagrammasi

3.2 Koordinatalarning shu o'qlarida (3.4 – rasimga qarang) nisbiy birliklarda qisqa tutashuv xarakteristikasini $I_{qt*} = f(I_{qo'z*})$ quramiz, bunda

$$I_{qt*} = \frac{I_{1qt}}{I_{1nom}}$$

Bu xarakteristika to'g'ri chiziq ko'rinishida bo'ladi.

Qisqa tutashuv xarakteristikasini ikki nuqta bo'yicha quramiz: O nuqta – koordinatalar o'qlari boshi va koordinatalari $I_{qt*} = 1$ va $I_{qo'z.qt.n*}$ bo'lgan K nuqta.

Tok $I_{qo'z.qt.n*}$ generatorni nominal yuklama toki I_{1nom} ga mos keluvchi qo'zg'atish toki, uni qiymatini qisqa tutashuv nisbati $QTN = 1,4$ dan foydalanib aniqlaymiz

$$QTN = I_{qo'z.0.nom} / I_{qo'z.qt.nom}$$

bundan

$$I_{qo'z.qt.nom*} = \frac{I_{qo'z.qt.nom}}{I_{qo'z.0.nom}} = \frac{1}{QTN} = \frac{1}{1,4} = 0,71.$$

3.3 Ordinatalar o'qida $\dot{U}_{1nom*} = 1$ vektorni quramiz va $\varphi_{1nom} = \arccos 0,8 = 37^\circ$ burchak ostida to'g'ri chiziq o'tkazamiz – stator toki yo'nalishi, unda $I_{1nom*} = 1$ vektorini quramiz, buning uchun 1 birlikni ordinatalar o'qidan sirkul yordamida tok yo'nalishi liniyasiga ko'chiramiz.

3.4 Kuchlanish vektori \dot{U}_{1nom*} oxiridan 90° burchak ostida stator toki yo'nalishiga sochilma EYuK vektorini o'tkazamiz (induktiv kuchlanish tushuvi)

$$\dot{E}_{1\sigma} = j0,15$$

3.5 Koordinata o'qlari boshi O nuqtani $\dot{E}_{1\sigma*}$ bilan birlashtirib yuklangan generatorning EYuK vektorini olamiz

$$\dot{E}_{g.yuk*} = \dot{U}_{1nom*} + \dot{E}_{1\sigma*} = 1,09.$$

3.6 $\dot{E}_{g.yuk*}$ vektori oxirini salt ish xarakteristikasiga proyektlantirib \overline{BC} kesmaga ega bo'lamiz, so'ngra uni absissa o'qiga proyektlantirib yuklangan generatorning $\dot{E}_{g.yuk*} = 1,09$ EYuK ga mos keluvchi qo'zg'atish toki $I'_{qo'z} = 1,17$ ekanligini aniqlaymiz.

3.7 Sochilma EYuK $\dot{E}_{1\delta*} = j0,15$ ni kompensatsiya qiluvchi qo'zg'atish toki $I_{qo'z.x*}$ ning qiymatini aniqlaymiz; shu maqsadda ordinatalar o'qida O nuqtada $\dot{E}_{\sigma*}$ vektorini quramiz, hosil bo'lgan H nuqtani salt ish xarakteristikasiga, so'ngra absissa o'qiga quramiz va sochilma EYuK $\dot{E}_{1\sigma*} = j0,15$ ga ekvivalent bo'lgan qo'zg'atish toki qiymati $I_{qo'z.x*} = 0,11$ ni olamiz.

3.8 Sinxron generator salt ishlaganda (yuklamasiz) uning asosiy EYuK E_{0*} , EYuK $\dot{E}_{g.yuk*}$ dan yakor reaksiyasining bo'ylama o'qi bo'icha E_{1d*} EYuK qiymatiga katta, ya'ni

$$\dot{E}_{0*} = \dot{E}_{g.yuk*} + \dot{E}_{1d*}.$$

E_{1d*} ni hisobga olish uchun yakor reaksiyasining bo'ylama magnitsizlantiruvchi ta'siriga mos keluvchi qo'zg'atish tokini aniqlaymiz. $I_{qo'zd*}$ \overline{LG} kesma bilan absissa o'qida aniqlanadi: $I_{qo'zd*} = 0,6$.

3.9 D nuqtadan $\varphi'_1 = +\varphi_{1nom} = 7 + 37 = 44^\circ$ burchak ostida \overline{CD} vertikalga nisbatan $\overline{DM} = I_{qo'zd*} = 0,6$ vektorni quramiz. So'ngra O nuqtadan OM radius orqali absissa o'qidagi N nuqta bilan kesishguncha yoy chizamiz. Hosil bo'lgan $\overline{ON} = 1,65$ kesma generatorni asosiy EYuK ga mos keluvchi qo'zg'atish toki $I_{qo'z.0.nom}$ ni ifodalaydi (tasvirlaydi).

$$E_{0*} = \overline{PN} = 1,3.$$

3.10 Barcha bajarilgan qurishlar natijada yuklama tushgandagi kuchlanishni nominal o'zgarishini aniqlaymiz:

$$\Delta U_{nom} = \frac{E_{0*} - U_{1nom*}}{U_{1nom*}} = \frac{1,3 - 1}{1} = 0,3$$

yoki 30%.

3.5–masala. Ayon qutbli konstruksiyadagi uch fazali sinxron generatorning nominal quvvati S_{nom} , qutblar soni $2p$ bo'lib, u chastotasi $f_1 = 50 \text{ Hz}$, kuchlanishi U_1 tarmoq bilan parallel ishlashga ulangan. Generator statori l_1 uzunlikka va D_1 diametrga ega; havo bo'shlig'idagi magnit induksiyasi B_δ , stator uzagini pulat bilan to'ldirish koeffitsiyenti $k_c = 0,95$. Stator faza chulg'ami w_1 ketma – ket ulangan o'ramlardan iborat, chulg'am koeffitsiyenti $k_{ch1} = 0,92$. Stator faza chulg'amlari “yulduzcha” ulangan. Generatorning sinxron induktiv qarshiliklari: bo'ylama o'q bo'yicha x_d , ko'ndalang o'q bo'yicha x_q . Qayd etilgan parametrlarini qiymatlari 3.4-jadvalda keltirilgan.

Generator rotoriga ta'sir etuvchi tormoz momentlarini aniqlash talab etiladi: asosiy M_{as} , reaktiv M_r , umumiy $M = M_{as} + M_r$ va bu momentlarning θ burchak funksiyalari grafigi FIK lari qurilsin;

Agar, nominal yuklama rejimi yuklama burchagi $\theta_{nom} = 16,5^\circ$ ga mos kelsa, generatorning yuklanish qobiliyati aniqlansin.

| Parametr | Variantlar | | | | | | |
|---------------------|------------|------|------|------|------|------|------|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 |
| S_{nom}, kVA | 640 | 400 | 700 | 950 | 630 | 460 | 570 |
| U_1, V | 6000 | 660 | 6000 | 6000 | 6000 | 660 | 660 |
| $2p$ | 12 | 8 | 10 | 16 | 12 | 8 | 10 |
| D_1, m | 0,80 | 0,92 | 0,86 | 1,80 | 1,0 | 0,80 | 1,0 |
| l_1, m | 0,52 | 0,25 | 0,35 | 0,50 | 0,50 | 0,30 | 0,32 |
| B_δ, Tl | 0,88 | 0,78 | 0,80 | 0,85 | 0,78 | 0,76 | 0,80 |
| w_1 o'ramlar soni | 420 | 66 | 480 | 450 | 380 | 62 | 58 |
| x_d, Ω | 89 | 1,70 | 85 | 62,7 | 96,5 | 1,50 | 0,95 |
| x_q, Ω | 41,4 | 0,78 | 36,6 | 21,5 | 33,6 | 0,45 | 0,37 |

Yechish variant 1.

1. Generatorning faza kuchlanishi

$$U_{1f} = \frac{6000}{1,73} = 3468 V.$$

2. Qutb bo'linmasi

$$\tau = \pi \cdot \frac{D_1}{2p} = 3,14 \cdot \frac{0,8}{12} = 0,21 m.$$

3. Asosiy magnit oqimi

$$\Phi = \left(\frac{2}{\pi}\right) \cdot B_\delta \cdot \tau \cdot l_1 \cdot k_c = 0,64 \cdot 0,88 \cdot 0,21 \cdot 0,52 \cdot 0,95 = 0,058 Vb.$$

4. Generatorning asosiy EYK

$$E_0 = 4,44 \cdot f_1 \cdot \Phi \cdot w_1 \cdot k_{ch1} = 4,44 \cdot 50 \cdot 0,058 \cdot 420 \cdot 0,92 = 4975 V.$$

5. Sinxron burchak aylanish chastotasi

$$\omega_1 = \frac{2\pi f_1}{p} = \frac{2 \cdot 3,14 \cdot 50}{6} = 52,3 \frac{rad}{s}$$

yoki $n = 500 \frac{ayl}{min}$.

6. Generator asosiy elektromagnit momentning maksimal qiymati ($\theta=90^\circ$)

$$M_{as.max} = \frac{m_1 \cdot U_{1f} \cdot E_0}{\omega_1 \cdot x_d} = \frac{3 \cdot 3468 \cdot 4975}{52,3 \cdot 89} = 11120 \text{ N}\cdot\text{m}.$$

7. Genarator reaktiv momentning maksimal qiymati

$$M_{r.max} = \frac{m_1 \cdot U_{1f}^2}{2 \cdot \omega_1} \cdot \left(\frac{1}{x_q} - \frac{1}{x_d} \right) = \frac{3 \cdot 3468^2}{2 \cdot 52,3} \cdot \left(\frac{1}{41,4} - \frac{1}{89} \right) = 4484 \text{ N}\cdot\text{m}.$$

8. Asosiy moment hisoblarining natijalari

$$M_{as} = M_{as.max} \cdot \sin \theta$$

reaktiv moment

$$M_r = M_{r.max} \cdot \sin 2\theta$$

va umumiy moment

$$M = M_{as} + M_r$$

yuklama burchagining bir qator qiymatlari uchun 3.5 -jadvalda keltirilgan.

9. Maksimal umumiy momentga mos keluvchi yuklama burchagining kritik qiymati θ_{kr} .

$$\cos \theta_{kr} = \sqrt{\beta^2 + 0,5} - \beta = \sqrt{0,25^2 + 0,5} - 0,25 = 0,49;$$

$$\sin \theta_{kr} = 0,857;$$

bundan

$$\theta_{kr} = \arccos 0,49 = 59^\circ,$$

bunda

$$\beta = \frac{E_0}{\left[4 \cdot U_{1f} \cdot \left(\frac{x_d}{x_q} - 1 \right) \right]} = \frac{4975}{\left[4 \cdot 3468 \left(\frac{89}{41,4} - 1 \right) \right]} = 0,31$$

$\theta_{kr} = 59^\circ$ burchakka quyidagi momentlar mos keladi:

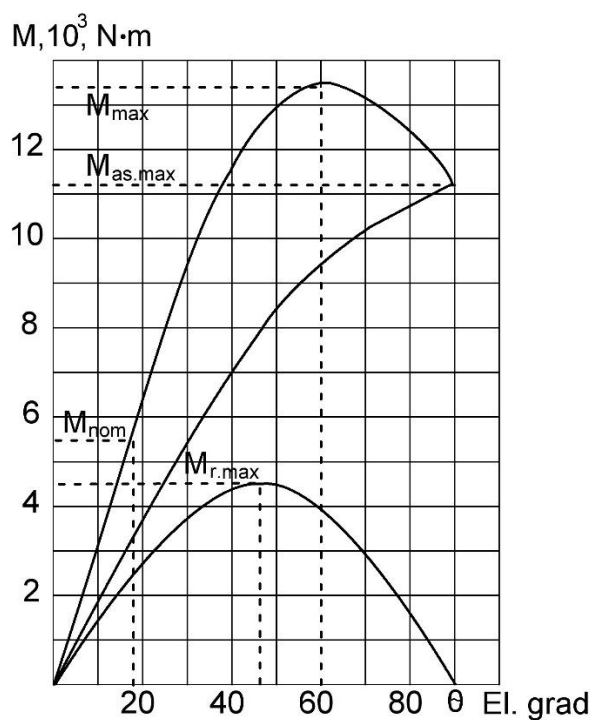
$$M'_{as} = M_{as.max} \cdot \sin \theta_{kr} = 11120 \cdot 0,857 = 9530 \text{ N}\cdot\text{m};$$

$$M'_r = M_{r.max} \cdot \sin 2\theta_{kr} = 4484 \cdot 0,883 = 3960 \text{ N}\cdot\text{m};$$

| Parametr | Parametr qiymati | | | | | |
|---------------------|------------------|-------|-------|-------|-------|-------|
| $\theta, grad$ | 20 | 30 | 45 | 60 | 70 | 90 |
| $\sin \theta$ | 0,342 | 0,500 | 0,707 | 0,866 | 0,940 | 1,00 |
| $M_{as}, N \cdot m$ | 3803 | 5560 | 7861 | 9629 | 10452 | 11120 |
| $\sin 2\theta$ | 0,643 | 0,866 | 1,00 | 0,866 | 0,643 | 0,00 |
| $M_r, N \cdot m$ | 2883 | 3883 | 4484 | 3883 | 2883 | 0,00 |
| $M, N \cdot m$ | 6686 | 9443 | 12345 | 13512 | 13335 | 11120 |

$$M_{max} = M'_{as} + M'_r = 9530 + 3960 = 13490 N \cdot m.$$

10. Hisoblashlar natijalari bo'yicha ayon qutbli sinxron generatorning burchak xarakteristikalari qurilgan.



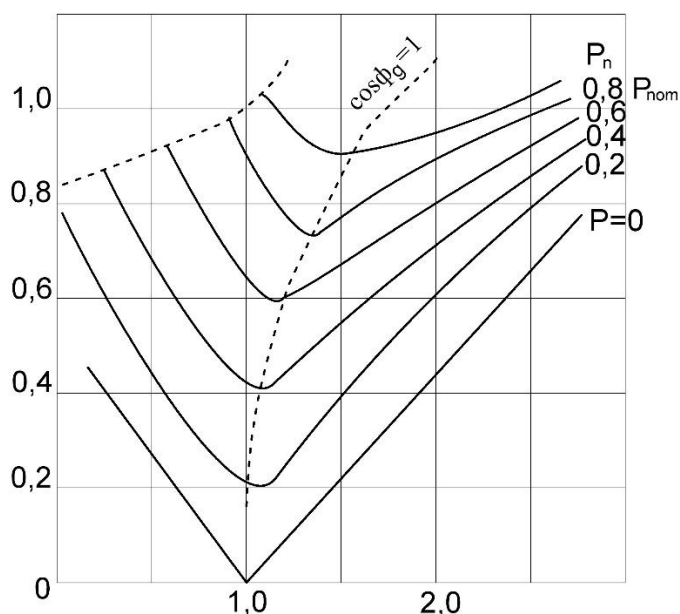
3.4-rasm. Sinxron generatorning burchak xarakteristikalari

Umumiy moment xarakteristikasi $M = f(\theta)$ bo'yicha $\theta_{nom} = 16,5^\circ$ da nominal rejim mometini aniqlaymiz, $M_{nom} = 5600 \text{ N} \cdot \text{m}$, demak, generatorni yuklanish qobiliyati

$$\frac{M_{max}}{M_{nom}} = \frac{13490}{5600} = 2,4$$

ga teng.

3.6-masala. Nisbiy birliklarda qurilgan U simon xarakteristikaning I'_{1*} va $I_{qo'iz*}$ koordinatali nuqta rejimida quvvat S_{nom} nominal bo'lgan uch fazali sinxron generator kuchlanishi U_1 tarmoq bilan parallel ishlamoqda



3.5-rasm. Tarmoq bilan parallel ishlashga ulangan uch fazali sinxron generatorning U simon xarakteristikalari

Aniqlanishi talab etiladi: stator zanjiridagi tok kuchi I_1 va uning aktiv hamda reaktiv tashkil etuvchilari; generator tarmoqqa beradigan quvvat S_g , va uning aktiv hamda reaktiv tashkil etuvchilari; generatorning quvvat koeffitsiyenti $\cos \varphi_1$. Masalani yechish uchun zarur bo'lgan parametrlar qiymatlari 3.6 - jadvalda keltirilgan. Savollarga javob berilsin:

| Parametr | Variantlar | | | | | |
|----------------|------------|------|------|------|------|------|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
| S_{nom}, kVA | 500 | 1000 | 1300 | 300 | 800 | 2000 |
| U_{tar}, V | 0,4 | 6,3 | 10,5 | 0,4 | 6,3 | 10,5 |
| I_{1*} | 0,6 | 0,8 | 0,5 | 0,8 | 0,88 | 0,6 |
| $I_{qo'iz*}$ | 1,9 | 2,0 | 1,4 | 1,15 | 2,0 | 1,9 |

a) Qanday hollarda tarmoqqa parallel ulangan sinxron generatorni o'ta qo'zg'atish bilan ishlatish maqsadga muvofiq va qanday hollarda o'ta qo'zg'atishsiz ishlatish maqsadga muvofiq bo'ladi?

b) Nima uchun generator aktiv quvvatini oshirish bilan $\cos \varphi_1 = 1$ ga mos keluvchi qo'zg'atish tokining qiymati ko'payadi?

Yechish variant 1.

1. Stator nominal toki

$$I_{1nom} = \frac{S_{nom}}{\sqrt{3} \cdot U_{tar}} = \frac{500}{1,73 \cdot 0,4} = 722 \text{ A.}$$

2. Sinxron generatorning U simon xarakteristikalaridan ko'rinadiki, koordinatalari $I_{1*}=0,6$ va $I_{qo'iz*}=1,9$ berilgan nuqtalar rejimda generatorning ishlashi aktiv yuklama $P=0,2 \cdot P_{nom}$ dagi xarakteristika bilan aniqlanadi; generator statori zanjiridagi tok

$$I_{nom} = 0,6 \cdot I_{1nom} = 0,6 \cdot 722 = 433 \text{ A.}$$

3. Stator tokining aktiv tashkil etuvchisi $0,2P_{nom}$ xarakteristikadagi qo'zg'atish toki $I_{qo'z0}$ ga mos keluvchi ordinata bilan aniqlanadi:

$$I_{1a} = 0,22 \cdot I_{1nom} = 0,22 \cdot 722 = 159 \text{ A.}$$

4. Generatorning quvvat koeffitsiyenti

$$\cos \varphi_g = \frac{I_{1a}}{I_1} = \frac{159}{433} = 0,367.$$

5. Generatorni o'ta qo'zg'atishdan $I_{qo'z*} = 1,9$ (paydo bo'lgan reaktiv (induktiv) tok)

$$I_{1r} = I_1 \cdot \sin \varphi_g = 433 \cdot 0,930 = 403 \text{ A.}$$

6. Generator yuklamasining to'la quvvati

$$S_g = \sqrt{3} \cdot U_t \cdot I_1 = 1,73 \cdot 0,4 \cdot 433 = 300 \text{ kVA.}$$

7. Generator yuklama quvvatining aktiv tashkil etuvchisi

$$P_g = S_g \cdot \cos \varphi_g = 300 \cdot 0,9367 = 110 \text{ kW.}$$

8. Generator yuklama quvvatining reaktiv tashkil etuvchisi

$$Q_r = S_r \cdot \sin \varphi_r = 300 \cdot 0,930 = 279 \text{ kVAr.}$$

9. $\cos \varphi_g = 1$ ga mos keluvchi qo'zg'atish toki, ya'ni stator tokiga

$$I_1 = I_{1a} = 159 \text{ A; xarakteristikadan aniqlaymiz } I_{qo'z*} = 1,1.$$

3.7- masala. Tarmoq bilan parallel ishlayotgan sinxron generatorning U simon xarakteristikalaridan foydalanib (3.5 rasimga qarang), generatorning rostlash xarakteristikalarini $I_{qo'z*} = f(P_*)$, generatorning quvvat koeffitsiyenti o'zgarmas $\cos \varphi_1 = \text{const}$ bo'lgan holatlar uchun qurilsin, quyida tavsiya etiladigan qiymatlar keltirilgan:

| Variantlar | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
|------------------|-----|------|-----|------|-----|------|
| $\cos \varphi_1$ | 0,7 | 0,75 | 0,8 | 0,85 | 0,9 | 0,95 |

Yechish variant 1.

1. Generatorning quvvat koeffitsiyenti, quvvat koeffitsiyenti $\cos \varphi_g = 1$ ga mos keluvchi stator tokining aktiv tashkil etuvchisini statorning to'la tokiga nisbati bilan aniqlanadi:

$$\cos \varphi_g = \frac{I_{1a*}}{I_{1*}}$$

bundan berilgan quvvat koeffitsiyenti qiymatidagi stator toki

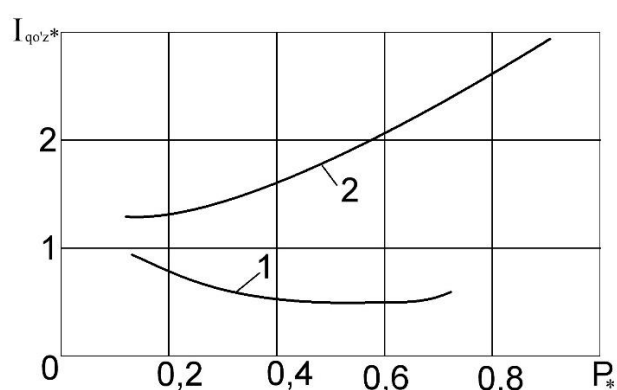
$$I_{1*} = \frac{I_{1a*}}{\cos \varphi_g}$$

2. Stator toki aktiv tashkil etuvchisi qiymatlarini berib borib, $I_{1a*}=0,2; 0,4; 0,6$ va $0,8$ statorni mos holdagi to'liq tokini aniqlaymiz va bu qiymatlarning har biri uchun U simon xarakteristikalar bo'yicha $I_{qo'z*}$ qo'zg'atish tokining ikkita qiymatini aniqlaymiz. Biri generatorning o'ta qo'zg'atish rejimi uchun, ikkinchisi o'ta qo'zg'atilmagan rejim uchun. Barcha olingan natijalarni 3.7 – jadvalga kiritamiz.

3.7-jadval

| P_* | I_{1a*} | I_{1*} | $I_{qo'z*1}$ | I_{nom*2} |
|-------|-----------|----------|--------------|-------------|
| 0,2 | 0,22 | 0,31 | 0,75 | 1,25 |
| 0,4 | 0,41 | 0,58 | 0,53 | 1,52 |
| 0,6 | 0,58 | 0,83 | 0,52 | 2,2 |
| 0,8 | 0,72 | 1,02 | - | 2,8 |

3. 3.7 – jadval ma'lumotlari bo'yicha ikkita rostlash xarakteristikasini quramiz.



3.6-rasm. *Sinxron generatorning rostlash xarakteristikalari*

$I_{qo'z*1}=f(P_*)$ o'ta qo'zg'atilmagan rejimi uchun (1 – grafik);

$I_{qo'z*2}=f(P_*)$ o'ta qo'zg'atilgan rejimi uchun (2 – grafik).

3.2.2. Sinxron motorlar va kompensatorlar

3.8 - masala. СДН2 rusumidagi uch fazali sinxron motor katalog ma'lumotlariga ega: nominal quvvat P_{nom} , qutblar soni $2p$ F.I.K η_{nom} , karralıklar – ishga tushirish toki $I_{ish.t}/I_{nom}$, ishga tushirish momenti $M_{ish.t}/M_{nom}$, maksimal sinxron moment M_{max}/M_{nom} , $s = 5\%$ (sinxronizmga kirish momenti) da asinxron moment $M_{5\%}/M_{nom}$; stator chulg'amlari "yulduzcha" ulangan. Qayd etilgan kattalıklarning qiymatlari 3.8 - jadvalga keltirilgan. Aniqlansin: aylanish chastotasi, nominal va ishga tushirish toklari (stator zanjiridagi), nominal, maksimal sinxron, ishga tushirish momentlari va ($s = 5\%$ dagi) sinxronizmga kirishning asinxron momenti. 50 Hz chastotadagi ta'minot tarmog'ining kuchlanishi $U_{tar}=10$ kV, quvvat koeffitsiyenti $\cos \varphi_1 = 0,8$.

3.8 - jadval

| Motor tipi | P_{nom}, kW | $2p$ | $\eta_{1nom} \%$ | M_{max} / M_{nom} | $M_{5\%} / M_{nom}$ | $M_{ish.t} / M_{nom}$ | $I_{ish.t} / I_{nom}$ |
|------------|---------------|------|------------------|---------------------|---------------------|-----------------------|-----------------------|
| 16-36-12 | 500 | 12 | 93,7 | 1,9 | 1,3 | 1,0 | 5,2 |
| 16-44-12 | 630 | 12 | 94,2 | 1,9 | 1,3 | 1,0 | 5,1 |
| 17-31-12 | 800 | 12 | 94,3 | 1,9 | 1,1 | 1,0 | 4,7 |
| 17-39-12 | 1000 | 12 | 94,9 | 1,8 | 1,0 | 1,0 | 4,5 |
| 17-49-12 | 1250 | 12 | 95,3 | 1,9 | 1,2 | 1,1 | 5,2 |
| 18-64-12 | 2500 | 12 | 96,2 | 1,8 | 1,4 | 1,2 | 6,5 |
| 16-36-10 | 630 | 10 | 94,4 | 1,8 | 1,4 | 0,75 | 5,0 |
| 16-44-10 | 800 | 10 | 94,9 | 1,8 | 1,3 | 0,75 | 5,0 |
| 17-44-10 | 1250 | 10 | 95,5 | 1,9 | 1,2 | 1,1 | 5,4 |
| 17-51-10 | 1600 | 10 | 95,9 | 1,8 | 1,2 | 1,0 | 5,2 |

Yechish СДН2 -16-36-12 rusumli motor varianti.

1. Aylanish chastotasi

$$n_1 = \frac{60 \cdot f}{p} = \frac{60 \cdot 50}{6} = 500 \frac{\text{ayl}}{\text{min}}$$

2. Nominal yuklama rejimida motor iste'mol qiladigan quvvat

$$P_{1nom} = \frac{P_{nom}}{\eta_{nom}} = \frac{500}{0,937} = 534 \text{ kW.}$$

3. Nominal yuklama rejimida stator zanjiridagi tok

$$I_{1nom} = \frac{P_{1nom}}{\sqrt{3} \cdot U_1 \cdot \cos\varphi_1} = \frac{534}{1,73 \cdot 10 \cdot 0,8} = 39 \text{ A.}$$

4. Stator zanjiridagi ishga tushirish toki

$$I_{ish.t} = I_{1nom} \cdot \left(\frac{I_{ish.t}}{I_{nom}} \right) = 39 \cdot 5,2 = 203 \text{ A.}$$

5. Nominal yuklama rejimida motor validagi moment

$$M_{nom} = 9,55 \cdot \frac{P_{nom}}{n_1} = 9,55 \cdot \frac{500 \cdot 10^3}{500} = 9550 \text{ N} \cdot \text{m.}$$

6. Maksimal (sinxron) moment

$$M_{max} = M_{nom} \cdot \left(\frac{M_{max}}{M_{nom}} \right) = 9550 \cdot 1,9 = 18145 \text{ N} \cdot \text{m.}$$

7. Ishga tushirish momenti

$$M_{ish.t} = M_{nom} \cdot \left(\frac{M_{ish.t}}{M_{nom}} \right) = 9550 \cdot 1,0 = 9550 \text{ N} \cdot \text{m.}$$

8. Sinxronizmga kirish momenti (sirpanish $s=5\%$ dagi asinxron moment)

$$M_{5\%} = M_{nom} \cdot \left(\frac{M_{5\%}}{M_{nom}} \right) = 9550 \cdot 1,3 = 12415 \text{ N} \cdot \text{m.}$$

3.9 – masala. Qutblar soni $2p$, 50 Hz chastotada ta'minot kuchlanishi U_1 , nominal quvvati P_{nom} bo'lgan uch fazali sinxron motor uchun (3.9 jadval), nisbiy birliklardagi ishchi xarakteristikalaridan foydalanib (3.7-rasm) aniqlansin: to'liq S , aktiv P_1 va reaktiv Q quvvatlar, FIK η , quvvat koeffitsiyenti $\cos\varphi_1$ va quvvat koeffitsiyentini hamda FIK ni eng katta qiymatlariga mos keluvchi yuklamadagi motor validagi moment M_2 .

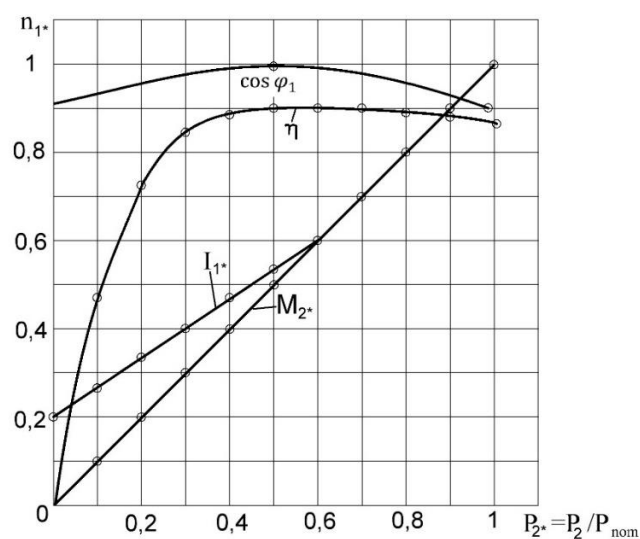
| Parametr | Variantlar | | | | | | | |
|---------------|------------|------|-----|-----|-----|------|-----|------|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 |
| P_{nom}, kW | 132 | 200 | 315 | 630 | 400 | 250 | 500 | 315 |
| U_1, kV | 0,38 | 0,38 | 6,0 | 6,0 | 6,0 | 0,38 | 6,0 | 0,38 |
| $2p$ | 12 | 12 | 8 | 6 | 8 | 10 | 8 | 10 |

Yechish variant 1.

1. Motorning nominal yuklama $P_{2*}=1$ rejimiga quyidagi parametrlarning nominal qiymatlari mos keladi: Quvvat koeffitsiyenti $\cos \varphi_{1nom}=0,890$; FIK $\eta_{nom}=86\%$. Bu kattaliklardan foydalanib, aniqlaymiz:

a) stator nominal toki

$$I_{1nom} = \frac{P_{nom}}{\sqrt{3} \cdot U_1 \cdot \eta_{nom} \cdot \cos \varphi_{1nom}} = \frac{132}{1,73 \cdot 0,38 \cdot 0,86 \cdot 0,89} = 262 \text{ A};$$



3.7-rasm. Uch fazali sinxron motorning ishchi xarakteristikalarini

b) motor validagi nominal moment

$$M_{2nom} = 9,55 \cdot \frac{P_{nom}}{n_1} = 9,55 \cdot \frac{132 \cdot 10^3}{500} = 2521 \text{ N} \cdot \text{m}.$$

2. Motorning ishchi xarakteristikalaridan ko‘rinadiki, quvvat koeffitsiyentining eng katta qiymati $\cos \varphi_{max} = 0,980$ yuklama $P_{21*} = 0,5$ ga ya’ni, motorning foydali quvvatiga mos keladi

$$P_{21} = 0,5 \cdot P_{nom} = 0,5 \cdot 132 = 66 \text{ kW},$$

FIK ning eng katta qiymati $\eta_{max} = 0,90$ yuklama $P_{22*} = 0,6$ ga ya’ni, motorning foydali quvvatiga mos keladi,

$$P_{22} = 0,6 \cdot P_{nom} = 0,6 \cdot 132 = 79,2 \text{ kW}$$

3. Yuklamani ko‘rsatilgan qiymatlariga quyidagi qiymatlar mos keladi:

a) stator toklarining

$$I_{11} = 0,52 \cdot I_{1nom} = 0,52 \cdot 262 = 136 \text{ A},$$

$$I_{12} = 0,61 \cdot I_{1nom} = 0,61 \cdot 262 = 160 \text{ A};$$

b) to‘la quvvatning

$$S_1 = \sqrt{3} \cdot U_1 \cdot I_{11} = 1,73 \cdot 0,38 \cdot 136 = 89 \text{ kW} \cdot \text{A},$$

$$S_2 = \sqrt{3} \cdot U_1 \cdot I_{12} = 1,73 \cdot 0,38 \cdot 160 = 105 \text{ kW} \cdot \text{A};$$

v) quvvat koeffitsiyentining

$$\cos \varphi_{11} = \cos \varphi_{max} = 0,980; \sin \varphi_{11} = 0,199;$$

$$\cos \varphi_{12} = 0,970; \sin \varphi_{12} = 0,242;$$

g) reaktiv quvvatning

$$Q_1 = S_1 \cdot \sin \varphi_{11} = 89 \cdot 0,199 = 17,7 \text{ kVAr},$$

$$Q_2 = S_2 \cdot \sin \varphi_{12} = 105 \cdot 0,242 = 25,4 \text{ kVAr};$$

d) aktiv iste’mol quvvatining

$$P_{11} = S_1 \cdot \cos \varphi_{11} = 89 \cdot 0,980 = 87 \text{ kW},$$

$$P_{12} = S_1 \cdot \sin \varphi_{12} = 105 \cdot 0,970 = 102 \text{ kW};$$

e) motor validagi momentining

$$M_{21} = 0,5 \cdot M_{2nom} = 0,5 \cdot 2521 = 1260 \text{ N} \cdot \text{m},$$

$$M_{22} = 0,6 \cdot M_{2nom} = 0,6 \cdot 2521 = 1513 \text{ N} \cdot \text{m}.$$

3.10 – masala. Uch fazali sinxron turbomotor ($2p = 2$), 3.10 - jadvalda keltirilgan texnik ma'lumotlarga ega: nominal quvvat P_{nom} , $f = 50 \text{ Hz}$ да линия кучланиши U_1 , F.I.K η_{nom} , quvvat koeffitsiyenti $\cos \varphi_{1nom} = 0,9$; stator sinxron induktiv qarshiligi x_c ; stator chulg'ami "yulduzcha" ulangan; stator chulg'aming aktiv qarshiligi hisobga olinmasin. Motorning ma'lumotlari hisoblansin va burchak xarakteristikasi qurilsin hamda yuklanish qobiliyati aniqlansin.

3.10-jadval

| Parametr | Variantlar | | | | | |
|------------------|------------|------|------|------|------|------|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
| P_{nom}, kW | 2500 | 630 | 800 | 1250 | 1600 | 1000 |
| U_1, kV | 6,0 | 6,0 | 6,0 | 10,0 | 10,0 | 10,0 |
| $\eta_{nom}, \%$ | 96,4 | 93,8 | 94,4 | 94,8 | 95,6 | 95,4 |
| x_c, Ω | 7,2 | 27,0 | 21,5 | 39,5 | 30,0 | 48,0 |

Yechish varianti 1.

- Nominal yuklama rejimidagi stator toki

$$I_{1nom} = \frac{P_{nom}}{\sqrt{3} \cdot U_1 \cdot \eta_{nom} \cdot \cos \varphi_{1nom}} = \frac{2500}{1,73 \cdot 60 \cdot 0,964 \cdot 0,9} = 278 \text{ A.}$$

- Stator faza chulg'amida induktiv kuchlanish tushuvini hisobga olgandagi noayon qutbli motor yakor reaksiyasining EYuK

$$E_{st} = jI_{1nom} \cdot x_c = j278 \cdot 7,2 = j2000 \text{ V.}$$

- Kuchlanishlar vektor diagrammasini grafik yo'l bilan qurishdan stator EYuK E_0 ni aniqlaymiz. Vektor diagramma A4 formatdagi varaqda bajarilishini hisobga olib, kuchlanish masshtabini $m_U = 20 \text{ V/mm}$ tanlaymiz. U holda faza kuchlanishi vektorining uzunligi

$$\dot{U}_{1f} = \frac{6000}{1,73} = 3468 \text{ V} / (20 \text{ V/mm}) = 173 \text{ mm.}$$

Yakor reaksiyasi EYuK $\dot{E}_{st} = 2000 \text{ V}$ vektorning uzunligi $2000:20=100 \text{ mm}$.

7. Nominal yuklamadagi motor momenti

$$M_{nom} \approx \frac{P_{nom}}{\omega_1} = \frac{2500 \cdot 10^3}{314} = 7960 \text{ N}\cdot\text{m}.$$

8. Motorning yuklanish qobiliyati

$$\lambda_M = \frac{M_{max}}{M_{nom}} = \frac{14357}{7960} = 1,8.$$

9. Burchak xarakteristikasidan motor nominal yuklamasining burchagi

$\theta_{nom} = 36^0$, bu esa kuchlanishlar vektor diagramasini qurishda olingan θ_{nom} burchakka mos keladi (4.8-rasmga qarang).

3.11 - masala. 3.10-rasmda uch fazali sinxron motorning nisbiy birliklarda qurilgan U simon xarakteristikalari keltirilgan.

Aniqlanishi talab etiladi:

a) nisbiy birliklarda berilgan qo'zg'atish toki $I_{qo'z1*}$ quvvat P_{2*} ning qiymatlaridagi motorning quvvat koeffitsiyenti $\cos\varphi_1$ (3.11 -jadval);

b) quvvat koeffitsiyenti $\cos\varphi_1$ ni o'zgarmas shartidan qo'zg'atish toki $I_{qo'z*}$ ni motor yuklamasi P_{2*} ga bog'liqligi, ya'ni $\cos\varphi_1 = const$ da $I_{qo'z*} = f(P_{2*})$ grafigi qurilsin.

3.11-jadval

| Parametr | Variantlar | | | | | |
|-------------|------------|-----|-----|-----|-----|-----|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
| $I_{qo'z*}$ | 1,6 | 1,3 | 1,6 | 1,0 | 1,2 | 1,7 |
| P_{2*} | 0,8 | 0,4 | 0,4 | 0,0 | 0,4 | 0,8 |

Yechish varianti 1.

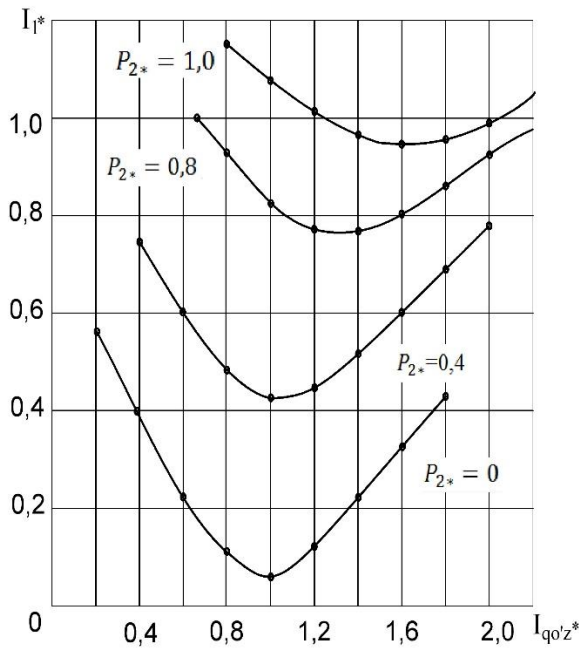
1. Quvvat koeffitsiyenti $\cos\varphi_1$ stator toki aktiv tashkil etuvchisi I_{1a*} ni statorning to'la toki I_{1*} ga nisbati bilan aniqlanadi:

$$\cos\varphi_1 = I_{1a*}/I_{1*}, \text{ bunda } I_{1a*} = 0,77.$$

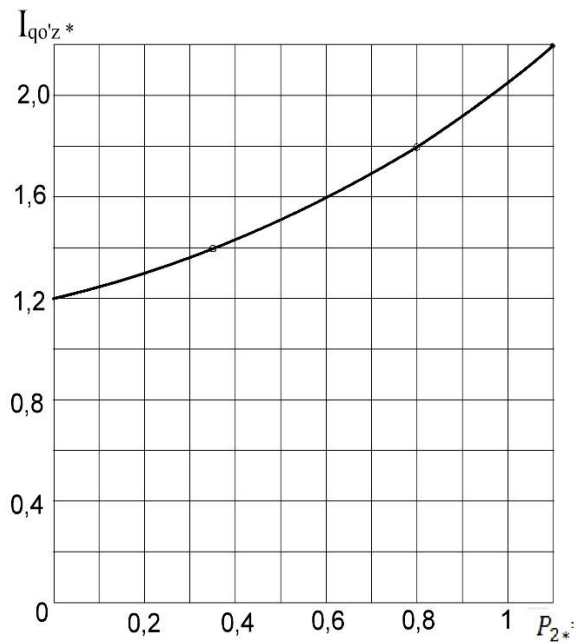
Demak, berilgan qiymatlar $I_{qo'z*}=1,6$ va $P_{2*}=0,8$ bo'yicha stator toki $I_{1*}=0,81$ ekanligini aniqlab, $\cos\varphi_1$ ning qiymatini hisoblaymiz

$$\cos\varphi_1 = \frac{0,77}{0,81} = 0,95.$$

2. U simon xarakteristikalar yordamida (3.10-rasmga qarang) $\cos\varphi_1=0,95$ ga mos keluvchi stator toki I_{1*} ni va unga mos keluvchi qo'zg'atish tok $I_{qo'z*}$ ni motorning har xil yuklamalari uchun aniqlaymiz:



3.10-rasm. *Sinxron turbomotorning U simon xarakteristikasi*



3.11-rasm. *$\cos\varphi_1=0,95=const$ dagi $I_{qo'z*} = f(P_{2*})$ ning grafigi*

$P_{2*}=0$ yuklamada

$$I_{1a*} = 0,080; I_{1*} = I_{1a*}/\cos\varphi_1 = 0,080/0,95 = 0,084; I_{qo'z*} = 1,1;$$

$P_{2*} = 0,4$ yuklamada

$$I_{1a*} = 0,42; I_{1*} = I_{1a*}/\cos\varphi_1 = 0,42/0,95 = 0,44; I_{qo'z*} = 1,2;$$

$P_{2*} = 1,0$ yuklamada

$$I_{1a*} = 0,93; I_{1*} = I_{1a*}\cos\varphi_1 = 0,93/0,95 = 0,98; I_{qo'z*} = 2,0.$$

hisoblash natijalarini 4.12 - jadvalga kiritamiz.

| Parametr | Parametr qiymatlari | | | |
|-------------|---------------------|------|------|------|
| P_{2*} | 0,0 | 0,4 | 0,8 | 1,0 |
| I_{1a*} | 0,080 | 0,42 | 0,77 | 0,93 |
| I_{1*} | 0,081 | 0,11 | 0,81 | 0,98 |
| $I_{qo'z*}$ | 1,1 | 1,2 | 1,6 | 2,0 |

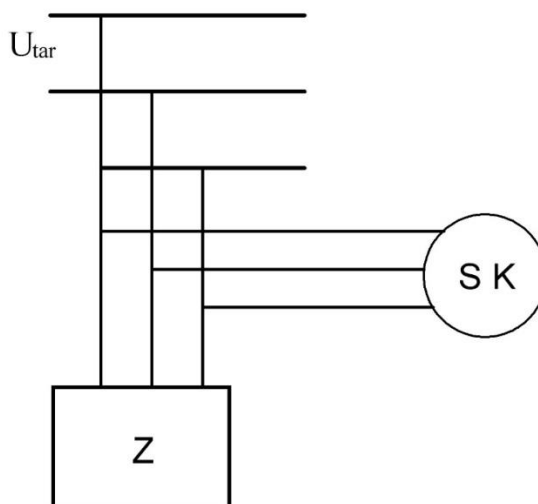
3. 3.12 - jadval ma'lumotlari bo'yicha $I_{qo'z*} = f(P_{2*})$ grafigini ($\cos\varphi_1 = 0,95 = const$ da bo'lganda) quramiz (4.11 – rasm).

3.12 - masala. U_{tar} kuchlanishdagi uch fazali tarmoqqa quvvat koeffitsiyenti $\cos\varphi$ da quvvati S_t bo'lgan Z iste'molchi ulangan. Tarmoqdagi quvvat koeffitsiyentini $\cos\varphi' = 0,95$ qiymatga ko'tarish uchun iste'molchiga parallel ulanishi kerak bo'lgan sinxron kompensator (SK) ning quvvati Q_{sk} aniqlansin (3.12-rasm). Bunda tarmoqdagi energiya isrofi qanchaga kamayadi, agar bu isroflar qiymati tarmoqdagi tokning kvadratiga proporsional bo'lsa. Shuningdek, tarmoq quvvat koeffitsiyenti qiymatini $\cos\varphi' = 1$ gacha ko'tarish uchun sinxron kompensator quvvatini qanchaga oshirish kerakligi aniqlansin. Berilgan parametrlarning qiymatlari 3.13 – jadvalda keltirilgan.

Yechish varinti 1.

1. Tarmoqdagi yuklama toki

$$I_{tar} = \frac{S}{\sqrt{3} \cdot U_{tar}} = \frac{1600}{1,73 \cdot 6,0} = 154 \text{ A.}$$



3.12-rasm. *Sinxron kompensatorning ulanish sxemasi*

2. Shu tokning aktiv tashkil etuvchisi

$$I_{tar.a} = I_{tar} \cdot \cos\varphi = 154 \cdot 0,70 = 108 \text{ A.}$$

3. Sinxron kompensator ulangungacha bo‘lgan tarmoq reaktiv quvvati

$$Q = S \cdot \sin\varphi = 1600 \cdot 0,70 = 1120 \text{ kVAr.}$$

4. Sinxron kompensator ulangandan so‘ngi tarmoq reaktiv quvvati

$$Q^1 = S \cdot \sin\varphi_1' = 1600 \cdot 0,312 = 499 \text{ kVAr.}$$

5. Quvvat koeffitsiyentini $\cos\varphi_1' = 0,95$ gacha ko‘tarish uchun yuklama Z ga parrallel qilib, rektiv quvvati

$$Q_{sk} = Q - Q^1 = 1120 - 499 = 621 \text{ kVAr}$$

bo‘lgan sinxron kompensatorni ulash talab etiladi.

6. Sinxron kompensatorni ulashda tarmoq tokining aktiv tashkil etuvchisining qiymati o‘zgarmaydi ($I_{tar.a} = 108 \text{ A}$), tarmoq tokining reaktiv tashkil etvchisi esa

$$I_{tar}^1 = \frac{Q'}{\sqrt{3} \cdot U_{tar}} = \frac{499}{1,73 \cdot 6,0} = 48 \text{ A}$$

bo‘ladi.

7. Sinxron kompensator ulangandan so‘ng tarmoq toki

$$I_{tar}^1 = \sqrt{I_{tar.a}^2 + I_{tar.a}^2} = \sqrt{108^2 + 48^2} = 118 \text{ A.}$$

| Parametr | Variantlar | | | | | | | | | |
|-------------------------------|------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
| U_c, kV | 6,0 | 10,0 | 20,0 | 35,0 | 6,0 | 10,0 | 20,0 | 35,0 | 6,0 | 10,0 |
| $S, \text{MB} \cdot \text{A}$ | 1,6 | 4,5 | 1,8 | 2,4 | 0,8 | 1,7 | 1,5 | 3,5 | 2,0 | 3,5 |
| $\cos\varphi$ | 0,070 | 0,72 | 0,70 | 0,75 | 0,70 | 0,72 | 0,75 | 0,74 | 0,78 | 0,72 |

8. Sinxron kompensator ulangandan so'ng tarmoqdagi isrof, sinxron kompensator ulanguncha bo'lgan ΔP isrof qiymatidan

$$\Delta P_{tar}^1 = \left(\frac{I_t^1}{I_{tar}}\right)^2 \cdot 100 = \left(\frac{118}{154}\right)^2 \cdot 100 = 0,59\%$$

ni tashkil etadi, ya'ni tarmoqdagi isrof 41% ga kamayadi.

9. Tarmoq quvvat koeffitsiyentini $\cos\varphi'=1$ gacha oshirishda buning uchun talab etilayotgan sinxron kompensatorning quvvati sinxron kompensator ulanguncha bo'lgan tarmoqning butun reaktiv quvvatiga teng bo'lishi kerak bo'ladi (3-punktga qarang), ya'ni $Q_{sk}=Q=1120 \text{ kVAr}$.

Demak, quvvat koeffitsiyenti $\cos\varphi'_1=0,95$ gacha ko'tarishda qo'llanilgan sinxron kompensator quvvatidan $(1120/621)=1,8$ marta kattaroq bo'lgan quvvatdagi sinxron kompensator talab etilgan bo'lardi. Bu esa qaralayotgan elektr qurilmani yaratishdagi kapital xarajatlarni ortishiga olib keladi va tarmoq quvvat koeffitsiyentini $\cos\varphi=1$ gacha kutarilish uchun sinxron kompensatorni qo'llashni samarasiz qilardi.

3.3. Mustaqil yechish uchun masalalar

3.13-masala. Agar $U_{nom}=0,4 \text{ kV}$, $I_{nom}=1,8 \text{ kA}$, va $\cos\varphi=0,8$; ($\varphi>0$), yakor chulg'amining to'liq induktiv qarshiligi $x_c=0,211 \Omega$ ma'lum bo'lsa, nominal rejimda ishlayotgan turbogeneratorning qo'zg'atish E_0 EYuK hisoblansin va kuchlanishlar vektor diagrammasi qurilsin. Yakor chulg'ami yulduzga ulangan. Magnit zanjirining to'yinishi hisobga olinmasin.

Javob: $E_0 = 550 \text{ V}$.

3.14-masala. Turbogenerator shunday qo'zg'atilganki, yakor toki $I=2150 A$ va quvvat koeffitsiyenti $\cos\varphi=0,8$; ($\varphi>0$) da uning qisqichlaridagi kuchlanish $U_{nom}=0,4 kV$. To'yinishni hisobga olmasdan mashinani qo'zg'atish EYuK E_0 aniqlansin, agar yakor chulg'aming asosiy induktiv qarshiligi $x_{ya}=0,17 \Omega$, yakor chulg'aming sochilma induktiv qarshiligi esa $x_{ya.s}=0,015 \Omega$, bo'lsa.

Javob: $E_0=620 V$.

3.15-masala. To'yinishni hisobga olmasdan, $I=4660 A$, $\cos\varphi=0,8$; ($\varphi>0$) va $I_{qo'z}=348 A$ bo'lganda noayon qutbli generator qisqichlaridagi kuchlanish aniqlansin. Yakor chulg'aming to'la induktiv qarshiligi $x_c=2,38 \Omega$. $I_{qo'z0}=150 A$ qo'zg'atish tokiga salt ishlashning to'g'rilangan xarakteristikasida $E_0=U_{f.nom}=6,3 kV$ EYuK mos keladi. Generatorning kuchlanishlar vektor diagrammasi qurilsin.

Javob: $U = 8,6 kV$.

3.16-masala. Agar generatorni qo'zg'atish EYuK $E_0=7,5 kV$ va yakor chulg'aming to'liq induktiv qarshiligi $x_c=32,9 \Omega$ ligi ma'lum bo'lsa, kuchlanish $U_{nom}=6,3 kV$ va quvvat koeffitsiyenti $\cos\varphi=0,8$ bo'lgandagi turbogenerator yakor toki aniqlansin. To'yinish ta'siri hisobga olinmasin.

Javob: $I_{ya}=144 A$.

3.17-masala. Agar yakor toki $I=17 kA$ da generator qisqichlaridagi faza kuchlanishi $U_f=11,55 kV$, qo'zg'atish EYuK esa $E_0=25 kV$ bo'lsa, quvvat koeffitsiyenti aniqlansin va generator kuchlanishining vektor diagrammasi qurilsin. Yakor chulg'aming to'liq induktiv qarshiligi $x_c=1,64 \Omega$. To'yinish ta'siri hisobga olinmasin.

Javob: $\cos\varphi=0,896$.

3.18-masala. Turbogeneratorning nominal aktiv quvvati $\cos\varphi=0,8$; ($\varphi>0$) da $P_{nom}=200 MW$. Generatorning nominal kuchlanishi $U_{nom}=15,75 kV$. Salt ishlashda, nominal kuchlanishga mos keluvchi qo'zg'atish toki $I_{qo'z0}=1880 A$.

Agar yakor chulgʻamining sochilma induktiv qarshiligi $x_{ya.s}=0,2 \Omega$, yakor chulgʻamining toʻla induktiv qarshiligi esa $x_c=1,94 \Omega$ boʻlsa, nominal yuklamadagi generatorning qoʻzgʻatish toki aniqlansin. Hisoblashlarda normal salt ishlash xarakteristikasidan foydalanilsin.

Javob: $I_{qo'iz}=4600 A$.

3.19-masala. Turbogeneratorning foydali ish koeffitsiyenti $\eta=97,2\%$, nominal kuchlanishi $U_{nom}=10,5 kV$, nominal toki $I_{nom}=1,7 kA$, quvvat koeffitsiyenti $\cos\varphi_{nom}=0,8$; ($\varphi>0$). Barcha turdagi quvvat isroflari $\Sigma P_{is}=721 kW$. Yakor chulgʻami juft qutblar soni $p=1$, yakor EYuK chastotasi $f=50 Hz$. Turbinaning aylantiruvchi momenti aniqlansin.

Javob: $M=81,1 kN\cdot m$.

3.20-masala. Sinxron generatorning nominal kuchlanishi $U_{nom}=0,4 kV$, yakorning faza toki $I=54 A$, quvvat koeffitsiyenti $\cos\varphi=0,8$. Generatorning FIK aniqlansin, agar magnit isroflar quvvati $P_{mag}=0,8 kW$ ni tashkil etsa, elektr isroflar quvvati $P_{el}=1,5 kW$, mexanik isroflar quvvati va qoʻzgʻatishdagi isroflar esa elektr isroflar quvvatining $2/3$ qismini tashkil etsa.

Javob: $\eta=90 \%$.

3.21-masala. Turbogeneratorning nominal quvvati $S_{nom}=P_{nom}=25 MW$ va kuchlanishi $U_{nom}=10,5 kV$. Yakor chulgʻamidagi elektr isroflarni hisobga olgan holda va hisobga olmagan holda nominal rejimdagi generatorning foydali ish koeffitsiyenti aniqlansin, agar yakor chulgʻami fazasining aktiv qarshiligi $R=0,005 \Omega$, mexanik, magnit va qoʻzgʻatishdagi quvvat isroflari esa $585 W$ ni tashkil etsa.

Javob: $97,6 \%$ va $97,7 \%$.

3.22-masala. $U_{nom}=0,4 kV$, $I_{nom}=60 A$, $\cos\varphi_{nom}=0,8$ da generatorning mexanik energiya quvvati, FIK va elektromagnit momenti aniqlansin, agar qoʻzgʻatishdagi elektr energiya mustaqil qoʻzgʻatish manbasidan keltirilsa, qolgan

barcha quvvatlar isrofi esa $3,16 \text{ kW}$ ni tashkil etsa. Mashinaning qutblar soni $2p = 4$, yakor toki chastotasi $f = 50 \text{ Hz}$.

Javob: $P_{mex}=36,3 \text{ kW}$; $\eta=91\%$; $M=277 \text{ N}\cdot\text{m}$.

3.23-masala. Sinxron generatorning nominal quvvati $S_{nom}=1,25 \text{ MVA}$, nominal kuchlanishi $U_{nom}=0,4 \text{ kV}$. To'yinishni hisobga olmay, $I=0,25; 0,5; 0,75; 1,0$ toklar uchun nominal kuchlanish o'zgarmas va faza siljishi $\varphi = 37^\circ$ da kuchlanishlar vektor diagrammasi qurilsin, agar yakor chulg'aming sinxron induktiv qarshiligi $x_c=0,21 \Omega$ bo'lsa. Kattaliklar uchun qurilishlar nisbiy birliklarda olib borilsin.

Javob: $E_0 = 1,3; 1,7; 2,0; 2,4$.

3.24-masala. Generator nominal ma'lumotlarga ega: $S_{nom}=7,15 \text{ MVA}$, $U_{nom}=6,3 \text{ kV}$, $I_{nom}=655 \text{ A}$, $\cos\varphi_{nom}=0,8$; ($\varphi>0$), $I_{qo'z.nom*}=2,1$. Yakor chulg'aming sinxron induktiv qarshiligi $x_c=8,35 \Omega$. Generator normal salt ishlash xarakteristikasiga ega. To'yinishni hisobga olmay nominal kuchlanishda va quvvat koeffitsiyentlari $\cos\varphi_{nom}=0,8$; ($\varphi>0$); $1,0; 0,8$ ($\varphi < 0$) da generatorning rostlash xarakteristikalari uchun analitik ifodalar nisbiy birliklarda olinsin. Xarakteristikalar qurilsin va yakor reaksiyasi tushunchasidan foydalanib ularning turlari tushuntirilsin.

$$\text{Javob: } I_{qo'z*} = \begin{cases} 0,862 \cdot \sqrt{1 + 1,8 \cdot 1 + 2,25 \cdot I_*^2}, \cos\varphi=0,8; (\varphi>0); \\ 0,862 \cdot \sqrt{1 + 2,25 \cdot I_*^2}, \cos\varphi=1,0; \\ 0,862 \cdot \sqrt{1 - 1,8 \cdot 1 + 2,25 \cdot I_*^2}, \cos\varphi=0,8; (\varphi < 0). \end{cases}$$

3.25-masala. Yakor chulg'aming sochilma induktiv qarshiligi $x_{ya.s*}=0,122$, yakor chulg'aming asosiy induktiv qarshiligi $x_{ya*}=1,44$. To'yinishni hisobga olib va hisobga olmay, nominal kuchlanishda va $\cos\varphi=0,8$; ($\varphi>0$) da sinxron generatorning rostlash xarakteristikalari qurilsin. Mashina normal salt ishlash xarakteristikasiga ega.

Javob:

| | | | | |
|--------------------|------|------|------|------|
| $I = 0$ | 0,25 | 0,5 | 0,75 | 1,00 |
| $I_{qo'z*}=0,862$ | 1,00 | 1,37 | 1,67 | 1,99 |
| hisobga olmay | | | | |
| $I_{qo'z1*}=0,862$ | 1,14 | 1,46 | 1,76 | 2,00 |
| hisobga olib | | | | |

3.26-masala. Nominal ma'lumotlari 4.3.12-masalada keltirilgan sinxron generator avtonom yuklamada ishlamoqda. To'yinishni hisobga olmay, quvvat koeffitsiyentining o'sha qiymatlarida generatorning tashqi xarakteristikalari uchun analitik ifodalar nisbiy birliklarda olinsin. Xarakteristikalar qurilsin va yakor reaksiyasi tushunchasidan foydalanib ularning turlari tushuntirilsin.

$$\text{Javob: } U_* = \begin{cases} -0,9 \cdot 1 + \sqrt{5,95 - 1,44 \cdot I_*^2}, \cos\varphi=0,8; (\varphi>0); \\ \sqrt{5,95 - 2,25 \cdot I_*^2}, \cos\varphi=1,0; \\ 0,9 \cdot 1 + \sqrt{5,95 - 1,44 \cdot I_*^2}, \cos\varphi=0,8; (\varphi < 0). \end{cases}$$

3.27-masala. Agar nominal qo'zg'atish toki $I_{qo'z.nom*}=1,5$ bo'lsa, yuklama tushgandagi turbogeneratorning nominal kuchlanish o'zgarishi aniqlansin. Generator normal salt ishlash xarakteristikasiga ega.

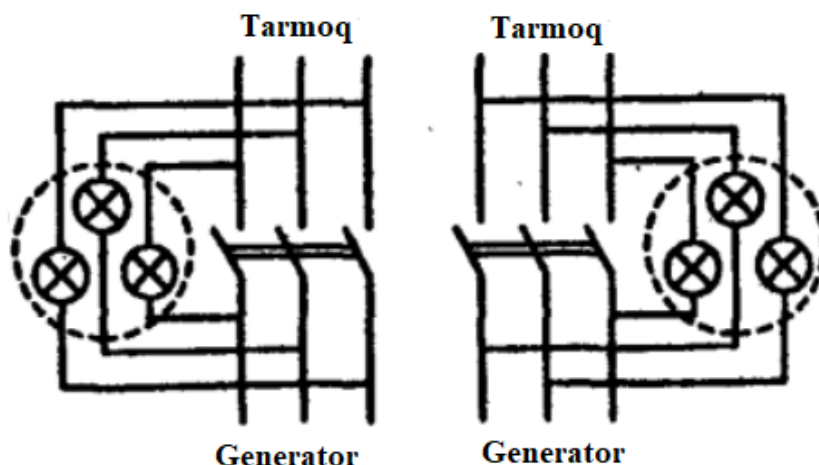
Javob: 21 %.

3.28-masala. Sinxron generator quyidai nominal ma'lumotlarga ega: $S_{nom}=15 \text{ MVA}$, $U_{nom}=10,5 \text{ kV}$, $\cos\varphi_{nom}=0,8$; ($\varphi>0$). Yuklama tushgandagi nominal kuchlanish o'zgarishi aniqlansin, agar salt ishlashda nominal kuchlanishga mos keluvchi qo'zg'atish toki $I_{qo'z.0}=90 \text{ A}$, sohilma induktiv qarshilik $x_{ya.s}=0,97 \Omega$, yakor chulg'aming sinxron induktiv qarshiligi $x_c=1,54 \Omega$ bo'lsa. Generator normal salt ishlash xarakteristikasiga ega.

Javob: 41 %.

3.29-masala. Sinxron generator tarmoq bilan parallel ishlashga ulanmoqda. Vektor diagrammalar yordamida sinxronoskop lampalarining holatlari ko'rsatilsin

(3.13.-rasm) agar qo‘shish momentida sinxronlashning bir yoki bir necha shartlari bajarilmasa:



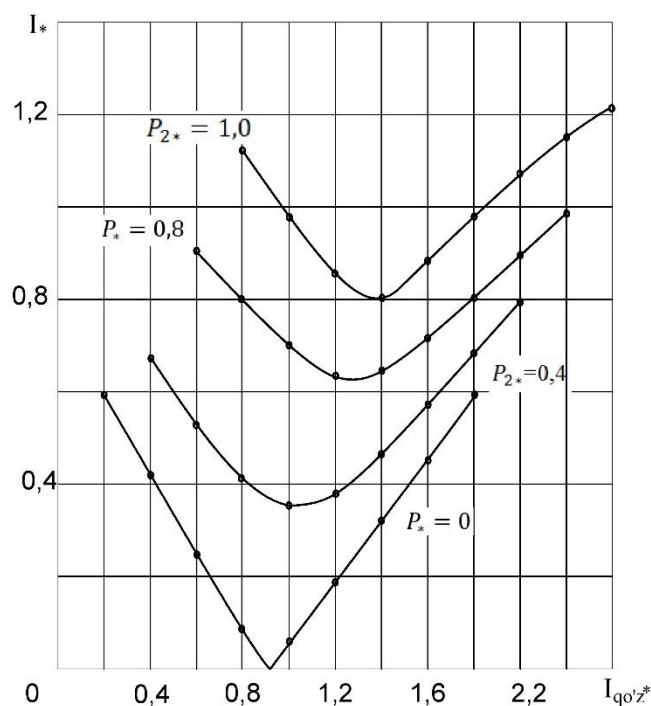
3.13-rasm.

a) $U_{tar} > E_0$; b) $f_{tar} > f_g$; v) $f_{tar} < f_g$; g) $E_0 = U_{tar}$, biroq faza bo‘yicha mos emas; d) $U_{tar} > E_0$; va faza bo‘yicha mos emas; e) fazalar ketma – ketligi bir xil emas. Sinxronlashning barcha shartlari bajarilsa, sinxronoskop lampalari qanday holatda bo‘ladi.

3.30-masala. Quvvati $S_{nom}=250 \text{ MVA}$, va kuchlanishi $U_{nom}=15,75 \text{ kV}$ bo‘lgan sinxron generator tarmoq bilan parallel ishlashga ulanmoqda. Yakor chulg‘aming sinxron induktiv qarshiligi $x_c=1,94 \Omega$. Agar $E_0=U_{tar}$, lekin faza bo‘yicha $\alpha=200^\circ$ burchakka siljigan bo‘lsa, qo‘shish momentidagi yakor toki nisbiy birliklarda aniqlansin. Fazaning qanda siljishida yakor toki maksimal bo‘ladi. Uning ahamiyati qanday?

Javob: $I_* = 1,01$; $\alpha = 180^\circ$; $I_{max*} = 1,026$.

3.31-masala. Tarmoq bilan parallel ishlayotgan sinxron generatorning U simon xarakteristikalaridan foydalanib (7.8-rasm), qo‘zg‘atish tokining har xil va o‘zgarmas qiymatlari $I_{qo'z*} = 0,862; 1,08; 1,2; 1,3$ dagi $\cos\varphi = f(P_*)$ bog‘liqlik hisoblansin va qurilsin. Induktiv va sig‘imli reaktiv quvvatga mos keluvchi egrilik uchastkalari ko‘rsatilsin.



3.14-rasm.

3.32-masala. Nominal kuchlanishda sinxron generator tarmoq bilan parallel ishlamoqda. Uning U simon xarakteristikalaridan foydalanib (4.14-rasm), quvvat koeffitsiyentining $\cos\varphi=1$ va $\cos\varphi=0,8$; ($\varphi>0$) ikkita qiymatidagi generatorning rostlash xarakteristikasi hisoblansin va qurilsin.

3.33-masala. Quvvati $S_{nom}=31,25 MVA$ va kuchlanishi $U_{nom}=10,5 kV$ bo'lgan sinxron generator qo'zg'atish toki $I_{qo'z}=335 A$ da tarmoq bilan parallel ishlamoqda. Salt ishlash rejimida nominal kuchlanishga mos keluvchi qo'zg'atish toki $I_{qo'z0}=175 A$. Yakor chulg'aming to'la induktiv qarshiligi $x_c=15,5 \Omega$. Normal salt ishlash xarakteristikasidan foydalanib, generatorning burchak xarakteristikalari hisoblansin va qurilsin.

Javob: $15,74 \sin \theta MW$.

3.34-masala. Sinxron generatorning nominal quvvati $S_{nom}=1,25 MVA$, nominal aktiv quvvati $P_{nom}=1 MVA$, yakor chulg'aming induktiv qarshiligi $x_{c*}=16,6$; nominal qo'zg'atish tokidagi qo'zg'atish EYuK $E_{0nom}=2,4$. Nominal ish rejimida generatorning burchak xarakteristikasi, statik yuklanishi va yuklama burchagi aniqlansin.

Javob: $1,81 \sin \theta \text{ MW}$, $P_{max^*}=1,81$; $\theta=33,5^0$.

3.35-masala. Tarmoq bilan parallel ishlayotgan sinxron generatorning statik mustahkamligi saqlanadimi, nominal aktiv quvvat $P_*=0,8$ da, agar uni 1,5 martaga yuklansa. Yakor chulgʻamining induktiv qarshiligi $x_{c^*}=1,2$; nominal qoʻzgʻatish tokidagi qoʻzgʻatish EYuK $E_{0nom^*}=2$.

3.36-masala. Olti qutbli sinxron motor maʼlumotlari: $P_{nom}=6,3 \text{ MVA}$, $U_{nom}=6 \text{ kV}$, chastota $f=50 \text{ Hz}$, $\cos\varphi_{nom}=0,9$; ($\varphi < 0$), $\eta=97,1\%$. Rotorning aylanish chastotasi, nominal aylantirish momenti, yakor toki, aktiv va reaktiv quvvatlar aniqlansin.

Javob: $n_2=1000 \frac{\text{ayl}}{\text{min}}$; $M_{nom}=60,2 \text{ kN}\cdot\text{m}$; $I_{ya}=694 \text{ A}$; $P=6,49 \text{ MW}$;
 $Q=3140 \text{ kVAr}$.

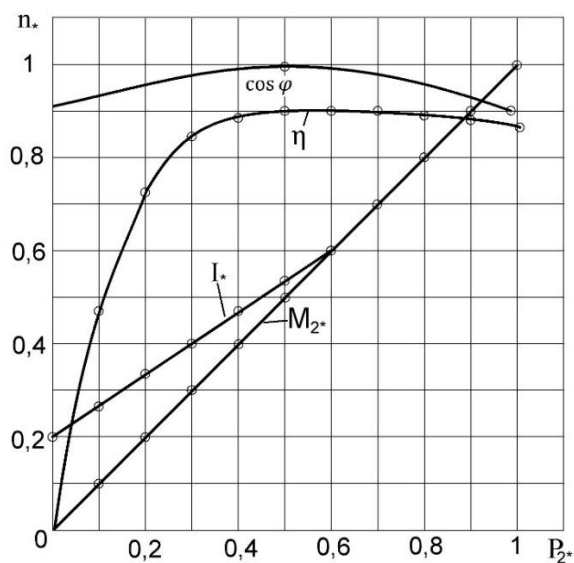
3.37-masala. Sakkiz qutbli sinxron motor maʼlumotlari: $P_{nom}=2 \text{ MW}$, $U_{nom}=6 \text{ kV}$, $\cos\varphi_{nom}=0,9$; ($\varphi < 0$), chastota $f=50 \text{ Hz}$. Maksimal moment karraligi maʼlum $M_{m^*}=2$. Rotorning aylanish burchak tezligi, nominal va maksimal aylantirish momentlari, nominal rejimdagi yuklama burchagi aniqlansin, agar, yakor chulgʻamining sinxron induktiv qarshiligi $x_c=14,4 \Omega$ boʻlsa, toʻyinishni hisobga olmay, tok va kuchlanish vektor diagrammasi qurilsin.

Javob: $\omega=78,5 \frac{\text{rad}}{\text{s}}$; $M_{nom}=25,5 \text{ N}\cdot\text{m}$; $M_{max}=51 \text{ N}\cdot\text{m}$; $\theta=30^0$.

3.38-masala. Nominal quvvati $P_{nom}=75 \text{ kW}$ boʻlgan sakkiz qutbli sinxron motor maksimal moment karraligi 1,65 ga ega. Toʻyinish va ayon qutblikni hisobga olmay, agar qoʻzgʻatish toki $0,5 \cdot I_{qo'z.nom}$ gacha kamaytirilsa, motorni sinxronizmda ushlab turuvchi maksimal moment aniqlansin. Mashina normal salt ishlash xarakteristikasiga ega. Tarmoq chastotasi $f=50 \text{ Hz}$.

Javob: $M_{max}=788 \text{ N}\cdot\text{m}$.

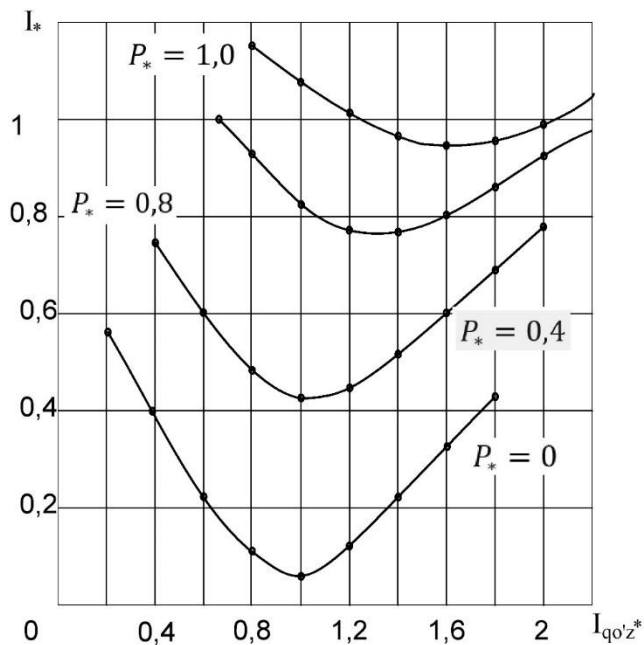
3.39-masala. Sinxron motorning ishchi xarakteristikalaridan foydalanib (3.15-rasm), $P_{2*}=0,25$ va $0,75$ dagi to'la, aktiv va reaktiv quvvatlar aniqlansin. 3.15-rasm chiziladi.



3.15-rasm.

3.4.Nazorat topshiriqlari

Sinxron motorlarning texnik ma'lumotlari 3.1-jadvalda keltirilgan. Rotorning aylanish burchak tezligi, yakorning nominal va ishga tushirish toki, nominal, maksimal va ishga tushirish momenti, to'la quvvat S_{nom} aniqlansin.



3.16-rasm.

Qo'zg'atish toki $I_{o'z^*}$ va foydali quvvat P_{2^*} larning 3.14-jadvalda berilgan qiymatlarida motorning U simon xarakteristikalaridan (3.16-rasm) quvvat koeffitsiyenti aniqlansin. To'yinishni hisobga olmay nominal rejimga mos keluvchi kuchlanish vektor diagrammasi va burchak xarakteristikasi (nominal yuklamadagi nuqtani unda belgilab) qurilsin.

$U_{nom}=6\text{ kV}$, $\cos\varphi_{nom}=0,9$; ($\varphi < 0$) bo'lgan СДН rusumli nominali uch fazali sinxron motorlarning texnik ma'lumotlari

3.14-jadval

| № T/r | Motor rusumi | P_{nom}, MW | $\eta_{nom}, \%$ | $M_{ish.t^*}$ | M_{max^*} | $I_{ish.t^*}$ | $I_{qo'z^*}$ | P_{2^*} |
|----------|--------------|---------------|------------------|---------------|-------------|---------------|--------------|-----------|
| 1 | СДН-14-44-10 | 0,63 | 93,8 | 0,80 | 2,0 | 5,4 | 1,2 | 0,8 |
| 2 | СДН-14-56-10 | 0,80 | 94,4 | 0,85 | 2,1 | 5,7 | 1,4 | 0,8 |
| 3 | СДН-15-39-10 | 1,00 | 94,6 | 0,80 | 2,1 | 5,8 | 1,5 | 0,8 |
| 4 | СДН-15-49-10 | 1,25 | 95,1 | 0,85 | 2,1 | 5,8 | 1,6 | 0,4 |
| 5 | СДН-15-64-10 | 1,60 | 95,7 | 0,95 | 2,1 | 6,2 | 1,4 | 0,8 |
| 6 | СДН-14-48-8 | 0,80 | 84,8 | 0,75 | 2,0 | 5,4 | 1,7 | 0,0 |
| 7 | СДН-14-59-8 | 1,00 | 95,4 | 0,95 | 2,0 | 5,6 | 1,6 | 0,4 |
| 8 | СДН-15-39-8 | 1,25 | 94,8 | 0,85 | 2,0 | 4,8 | 1,5 | 0,4 |
| 9 | СДН-15-49-8 | 1,60 | 95,6 | 1,10 | 2,0 | 5,0 | 1,4 | 0,4 |
| 10 | СДН-15-64-6 | 2,50 | 96,4 | 1,10 | 2,0 | 5,8 | 1,2 | 0,4 |
| 11 | СДН-15-76-6 | 3,20 | 96,6 | 1,10 | 2,0 | 6,1 | 1,4 | 0,0 |
| 12 | СДН-16-84-6 | 5,00 | 96,8 | 1,00 | 2,0 | 6,8 | 1,7 | 0,0 |
| 13 | СДН-15-71-8 | 3,20 | 96,4 | 1,10 | 2,0 | 5,9 | 1,4 | 0,8 |
| 14 | СДН-16-86-8 | 4,00 | 96,7 | 1,30 | 2,0 | 6,5 | 1,5 | 0,8 |
| 15 | СДН-17-76-8 | 6,30 | 96,9 | 0,80 | 2,0 | 6,7 | 1,5 | 0,4 |
| 16 | СДН-14-49-6 | 1,00 | 95,2 | 0,95 | 2,0 | 6,4 | 1,5 | 0,0 |
| 17 | СДН-14-59-6 | 1,25 | 95,8 | 1,30 | 2,0 | 6,3 | 1,5 | 0,4 |
| 18 | СДН-15-39-6 | 1,60 | 95,7 | 0,95 | 2,0 | 4,8 | 1,5 | 0,8 |
| 19 | СДН-15-49-6 | 2,00 | 95,9 | 1,00 | 2,0 | 5,5 | 1,6 | 0,0 |

| | | | | | | | | |
|----|--------------|------|------|------|-----|-----|-----|-----|
| 20 | СДН-16-69-6 | 4,00 | 96,5 | 0,90 | 2,0 | 6,0 | 1,6 | 0,4 |
| 21 | СДН-16-104-6 | 6,30 | 97,1 | 0,95 | 2,0 | 6,9 | 1,6 | 0,8 |
| 22 | СДН-14-59-8 | 1,00 | 95,4 | 0,95 | 2,0 | 5,6 | 1,7 | 0,4 |
| 23 | СДН-15-39-8 | 1,25 | 94,8 | 0,85 | 2,0 | 4,8 | 1,7 | 0,8 |
| 24 | СДН-16-54-8 | 2,50 | 95,8 | 1,30 | 2,0 | 5,3 | 1,5 | 0,8 |

Eslatma: 3.14-jadvalda motor rusumini belgilashdagi oxirgi son mashinaning qutublar sonini bildiradi. Tarmoq chastotasi $f = 50 \text{ Hz}$, yakor chulg'ami yulduzcha usulda ulangan.

IV-BOB. O'ZGARMAS TOK MASHINALARI

4.1. Asosiy tushunchalar

O'zgartgich texnikasining tez rivojlanishi tufayli o'zgaras tok mashinalari ko'pchilik holda motor rejimida ishlatilib, amaliyot uchun muhim bo'lgan quyidagi afzalliklarga ega:

- a) aylanish chastotasining oddiy usulda keng diapazonda silliq o'zgartirilishi;
- b) nisbatan kam tokda kata ishga tushirish momentining hosil bo'lishi;
- c) o'ta yuklama bilan ishlash qobiliyatining nisbatan kattaligi;
- d) har xil bikirlikga xos (aylanish chastotasi kam yoki ko'p o'zgaradigan) mexanik xarakteristikalarini olish mumkunligidir.

O'zgaras tok elektr mashinasi yakor chulg'aming elektr yurituvchi kuchini ifodalovchi tenglama:

$$E = c_E \cdot \Phi \cdot n = \frac{p \cdot N}{60 \cdot a} \cdot \Phi \cdot n \quad (4.1)$$

ko'rinishda bo'lib, bu yerda c_E – mashinaning konstruktiv ma'lumotlariga bog'liq bo'lgan elektr doimiysi; Φ – magnit oqimi, (Vb); n – yakorning aylanish tezligi, ($\frac{ayl}{min}$); p – mashinaning juft qutblar soni; N – yakor chulg'aming aktiv o'tkazgichlar soni; a – yakor chulg'aming parallel shoxobchalar soni.

Generatorning qismalaridagi kuchlanishi:

$$U = E - I_{ya} \cdot R_{ya} \quad (4.2)$$

Motorning qismalaridagi kuchlanishi:

$$U = E + I_{ya} \cdot R_{ya} \quad (4.3)$$

bu yerda E – yakor chulg'amidagi EYuK (V); I_{ya} – yakor toki, (A); R_{ya} – yakor zanjirining qarshiligi, (Ω).

Generatoridan berilayotgan foydali quvvat:

$$P_2 = U \cdot I \quad (4.4)$$

Motorga berilayotgan quvvat:

$$P_1 = U \cdot I \quad (4.5)$$

bunda U – qisimalardagi kuchlanish, (V); I – tashqi zanjirning toki, (A).

Elektromagnit quvvat:

$$P_{e.mag} = U \cdot I_{ya} \quad (4.6)$$

O‘z-o‘zini qo‘zg‘atishli generatorlardagi yakor toki:

$$I_{ya} = I + I_{qo'z} \quad (4.7)$$

Parallel qo‘zg‘atishli motorning toki:

$$I = I_{ya} + I_{qo'z} \quad (4.8)$$

bunda $I_{qo'z}$ – qo‘zg‘atish chulg‘amining toki, (A).

Motorning yakor toki:

$$I_{ya} = \frac{U - E}{R_{ya}} = \frac{U - c_E \cdot \Phi \cdot n}{R_{ya}} \quad (4.9)$$

Motor qo‘zg‘atish zanjirining toki:

$$I_{qo'z} = \frac{U}{R_{qo'z.um}} = \frac{U}{R_{qo'z} + R_{reo}} \quad (4.10)$$

bunda $R_{qo'z.um}$ – qo‘zg‘atish zanjirining umumiy qarshiligi, (Ω); $R_{qo'z}$ – qo‘zg‘atish chulg‘amining qarshiligi, (Ω); R_{reo} – qo‘zg‘atish zanjiridagi reostat qarshiligi, (Ω).

Ishga tushirish reostatining qarshiligi:

$$R_{reo} = \frac{U}{I_{ya.nom}} - R_{ya} \quad (4.11)$$

bunda $I_{ya.nom}$ – yakorning nominal toki, (A).

Motor yakorining aylanish chastotasi:

$$n = \frac{E_{ya}}{c_E \cdot \Phi} = \frac{U - I_{ya} \cdot R_{ya}}{c_E \cdot \Phi} \quad (4.12)$$

Motorning ideal salt ishlashdagi aylanish tezligi:

$$n_{salt} = n_{nom} \cdot \frac{U_{nom}}{U_{nom} - I_{ya.nom} \cdot R_{ya}} \quad (4.13)$$

Motorning mexanik xarakteristika tenglamasi:

$$n = \frac{U}{c_E \cdot \Phi} = \frac{M \cdot R_{ya}}{c_E \cdot c_M \cdot \Phi^2} \quad (4.14)$$

bunda M – motor hosil qiladigan aylanish, $N \cdot m$; c_M – motor momentini nazarda tutuvchi motor doimiysi.

Motorning aylanish momenti:

$$M = \frac{p \cdot N}{2\pi \cdot a} \Phi \cdot I_{ya} = c_M \cdot \Phi \cdot I_{ya} \quad (4.15)$$

$$M = 9,55 \cdot P_2 / n \quad (4.16)$$

bunda P_2 – motor validagi quvvat, (W).

Mashinaning doimiylari o‘rtasidagi bog‘liqlik:

$$c_M = 9,55 \cdot c_E \quad (4.17)$$

Generatorning momentlar tenglamasi:

$$M_g = M_{s.ish} + M_{em} = M_{s.ish} + c_M \cdot \Phi \cdot I_{ya} \quad (4.18)$$

bunda $M_{s.ish}$ – salt ishlash momenti, ($N \cdot m$); M_{em} – elektromagnit tormoz momenti, ($N \cdot m$).

Motorning momentlar tenglamasi:

$$M = c_M \cdot \Phi \cdot I_{ya} = M_{s.ish} + M_2 \pm M_{din} \quad (4.19)$$

bunda M_2 – mexanizmning foydali teskari ta’sir etuvchi momenti, ($N \cdot m$); M_{din} – dinamik moment, ($N \cdot m$);

Tok bo‘yicha karralikli:

$$k_I = I_{ish.t}/I_{nom} \quad (4.20)$$

bunda $I_{ish.t}$ – motorni ishga tushirish toki, (A); I_{nom} – motorning nominal toki, (A).

Moment bo‘yicha karraligi:

$$k_M = M_{ish.t}/M_{nom} \quad (4.21)$$

bunda $M_{ish.t}$ – motorni ishga tushirish momenti, (N·m); M_{nom} – motorning nominal momenti, (N·m).

Generatorning FIK:

$$\eta = \frac{P_{2g}}{P_1} = \frac{P_{2g}}{P_{2g} + \Sigma\Delta P} = \frac{U \cdot I}{U \cdot I + \Sigma\Delta P} = 1 + \frac{\Sigma\Delta P}{U \cdot I + \Sigma\Delta P} \quad (4.22)$$

bunda P_{2g} – generator qismalaridagi quvvat, (W); P_2 – berilayotgan mexanik quvvat, (W); U – generator qismalaridagi kuchlanish, (V); I – yuklama toki, (A).

Motorning FIK:

$$\eta = \frac{P_2}{P_1} = \frac{P_1 - \Sigma\Delta P}{P_1} = \frac{U \cdot I - \Sigma\Delta P}{U \cdot I} = 1 - \frac{\Sigma\Delta P}{U \cdot I} \quad (4.23)$$

bunda P_2 – motor validagi quvvat, (W); P_1 – berilayotgan quvvat, (W); $\Sigma\Delta P$ – umumiy isrof, (W).

Umumiy isrof quyidagi formuladan aniqlanadi:

$$\Sigma\Delta P = \Delta P_{s.ish} + \Delta P_e = \Delta P_{mag} + \Delta P_{mex} + \Delta P_{e.qo'iz} + \Delta P_{e.ya} + \Delta P_{e.cho't} + \Delta P_{qo'sh} \quad (4.24)$$

bunda $\Delta P_{s.ish}$ – salt ishlash isrofi, (W); ΔP_e – elektr isrof, (W); ΔP_{mag} – magnit isrof, (W); ΔP_{mex} – mexanik isrof, (W); $\Delta P_{e.qo'iz}$ – rostlash reostatini hisobga olgandagi qo‘zg‘atish chulg‘amidagi isrof, (W); $\Delta P_{e.ya}$ – yakor chulg‘amidagi isrof, (W); $\Delta P_{e.qo'iz}$ – cho‘tkalardagi elektr isrof, (W); $\Delta P_{qo'sh}$ – qo‘shimcha isrof, (W) (qo‘shimcha isrof deganda qiyinchilik bilan hisoblanadigan isrof tushiniladi va ular motorga berilayotgan quvvatning 1 % ga teng qilib olinadi).

FIK ning maksimal qiymati salt ishlashdagi (doimiy) isroflarning elektr (o‘zgaruvchan) isroflarga tengligi shartidan hosil bo‘ladi, ya’ni:

$$\Delta P_{s.ish} = \Delta P_e \text{ yoki } I_{nom}^2 \sum R = \Delta P_{s.ish} + I_{qo'iz} \cdot U_{qo'iz} \quad (4.25)$$

FIK ning maksimal qiymatiga mos keluvchi yuklama toki:

$$I = \sqrt{\frac{\Delta P_{s.ish} + I_{qo'iz} \cdot U_{qo'iz}}{R_{ya}}} \quad (4.26)$$

bunda $U_{qo'iz}$ – qo‘zg‘atish chulg‘amidagi kuchlanishi, (V).

4.2- Masalalarni yechish bo‘yicha namunalar

4.2.1. Yakor chulg‘ami, EYuK, yakor reaksiyasi

4.1 - masala. O‘zgarimas tok mashinasining yakor chulg‘ami qutblar soni $2p$ da Z_{el} elementar pazlarga ega. 4.1-jadvalda keltirilgan ma’lumotlar bo‘yicha yakor chulg‘aming parametrlari hisoblansin va oddiy to‘lqinsimon yoki oddiy sirtmoqsimon yoyilma sxemasi chizilsin. Sxemada qutblar belgilansin, cho‘tkalar qo‘yilsin va yakor aylanishi yo‘nalishini berib, mashinani generator ish rejimida cho‘tkalarning qutblanishi aniqlansin. Yakor chulg‘aming parallel shoxobchalar sxemasi bajarilsin va uning umumiy qarshiligi aniqlansin, bunda bitta seksiyaning qarshiligi $r_s = 0,02\Omega$ ga tengdeb hisoblansin (seksiyalar bir o‘ramli).

4.1-jadval

| Parametr | Chulg‘am turlari uchun variantlar | | | | | | | | | |
|----------|-----------------------------------|----|----|----|----|----|----|----|----|----|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
| | ПВ | ПВ | ПВ | ПП | ПВ | ПП | ПВ | ПП | ПВ | ПП |
| Z_{el} | 17 | 25 | 33 | 32 | 23 | 24 | 29 | 30 | 27 | 28 |
| $2p$ | 4 | 6 | 8 | 1 | 1 | 8 | 4 | 6 | 4 | 6 |

Yechish varianti 1 (chulg‘am oddiy to‘lqinsimon).

1. Kollektor bo‘yicha chulg‘am qadami (chulg‘am chap yurishli)

$$y_k = y = \frac{k-1}{p} = \frac{17-1}{2} = 8 \text{ бўлинма.}$$

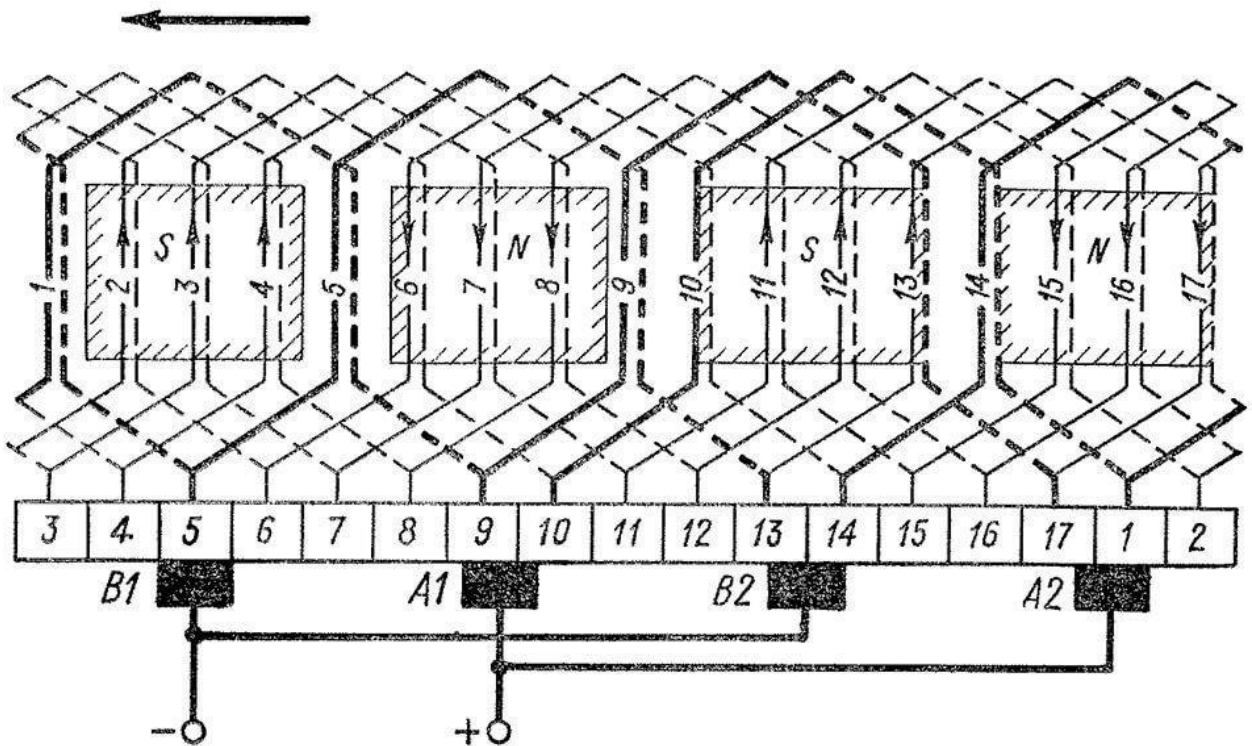
2. Pazlar bo'yicha chulg'amning birinchi qadami

$$y_1 = \left(\frac{Z_{el}}{2p}\right) \pm \varepsilon = \left(\frac{17}{2}\right) - 0,25 = 4 \text{ та паз.}$$

3. Chulg'amning yoyma sxemasi (4.1-rasm). A4 formatli varaqda 17 ta pazni belgilaymiz, har bir pazda yuqori qatlamning aktiv tomonini uzluksiz liniya bilan va pastki qatlamni aktiv tomonini punktir liniya bilan hamda 17 ta kollektorli bo'linmalarni belgilaymiz.

4. Yakor va kollektor bo'yicha birinchi aylanishni (*o'bxod*) birinchi kollektor bo'linmasidan boshlaymiz va aktiv tomonlari 1, 5, 9 va 13 pazlarda joylashgan 1 - va 9 - seksiyalarni yotqizamiz. 9 - seksiya oxirini birinchi bo'linma yonida (chapda) joylashgan. 17 - kollektor bo'linmasi bilan tutashtiramiz. So'ngra 2 - aylanishni amalga oshiramiz va 17- va 8- seksiyalarni yotqizamiz, uni 16 - kollektor bo'linmasi bilan tutashtiramiz, ya'ni chapga yana bir kollektor bo'linmasiga surilamiz. So'ngra 3 - aylanishni bajaramiz va shu tariqa to chulg'amni tutashmaguncha davom ettiramiz, bunda aylanish bo'yicha 10 - seksiyani 1 - seksiyaga va 1- kollektor bo'linmasiga tutashtirib ulaymiz. So'ngra almashib keladigan qutblanishlar bilan to'rtta qutb belgilaymiz va kollektorda cho'tkalarni kollektorga joylashtiramiz, ularni geometrik neytral bo'yicha o'rnatamiz.

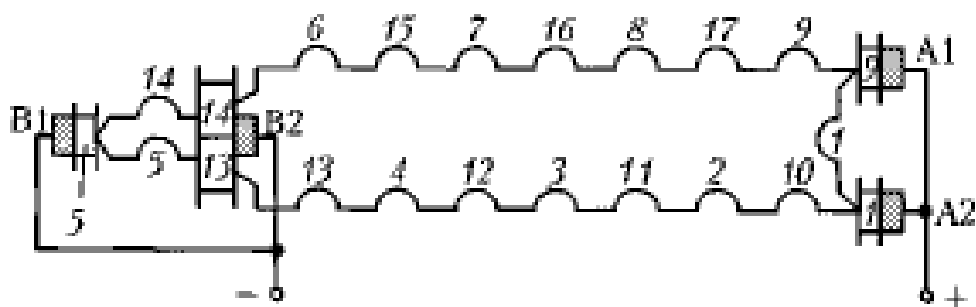
Qutblar chulg'am ustida joylashgan deb hisoblanib, yakorga aylanish yo'nalishini berib, chulg'am seksiyasidagi EYuK yo'nalishini aniqlaymiz. So'ngra parallel shoxobchalar sxemasini quramiz (4.2-rasm). 4.1 – rasmda ko'rsatilgan cho'tkalarga nisbatan kollektor holatida 1-seksiya va A1 va A2 chutklar bilan qisqa tutashgan, 5 - va 14 -seksiyalar esa B1 va B2 cho'tkalar bilan qisqa tutashgan. Qolgan seksiyalar ikkita parallel shoxobchalarda (har bir shoxobchada yettitadan seksiya) joylashadi.



4.1-rasm. Oddiy to'liqsimon chulg'amli yakorning yoyilma sxemasi

O'zgarmas tokdagi "plyus" va "minus" klemmlar orasida o'lchangan chulg'am qarshiligi

$$r_{ya} = \frac{r_s \cdot 7}{2} = \frac{0,02 \cdot 7}{2} = 0,07 \Omega$$



4.2- rasm. Oddiy to'liqsimon chulg'amning parallel shoxobchalari sxemasi

4.2-masala. O'zgarmas tok mashinasi yakorning chulg'ami N aktiv tomonlaridan tuzilgan qutblari soni $2p = 4$, asosiy magnit oqimi Φ , c_e koeffitsiyentidagi yakor chulg'amining elektr yurituvchi kuchi E_0 , yakorning aylanish chastotasi n . 4.3 – jadvaldagi ma'lumotlardan foydalanib qolgan parametrlar aniqlansin.

| Parametr | Chulg'am turlari uchun variantlar | | | | |
|----------------------------|-----------------------------------|------|-------|-------|------|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| | IIБ | III | IIБ | IIБ | III |
| $n_{nom}, \frac{ayl}{min}$ | 1500 | 1200 | | — | 1500 |
| n | 500 | — | | 120 | 240 |
| c_e | — | 12 | 20 | — | — |
| E_a, V | — | — | 400 | 200 | 120 |
| Φ, Vb | 0,008 | 0,14 | 0,020 | 0,025 | — |

Yechish variant 1 (chulg'am oddiy to'liqinsimon, $2a = 2$).

Yakor chulg'amining EYuK

$$E_{ya} = c_e \cdot \Phi \cdot n = 16,6 \cdot 0,008 \cdot 1500 = 200 V$$

bu yerda

$$c_e = p \cdot \frac{N}{60 \cdot a} = 2 \cdot \frac{500}{60 \cdot 1} = 16,6.$$

4.3 – masala. Parallel qo'zg'atishli o'zgaras tok motoring nominal quvvati P_{nom} , U_{tar} kuchlanishli tarmoqqa ulangan; motorning FIK η_{nom} , qutblar soni $2p=4$ bo'lgan yakor chulg'ami oddiy to'liqinsimon ($2a = 2$), qo'zg'atish chulg'amidagi tok $I_{qo'z} = 0,02 \cdot I_{ya.nom}$, bir tomonlama havo bo'shlig'ining kattaligi δ , bo'shliqdagi magnit induksiya B_δ , yakor tishlaridagi magnit induksiya B_{tish} , havo bo'shlig'i koeffitsiyenti $k_\delta = 1,3$; motor magnit o'tkazgichining magnit to'yinish koeffitsiyenti $k_\mu = 1,35$.

Qayd etilgan parametrlarning qiymatlari 4.4 – jadvalda keltirilgan. Ko'ndalang o'q bo'yicha yakor reaksiyasining MYuK ni va motorning nominal yuklamasida ko'ndalang o'q bo'yicha yakor reaksiyasini kompensatsiya qilish

uchun zarur bo'lgan qo'zg'atishning qutb g'altigidagi o'ramlar sonini aniqlash talab etiladi.

4.4-jadval

| Parametr | Variantlar | | | | | | |
|------------------|------------|------|------|------|------|------|------|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 |
| P_{nom}, kW | 100 | 120 | 85 | 30 | 45 | 90 | 75 |
| $U_{cho't}, V$ | 440 | 440 | 220 | 220 | 440 | 440 | 220 |
| $\eta_{nom}, \%$ | 89 | 90 | 87 | 85 | 85 | 87 | 86 |
| N | 280 | 300 | 150 | 120 | 260 | 240 | 120 |
| δ, mm | 2,0 | 2,0 | 1,8 | 1,8 | 1,6 | 1,8 | 1,6 |
| B_{tish}, Tl | 2,2 | 2,3 | 1,8 | 1,9 | 1,7 | 1,9 | 2,0 |
| B_{δ}, Tl | 0,82 | 0,85 | 0,80 | 0,83 | 0,80 | 0,83 | 0,82 |

Yechish variant 1.

1. Nominal rejimda motor iste'mol qiladigan tok

$$I_{nom} = \frac{P_{nom}}{U_{tar} \cdot \eta_{nom}} = 100 \cdot \frac{10^3}{440 \cdot 0,89} = 255 A.$$

2. Qo'zg'atish chulg'amdagi tok

$$I_{qo'z} = 0,02 \cdot I_{nom} = 0,02 \cdot 255 = 5 A.$$

3. Nominal yuklamada yakor zanjiridagi tok

$$I_{ya.nom} = 255 - 5 = 250 A.$$

4. Havo bo'shlig'ining MYuK

$$F_{\delta} = 0,8 \cdot B_{\delta} \cdot \delta \cdot k_{\delta} \cdot 10^3 = 0,8 \cdot 0,82 \cdot 2,0 \cdot 1,3 \cdot 10^3 = 1700 A.$$

5. Salt ishlash rejimida ikki juft qutblardagi qo'zg'atish chulg'amining MYuK

$$F_{qo'z.q} = 2 \cdot F_{\delta} \cdot k_{\mu} = 2 \cdot 1700 \cdot 1,35 = 4590 A.$$

6. Nominal yuklama rejimida juft qutblardagi yakor MYuK

$$F_{ya.nom} = N \cdot I_{ya.nom} / (4a \cdot p) = 280 \cdot 250 / (4 \cdot 1 \cdot 2) = 8750 A.$$

7. $B_{cheg} = 2,2 Tl$ da ko'ndalang o'q bo'yicha yakor reaksiyasi koeffitsiyenti

(5.1-rasmga qarang); $B_{cheg} = 2,2 Tl$ (grafikning yuqori chegarasi) va

$$F_{ya} / F_{qo'z.o} = 8760 / 4590 = 1,9 \text{ koeffitsiyent } k_{ya.r} = 0,22.$$

8. Ko'ndalang o'q bo'yicha yakor reaksiyasi ta'sirini kompensatsiyalovchi qo'zg'atish MYuK ning o'sishi

$$F_{d.q} = k_{ya.r} \cdot F_{ya.nom} = 0,22 \cdot 8750 = 1925 A.$$

9. Motorning nominal yuklamasida yakor reaksiyasi ta'sirini kompensatsiya qilish uchun yetarli bo'lgan juft qutblardagi qo'zg'atishning MYuK

$$F_{qo'z.nom} = F_{qo'z.0} + F_{d.q} = 4590 + 1925 = 6515 A.$$

10. Qo'zg'atish chulg'aming qutb g'altagidagi o'ramlar soni

$$w_{g'.qo'z} = \frac{F_{qo'z.nom}}{2 \cdot I_{qo'z}} = \frac{6515}{2 \cdot 5} = 651 o'ram.$$

4.4 – masala. Nominal kuchlanish U_{nom} va nominal aylanish chastotasi n_{nom} bo'lgan mustaqil qo'zg'atishli o'zgarmas tok generatorining yakori N o'tkazgichlardan tashkil topgan oddiy to'lqinsimon chulg'amga ega. Generatorning qutblar soni $2p = 4$, ishchi temperaturada yakor zanjiri chulg'aming qarshiligi Σr , cho'tkalar ko'mir-grafitli $\Delta U_{cho't} = 2 V$, asosiy magnit oqimi Φ . Qayd etilgan paremetrlarning qiymatlari 5.5-jadvalda keltirilgan. Generatorning nominal ish rejimi uchun aniqlanishi talab etiladi: Yakor EYuK E_a , yuklama toki I_{nom} (yakor reaksiyasining magnitsizlantiruvchi ta'siri hisobga olinmasin), foydali quvvat P_{nom} , elektromagnit quvvat $P_{el.m}$, elektromagnit moment M_{nom} .

Yechish varinat 1.

1. Nominal aylanish chastotasida generator yakorining EYuK

$$E_{ya} = Ce \cdot \Phi \cdot n = 3,33 \cdot 4,8 \cdot 10^{-2} \cdot 1500 = 240 V,$$

bu yerda $Ce = p \cdot \frac{N}{60 \cdot a} = 2 \cdot \frac{100}{60 \cdot 1} = 3,33$; oddiy to'lqinsimon chulg'amda juft parallel shoxobchalar soni $a=1$.

2. Generator uchun kuchlanishlar tenglamasidan foydalanib, nominal rejimdagi yakor tokini aniqlash mumkin

$$U = E_{ya} - I_{ya} \cdot \Sigma r - \Delta U_{cho't},$$

bundan nominal rejimdagi yakor toki

$$I_{ya.nom} = \frac{E_{ya.nom} - U_{nom} - \Delta U_{cho't}}{\Sigma r} = \frac{240 - 230 - 2}{0,175} = 45,7 \text{ A.}$$

3. Generatorning foydali (nominal) quvvati

$$P_{nom} = U_{nom} \cdot I_{ya.nom} = 230 \cdot 45,7 = 10511 \text{ W} \text{ ёки } P_{nom} = 10,51 \text{ kW.}$$

4. Generatorning elektromagnit quvvati

$$P_{el.m} = E_{ya.nom} \cdot I_{ya.nom} = 240 \cdot 45,7 = 10968 \text{ W} \text{ ёки } P_{nom} = 10,97 \text{ kW.}$$

5. Nominal rejimdagi elektromagnit moment

$$M_{nom} = 9,55 \cdot \frac{P_{el.m}}{n_{nom}} = 9,55 \cdot \frac{10968}{1500} = 69,8 \text{ N} \cdot \text{m.}$$

4.2.2. O'zgaras tok generatorlari

4.5 – masala. Quvvati P_{nom} va kuchlanishi U_{nom} bo'lgan mustaqil qo'zg'atishli o'zgaras tok generatori, yakor zanjirida ishchi temperaturaga keltirilgan chulg'amlar qarshiligi Σr ga ega, generatorda $\Theta\Gamma$ rusumidagi elektrgrafitli cho'tkalar qo'llanilgan ($\Delta U_{cho't} = 2,5 \text{ V}$). Yuklama pasayishidagi nominal kuchlanish o'zgarishi aniqlansin. Parametrlar qiymatlari 4.6 – jadvalda keltirilgan.

4.6-jadval

| Parametr | Variantlar | | | | | | |
|----------------------|------------|------|------|------|------|------|------|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 |
| P_{nom}, kW | 20 | 45 | 15 | 90 | 80 | 30 | 18 |
| U_{nom}, V | 230 | 460 | 230 | 460 | 460 | 230 | 230 |
| $\Sigma r, \Omega$ | 0,12 | 0,22 | 0,15 | 0,12 | 0,11 | 0,08 | 0,13 |

Yechish variant 1.

1. Nominal rejimdagi tok

$$I_{ya.nom} = \frac{P_{nom}}{U_{nom}} = \frac{20 \cdot 10^3}{230} = 87 \text{ A.}$$

2. Generator EYuK

$$E_{ya} = U_0 = U_{om} + I_{ya.nom} \cdot \Sigma r + \Delta U_{cho'rt} = 230 + 87 \cdot 0,12 + 2,5 = 243 \text{ V.}$$

3. Yuklama pasayishidagi nominal kuchlanish o'zgarishi

$$\Delta U_{nom} = \frac{U_0 - U_{nom}}{U_{nom}} \cdot 100 = \frac{243 - 230}{230} \cdot 100 = 5,65\%.$$

4.6 – masala. Parallel qo'zg'atishli o'zgarmas tok generatori quyidagi ma'lumotlarga ega: quvvat P_{nom} , kuchlanish U_{nom} , aylanish chastotasi n_{nom} , ishchi temperaturaga keltirilgan yakor zanjiri chulg'amlarining qarshiligi Σr , juft cho'tkalarining cho'tkali kontaktidagi kuchlanish tushuvi $\Delta U = 2 \text{ V}$, qo'zg'atish chulg'ami zanjirining qarshiligi $r_{qo'iz}$, nominal rejimdagi FIK η_{nom} , generator toki I_{nom} , qo'zg'atish zanjiridagi tok $I_{qo'iz}$, yakor zanjiridagi tok $I_{ya.nom}$, yakor EYuK $E_{ya.nom}$, elektromagnit quvvat $P_{el.m}$, nominal yuklamadagi elektromagnit moment M_{nom} , yuritma dvigatel quvvati P_{1nom} .

Qayd etilgan parametrlarning qiymatlari 4.7 – jadvalda keltirilgan. Jadvalda keltirilmagan parametrlarning qiymatlari aniqlansin.

4.7-jadval

| Parametr | Variantlar | | | | |
|----------------------------|------------|------|-----|------|------|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| P_{nom}, kW | 10 | — | — | 18 | 45 |
| U_{nom}, V | 230 | 230 | 460 | 230 | — |
| $n_{nom}, \frac{ayl}{min}$ | 1450 | — | — | 1500 | 1000 |
| $\Sigma r, \Omega$ | 0,3 | 0,15 | — | — | — |
| $r_{qo'iz}, \Omega$ | 150 | 100 | — | — | 92 |
| $\eta_{nom}, \%$ | 86,5 | — | 88 | — | 88 |
| I_{nom}, A | — | 87 | — | — | 97,8 |
| $I_{qo'iz}, A$ | — | — | 4 | — | — |
| $I_{ya.nom}, A$ | — | — | — | 75 | — |
| E_{ya}, V | — | — | 480 | 240 | 477 |

| | | | | | |
|----------------------|---|-----|-----|----|---|
| $P_{el.m.nom}, kW$ | - | - | 55 | — | — |
| $M_{nom}, N \cdot m$ | — | 280 | 525 | — | — |
| P_{nom}, kW | — | 23 | | 21 | — |

Yechish varinat 1.

1. Generator chiqishidagi nominal tok

$$I_{nom} = \frac{P_{nom}}{U_{nom}} = \frac{10000}{230} = 43,5 \text{ A.}$$

2. Qo'zg'atish chulg'amidagi tok

$$I_{qo'z} = \frac{U_{nom}}{r_{qo'z}} = \frac{230}{150} = 1,5 \text{ A.}$$

3. Nominal yuklamada yakor zanjiridagi tok

$$I_{ya.nom} = I_{nom} + I_{qo'z} = 43,5 + 1,5 = 45 \text{ A.}$$

4. Nominal rejimda yakor EYuK

$$E_{ya} = U_{nom} + I_{ya.nom} \cdot \Sigma r + \Delta U_{cho't} = 230 + 45 \cdot 0,3 + 2 = 245,5 \text{ V.}$$

5. Nominal yuklamada generatorning elektrmagnit quvvati

$$P_{el.m.nom} = E_{ya} \cdot I_{ya.nom} = 245,5 \cdot 45 = 11047 \text{ W.}$$

6. Nominal yuklamada generatorning elektromagnit momenti

$$M_{nom} = 9,55 \cdot \frac{P_{el.m.nom}}{\eta_{nom}} = 9,55 \cdot \frac{11047}{1450} = 73 \text{ N} \cdot \text{m.}$$

4.2.3. O'zgarmas tok motorlari

4.7 – masala. Parallel qo'zg'atishli o'zgarmas tok motori quyidagi ma'lumotlarga ega: nominal quvvat P_{nom} , ta'minot kuchlanishi U_{nom} , nominal aylanish chastotasi n_{nom} , yakor zanjiri chulg'amining qarshiligi Σr , qo'zg'atish zanjirining qarshiligi $r_{qo'z}$, cho'tklarning cho'tkali kontaktidagi kuchlanishi tushuvi ($\Delta U_{cho't} = 2 \text{ V}$). Qayd etilgan parametrlar 4.8 – jadvalda keltirilgan.

Aniqlanishi talab etiladi: nominal yuklama rejimida motor iste'mol qiladigan tok I_{nom} , motor yakor zanjiridagi boshlang'ich ishga tushirish toki $2,5 \cdot I_{ya.nom}$ ga teng bo'lishidagi ishga tushirish reostatining qarshiligi $R_{ish.t.r.}$

boshlang'ich ishga tushirish momenti $M_{ish.t}$, salt ishlash rejimidagi aylanish chastotasi n_0 va tok I_0 , yuklama pasayishidagi motor yakorining aylanish chastotasining nominal o'zgarishi. Yakor reaksiyasining ta'siri hisobga olinmasin.

Yechish varinat 1.

1. Nominal yuklamada motor iste'mol qiladigan quvvat

$$P_{1nom} = \frac{P_{nom}}{\eta_{nom}} = \frac{25}{0,85} = 29,4 \text{ kW}.$$

2. Nominal yuklamada motor iste'mol qiladigan tok

$$I_{nom} = \frac{P_{1nom}}{U_{nom}} = \frac{29,4 \cdot 10^3}{440} = 67 \text{ A}.$$

3. Qo'zg'atish chulg'ami zanjiridagi tok

$$I_{qo'z} = \frac{U_{nom}}{r_{qo'z}} = \frac{440}{88} = 5 \text{ A}.$$

4.8-jadval

| Parametr | Variantlar | | | | |
|----------------------------|------------|------|------|------|------|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| P_{nom}, kW | 25 | 15 | 45 | 4,2 | 18 |
| U_{nom}, V | 440 | 220 | 440 | 220 | 220 |
| $n_{nom}, \frac{ayl}{min}$ | 1500 | 1000 | 1500 | 1500 | 1200 |
| $\eta_{nom}, \%$ | 85 | 83,8 | 88 | 78 | 84 |
| $\Sigma r, \Omega$ | 0,15 | 0,12 | 0,13 | 0,15 | 0,12 |
| $r_{qo'z}, \Omega$ | 88 | 73 | 88 | 64 | 73 |

4. Yakor chulg'amidagi tok

$$I_{ya.nom} = I_{nom} - I_{qo'z} = 67 - 5 = 62 \text{ A}.$$

5. Karralik 2,5 berilganda yakorning boshlang'ich ishga tushirish toki

$$I_{ya.ish.t} = 2,5 \cdot I_{ya.nom} = 2,5 \cdot 62 = 155 \text{ A}.$$

6. Ishga tushirish tokining karraligi 2,5 berilgandagi yakor zanjirining talab etilgan qarshiligi

$$R_{ya} = R_{ish.t.r} + \Sigma r = \frac{U_{nom}}{I_{ya.ish.t}} = \frac{440}{155} = 2,83 \Omega.$$

7. Ishga tushirish reostatining qarshiligi

$$R_{ish.t.r} = R_{ya} - \Sigma r = 2,83 - 0,15 = 2,68 \Omega.$$

8. Nominal yuklama rejimida yakor EYuK

$$E_{ya.nom} = U_{nom} - I_{ya.nom} \cdot \Sigma r - \Delta U_{cho't} = 440 - 62 \cdot 0,15 - 2 = 428,7 V.$$

9. $E_{ya} = Ce \cdot \Phi \cdot n$ ifodadan aniqlaymiz,

$$Ce \cdot \Phi = \frac{E_{ya}}{n} = \frac{428,7}{1500} = 0,285$$

koeffitsiyentlar nisbati

$$C_M / Ce = [p \cdot N / (2 \cdot \pi \cdot a)] / [p \cdot N / (60 \cdot a)] = 9,55$$

demak, bu holda

$$Ce \cdot \Phi = 9,55 \cdot Ce \cdot \Phi = 9,55 \cdot 0,285 = 2,72.$$

10. Ishga tushirish tokining karraligi 2,5 berilgandagi boshlang'ich ishga tushirish momenti

$$M_{ish.t} = C_M \cdot \Phi \cdot I_{a.ish.t} = 2,72 \cdot 155 = 422 N \cdot m.$$

11. Nominal yuklamada motor validagi moment

$$M_{2nom} = 9,55 \cdot \frac{P_{nom}}{n_{nom}} = 9,55 \cdot \frac{25 \cdot 10^3}{1500} = 159 N \cdot m.$$

12. Nominal yuklamadagi elektromagnit moment

$$M_{nom} = 9,55 \cdot \frac{P_{el.m}}{n_{nom}} = 9,55 \cdot \frac{26579}{1500} = 169 N \cdot m.$$

bunda nominal yuklamadagi elektromagnit quvvat

$$P_{el.m.nom} = E_{ya.nom} \cdot I_{ya.nom} = 428,7 \cdot 62 = 26579 W.$$

13. Salt ishlash momenti

$$M_o = M_{nom} - M_{2nom} = 169 - 159 = 10 N \cdot m.$$

14. Salt ishlash rejimidagi yakor toki

$$I_{ya.o} = \frac{M_0}{C_M \cdot \Phi} = \frac{10}{2,72} = 3,68 \text{ A.}$$

15. Salt ishlash rejimidagi yakor EYuK ($\Delta U_{cho't} = 0$ qabul qilamiz)

$$E_{ya.o} = U_{nom} - I_{ya.o} \cdot \Sigma r = 440 - 3,68 \cdot 0,15 = 439 \text{ V.}$$

16. Salt ishlash rejimidagi yakorning aylanish chastotasi

$$n_0 = \frac{E_{ya.o}}{C_e \cdot \Phi} = \frac{439}{0,285} = 1540 \frac{ayl}{min}.$$

17. Yuklama pasayishida motor aylanish chastotasining nominal o'zgarishi

$$\Delta n_{nom} = \frac{n_0 - n_{nom}}{n_{nom}} \cdot 100 = \frac{1540 - 1500}{1500} \cdot 100 = 2,66\%.$$

4.8 – masala. 4.9-jadvalda mustaqil qo'zg'atishli o'zgarmas tok motori parametrlarining qiymatlari berilgan: motorning nominal quvvati P_{nom} , yakor zanjirining ta'minot kuchlanishi U_{nom} , qo'zg'atish zanjirining ta'minot kuchlanishi $U_{qo'z}$, nominal rejimda yakorning aylanish chastotasi n_{nom} , yakor zanjirining Σr va qo'zg'atish zanjirining $r_{qo'z}$ qarshiliklari (ishchi temperaturaga keltirilgan), nominal tokdagi cho'tkali kontaktda kuchlanish tushuvi $\Delta U_{cho't} = 2 \text{ V}$, yuklama pasayishidagi kuchlanishning nominal o'zgarishi $\Delta n_{nom} = 8,0\%$, salt ishlash rejimida yakor toki I_0 . Barcha isroflar turlari va motorning FIK aniqlansin.

4.9-jadval

| Parametr | Variantlar | | | | | |
|----------------------------|------------|------|------|------|------|------|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
| P_{nom}, kW | 25 | 40 | 53 | 75 | 16 | 11 |
| U_{nom}, V | 440 | 440 | 440 | 440 | 220 | 220 |
| $U_{qo'z}, V$ | 220 | 220 | 220 | 220 | 220 | 110 |
| I_0, A | 6,0 | 7,5 | 8,0 | 10,8 | 8,7 | 5,8 |
| $\Sigma r, \Omega$ | 0,30 | 0,17 | 0,12 | 0,70 | 0,18 | 0,27 |
| $r_{qo'z}, \Omega$ | 60 | 55 | 42 | 40 | 60 | 27 |
| $n_{nom}, \frac{ayl}{min}$ | 220 | 1000 | 2360 | 3150 | 1500 | 800 |

Yechish variant 1.

1. Salt ishlash rejimidagi aylanish chastotasi

$$n_0 = n_{nom} \cdot \left[1 + \left(\frac{\Delta n_{nom}}{100} \right) \right] = 2200 \cdot \left(1 + \frac{8}{100} \right) = 2376 \frac{ayl}{min}.$$

2. Salt ishlash rejimidagi yakor EYuK (salt ishlash rejimida choʻtkali kontakda kuchlanishning tushuvi juda kichik boʻlgani uchun hisobga olmaymiz)

$$E_{ya.0} = U_{nom} - I_0 \cdot \Sigma r = 440 - 6 \cdot 0,3 = 438,2 V.$$

3. Salt ishlash rejimidagi moment

$$M_0 = 9,55 \cdot E_{ya.0} \cdot I_0 / n_0 = 9,55 \cdot 438,2 \cdot 6 / 2376 = 10,6 N \cdot m.$$

4. Nominal yuklama rejimida motor validagi moment

$$M_{2nom} = 9,55 \cdot \frac{P_{nom}}{n_{nom}} = 9,55 \cdot \frac{25 \cdot 10^3}{2200} = 108,5 N \cdot m.$$

5. Nominal yuklamada motorning elektromagnit momenti

$$M_{nom} = M_0 + M_{2nom} = 10,6 + 108,5 = 119 N \cdot m.$$

6. Nominal yuklama rejimida motorning elektromagnit quvvati

$$P_{el.m.nom} = 0,105 \cdot M_{nom} \cdot n_{nom} = 0,105 \cdot 119 \cdot 2200 = 27490 W.$$

7. Salt ishlash rejimidagi yakor EYuK

$$E_{ya.0} = C_e \cdot \Phi \cdot n_0$$

bundan

$$C_e \cdot \Phi = \frac{E_{ya.0}}{n_0} = \frac{438,2}{2376} = 0,185$$

lekin $C_M / C_e = 9,55$ unda $C_e \cdot \Phi = 9,55 \cdot C_e \cdot \Phi = 9,55 \cdot 0,185 = 1,75$.

Nominal yuklamadagi elektromagnit moment ifodasidan

$$M_{nom} = C_M \cdot \Phi \cdot I_{ya.nom}$$

yakor tokining nominal yuklama rejimidagi qiymatini aniqlaymiz

$$I_{ya.nom} = \frac{M_{nom}}{C_M \cdot \Phi} = \frac{119}{1,77} = 67 A.$$

8. Motorning magnit va mexanik isroflar yigʻindisi salt ishlash momentiga proporsional

$$P_{mag} = P_{mex} = 0,105 \cdot M_0 \cdot n_0 = 0,105 \cdot 10,6 \cdot 2376 = 2644 \text{ W}.$$

9. Yakor chulg'ami zanjiridagi elektr isroflar

$$P_{ya.el} = I_{ya.nom}^2 \cdot \Sigma r = 67^2 \cdot 0,3 = 1347 \text{ W}.$$

10. Yakorning cho'tkali kontaktidagi elektr isroflar

$$P_{cho't.el} = I_{ya.nom} \cdot \Delta U_{cho't} = 67 \cdot 2 = 134 \text{ W}.$$

11. Nominal rejimda yakor zanjiriga keltiriladigan quvvat

$$P_{1ya.nom} = U_{nom} \cdot I_{ya.nom} = 440 \cdot 67 = 29480 \text{ W}.$$

12. Qo'zg'atish chulg'amidagi tok

$$I_{qo'z} = \frac{U_{qo'z}}{r_{qo'z}} = \frac{220}{60} = 3,7 \text{ A}.$$

13. Qo'zg'atish zanjirida quvvat

$$P_{qo'z} = U_{qo'z} \cdot I_{qo'z} = 220 \cdot 3,7 = 814 \text{ W}.$$

14. Nominal yuklama rejimida motorning iste'mol quvvati

$$P_{1nom} = P_{1ya.nom} + P_{qo'z} = 29480 + 814 = 30295 \text{ W} \text{ ёки } P_{1nom} = 30,3 \text{ kW}.$$

15. Nominal rejimda motorning FIK

$$\eta_{nom} = \left(\frac{P_{nom}}{P_{1nom}} \right) \cdot 100 = \left(\frac{25}{30,3} \right) \cdot 100 = 82,5 \text{ \%}.$$

4.9-masala. 4.10 – jadvalda 2Π rusumidagi mustaqil qo'zg'atishli o'zgarmas tok motorlarining katalog ma'lumotlari keltirilgan: Nominal quvvat P_{nom} , yakor zanjiriga keltiriladigan nominal kuchlanish U_{nom} , nominal aylanish chastotasi n_{nom} , motorning FIK η_{nom} , ishchi temperaturaga keltirilgan yakor zanjirining qarshiligi Σr .

Aniqlanishi talab etiladi: Nominal yuklama rejimida yakorning aylanish chastotasi $0,5 \cdot n_{nom}$ ni tashkil etishi uchun yakor zanjiriga ulanishi kerak bo'lgan qo'shimcha rezistor qarshiligi $r_{qo'sh}$; motorning tabiiy va sun'iy mexanik xarakteristiklari qurilsin.

| Motor turi | P_{nom}, kW | U_{nom}, V | $n_{nom}, \frac{ayl}{min}$ | $\eta_{nom}, \%$ | $\Sigma r, \Omega$ |
|------------|---------------|--------------|----------------------------|------------------|--------------------|
| 2ΠO200L | 7,1 | 220 | 750 | 83,5 | 0,48 |
| 2ΠO200M | 20 | 440 | 2200 | 90 | 0,28 |
| 2ΠΦ200M | 30 | 440 | 2200 | 90 | 0,22 |
| 2ΠΦ200L | 20 | 220 | 1000 | 85,5 | 0,18 |
| 2ΠH225M | 37 | 220 | 1500 | 86,5 | 0,07 |
| 2ΠΦ225M | 10 | 220 | 500 | 74,5 | 0,58 |
| 2ΠO180M | 17 | 440 | 3000 | 90 | 0,31 |

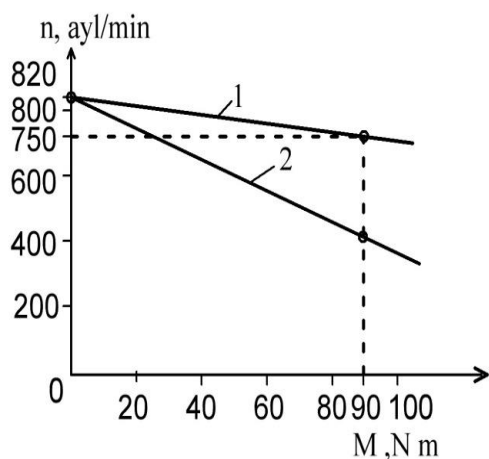
Yechish 2ΠO 200L motor varianti.

1. Nominal yuklama rejimida $n_{nom}=750 \frac{ayl}{min}$ da yakor zanjiridagi tok

$$I_{ya.nom} = \frac{P_{nom}}{\eta_{nom} \cdot U_{nom}} = \frac{7,1 \cdot 10^3}{0,835 \cdot 220} = 38,6 A.$$

2. Nominal yuklama rejimidagi EYuK (choʻtkali kontaktdagi kuchlanish tushuvi hisobga olinmasin).

$$E_{nom} = U_{nom} - I_{ya.nom} \cdot \Sigma r = 220 - 38,6 \cdot 0,48 = 201,5 V.$$



4.3-rasm. O'zgarmas tok

motorining mexanik

xarakteristikasi

3. Ideal salt ishlashdagi aylanish chastotasi (chegaraviy aylanish chastotasi)

$$\begin{aligned} n_{s.ish.0} &= n_{nom} \left(\frac{U_{nom}}{E_{1nom}} \right) = 750 \cdot \left(\frac{220}{201,5} \right) \\ &= 820 \frac{ayl}{min}. \end{aligned}$$

4. Motor validagi nominal moment

$$\begin{aligned} M_{2nom} &= 9,55 \cdot \frac{P_{nom}}{n_{nom}} = 9,55 \cdot \frac{7,1 \cdot 10^3}{750} \\ &= 90 N \cdot m. \end{aligned}$$

Olingan ma'lumotlar bo'yicha tabiiy mexanik xarakteristikani quramiz (4.3-rasm, 1-grafik).

5. $r_{qo'ish}$ rezistorni ulagandagi aylanish chastotasi

$$n'_{nom} = 0,5 \cdot n_{nom} = 0,5 \cdot 750 = 375 \frac{ayl}{min}$$

Hisoblangan ma'lumotlar bo'yicha motorning sun'iy mexanik xarakteristikasini quramiz (5.3-rasm. 2- grafik).

6. $r_{qo'ish}$ rezistor qarshiligi

$$r_{qo'ish} = \left(\frac{U_{nom}}{I_{ya.nom}} \right) \left[1 - \left(\frac{n'_{nom}}{n_{s.ish.0}} \right) \right] - \Sigma r = \left(\frac{220}{38,6} \right) \cdot \left[1 - \left(\frac{375}{820} \right) \right] - 0,48 = 2,61 \Omega.$$

4.10 – masala. Parallel qo'zg'atishli o'zgarmas tok motori $U_{tar}=220 V$ kuchlanishda tarmoqdan ishlamoqda. Motorning texnik ma'lumotlari (4.11-jadvalda) keltirilgan: yuklama nominal toki I_{nom} , nominal aylanish chastotasi n_{nom} , salt ishlash toki I_0 , ishchi temperaturaga keltirilgan yakor zanjiri qarshiligi Σr , qo'zg'atish toki $I_{qo'iz}$ (motor yuklamasining barcha diapozonlarida o'zgarmay qoladi): motorda ko'mir– grafitli cho'tkalar qo'llanilgan (4.1-jadvalga qarang) bo'lib, juft cho'tkalardagi o'tuvchan kuchlanish tushuvi $\Delta U_{cho't} = 2 V$. Ma'lumotlar hisoblansin va FIK η , aylanish chastotasi n , valdagi moment M_2 larni motor validagi quvvat P_2 ga bog'liqlik grafiklari qurilsin. Yakor reaksiyasi hisobga olinmasin va $\Phi = const$ deb hisoblansin.

4.11-jadval

| Parametr | Variantlar | | | | | |
|----------------------------|------------|------|------|-------|------|------|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
| I_{nom}, A | 65 | 86 | 116 | 192 | 44 | 33 |
| $n_{nom}, \frac{ayl}{min}$ | 770 | 690 | 650 | 575 | 840 | 1100 |
| I_0, A | 6,5 | 9,0 | 9,8 | 13,4 | 6,6 | 5,8 |
| $\Sigma r, \Omega$ | 0,28 | 0,17 | 0,11 | 0,055 | 0,42 | 0,57 |
| $I_{qo'iz}, A$ | 1,6 | 2,2 | 2,7 | 4,0 | 1,5 | 1,18 |

Yechish variant 1.

1. Motorning isroflari va FIK

Motorning o'zgarmas (doimiy) isroflariga magnit P_m , mexanik P_{mex} va qo'zg'atishdagi isroflar kiradi

$$P_{qo'z} = U_{tar} \cdot I_{qo'z} = 220 \cdot 1,6 = 352 \text{ W},$$

ya'ni,

$$P_d = P_m + P_{mex} + P_{qo'z}.$$

Motor salt ishlash rejimida ishlayotganda tarmoqdan $P_{1.0} = I_{ya.0} \cdot U_{tar}$ quvvat iste'mol qiladi va bunda o'zgarmas quvvat isroflaridan P_d tashqari o'zgaruvchan quvvat isroflari $P_{o'z}$ sodir bo'ladi. O'zgaruvchan quvvat isroflari yakor zanjiridagi elektr isroflardan

$$P_{el.0} = I_{ya.0}^2 \cdot \Sigma r$$

cho'tkali kontakdagi isroflardan

$$P_{ch.0} = I_{ya.0} \cdot \Delta U_{cho't}$$

va qo'shimcha isroflardan iborat bo'ladi

$$P_{qo'sh} = 0,01 \cdot P_{1.0} = 0,01 \cdot I_0 \cdot U_{tar}$$

Motorning o'zgarmas isroflari

$$\begin{aligned} P_d &= P_{10} - P_{el0} - P_{cho't0} - P_{qo'sh} = I_0 \cdot U_{tar} - \\ &- I_{ya.0}^2 \cdot \Sigma r - I_{ya.0} \cdot \Delta U_{cho't} - 0,01 \cdot I_0 \cdot U_{tar} = \\ &= 6,5 \cdot 220 - 4,9^2 \cdot 0,28 - 4,9 \cdot 2 - 0,01 \cdot 6,5 \cdot 220 = 1399 \text{ W}, \end{aligned}$$

bu yerda salt ishlash rejimidagi yakor toki

$$I_{ya.0} = I_0 - I_{qo'z} = 6,5 - 1,6 = 4,9 \text{ A}.$$

$\eta = f(P_2)$ grafikni qurish uchun zarur bo'lgan ma'lumotlarni olish uchun yuklama koeffitsiyenti $\beta = I_{ya}/I_{ya.nom}$ ga bir qator qiymatlar beramiz va ularning har biri uchun motorning FIK ni aniqlaymiz. Nominal yuklama rejimida yakor zanjiridagi tok

$$I_{ya.nom} = I_{nom} - I_{qo'z} = 65 - 1,6 = 63,4 \text{ A}.$$

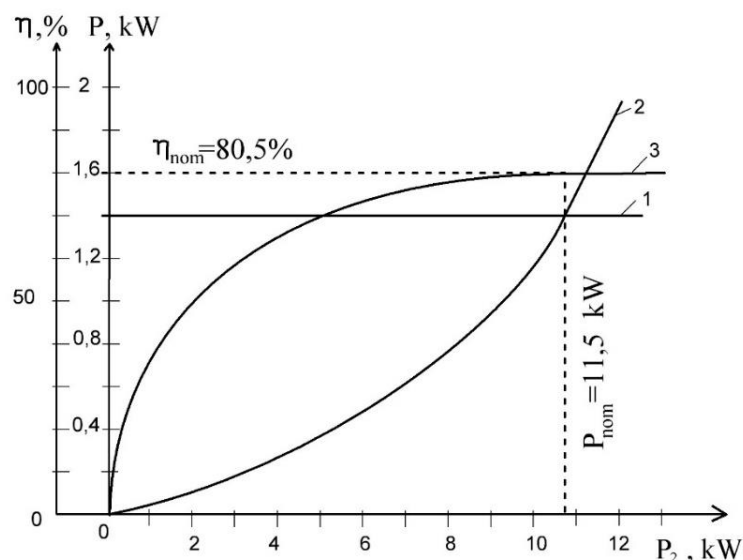
Yuklama koeffitsiyentining minimal qiymati salt ishlash rejimiga mos keladi $\beta = I_{ya}/I_{ya.nom} = 4,9/63,4 \approx 0,08$. Yuklama koeffitsiyentining quyidagi qiymatlarini qabul qilamiz: $\beta = 0,08; 0,25; 0,50; 0,75; 1,0; 1,20$.

Barcha hisobiy formulalar va hisoblash natijalari 4.12-jadvalda keltirilgan.

4.12-jadval

| Parametr | Parametr qiymati | | | | | |
|---|------------------|-------|--------|--------|-------|-------|
| $\beta=I_{ya}/I_{ya.nom}$ | 0,08 | 0,25 | 0,50 | 0,75 | 1,0 | 1,20 |
| $I_{ya}=I_{ya.nom}\cdot\beta,$ A | 4,9 | 15,85 | 31,7 | 47,55 | 63,4 | 76,1 |
| $I = I_{ya}+I_{qo'z}, A$ | 6,5 | 17,45 | 33,3 | 49,15 | 65 | 77,7 |
| $P_1=U_{tar}\cdot I_{qo'z}, W$ | 1430 | 3839 | 7326 | 10813 | 14300 | 17094 |
| P_d, W | 1399 | 1399 | 1399 | 1399 | 1399 | 1399 |
| $P_{el0}=I_{ya.0}^2 \cdot \Sigma r, W$ | 6,7 | 70,34 | 281,16 | 633,1 | 1125 | 1621 |
| $P_{qo'sh}=0,01\cdot P_{1.0}, W$ | 14,3 | 38,39 | 73,26 | 108,13 | 143 | 170,9 |
| $P_{ch.0}=I_{ya.0}\cdot\Delta U_{cho't}, W$ | 9,8 | 31,7 | 63,4 | 95,1 | 126,8 | 152,2 |
| $P_{o'z}=P_{el}+P_m+P_{qo'sh},$ W | 33,5 | 140,4 | 417,8 | 836,3 | 1395 | 1944 |
| $\Sigma P = P_d + P_{o'z},$ W | 1430 | 1539 | 1817 | 2235 | 2794 | 3343 |
| $P_2 = P_1 - \Sigma P, W$ | 0 | 2300 | 5509 | 8578 | 11506 | 13751 |
| $\eta=(P_2/P_1)100$ | 0 | 59,9 | 75,2 | 79,3 | 80,5 | 80,4 |

4.12-jadval ma'lumotlari bo'yicha $P_d=f(P_2)$, $P_{o'zg}=f(P_2)$, va $\eta=f(P_2)$ grafiklari qurilgan. O'zgarmas va o'zgaruvchan isroflar grafiklarining kesishish nuqtasi (5.4-rasm. 1 va 2 grafiklar) isroflar tengligiga mos keladi, demak, bu nuqta FIK ning maksimal qiymati $\eta_{max}=80,5\%$ ga mos tushadi. Ko'rsatilgan nuqta motorning nominal yuklamasi bilan mos keladi ($\beta=1$) va demak, $\eta_{nom}=\eta_{max}=80,5\%$).



4.4-rasm. Parallel qo'zg'atishli o'zgaras tok motorining o'zgaras isroflar (1), o'zgaruvchan isroflar (2) va FIK (3)

2. Aylanish chastotasi va valdagi momentni motor yuklamasiga bog'liqligi.
O'zgaras tok motorining aylanish chastotasi

$$n = U_{nom} - I_{ya.nom} \cdot \Sigma r / c_e \cdot \Phi$$

ifoda bilan aniqlanadi.

Motorning nominal yuklama rejimi parametrlaridan foydalanib,

$$c_e \cdot \Phi = \frac{U_{tar} - I_{ya.nom} \cdot \Sigma r}{n_{nom}} = \frac{220 - 63,4 \cdot 0,28}{770} = 0,263$$

kattalikni aniqlaymiz. $c_e \cdot \Phi = 0,263$ olingan qiymatni motor uchun o'zgaras deb qabul qilamiz, negaki masala sharti bo'yicha $\Phi = const$. 4.12-jadval ma'lumotlaridan foydalanib, yuklama koeffitsiyentini $\beta = I_{ya} / I_{ya.nom}$ qabul qilingan qiymatlari uchun motorning aylanish chastotasini hisoblaymiz.

Hisoblash formulalari va hisob natijalari 4.13 – jadvalda keltirilgan.

| Parametr | Parametr qiymati | | | | | |
|--|------------------|-------|-------|-------|--------|-------|
| $\beta = I_{ya}/I_{ya.nom}$, | 0,08 | 0,25 | 0,50 | 0,75 | 1,0 | 1,20 |
| $I_{ya} = I_{ya.nom} \cdot \beta$, A | 4,9 | 15,85 | 31,7 | 47,55 | 63,4 | 76,1 |
| $I_{ya.nom} \cdot \Sigma r$, V | 1,37 | 4,44 | 8,87 | 13,31 | 17,75 | 21,31 |
| $E = U_{tar} - I_{ya.nom} \cdot \Sigma r$, V | 218,6 | 215,6 | 211,1 | 206,7 | 202,25 | 198,7 |
| $n = E_{ya}/c_e \cdot \Phi$, ayl/min | 831 | 820 | 803 | 786 | 769 | 755 |
| P_2, W | 0 | 2300 | 5509 | 8578 | 11506 | 13751 |
| $M_2 = 9,55 \cdot \frac{P_2}{n}$, N·m | 0 | 26,8 | 65,5 | 104,2 | 143 | 174 |

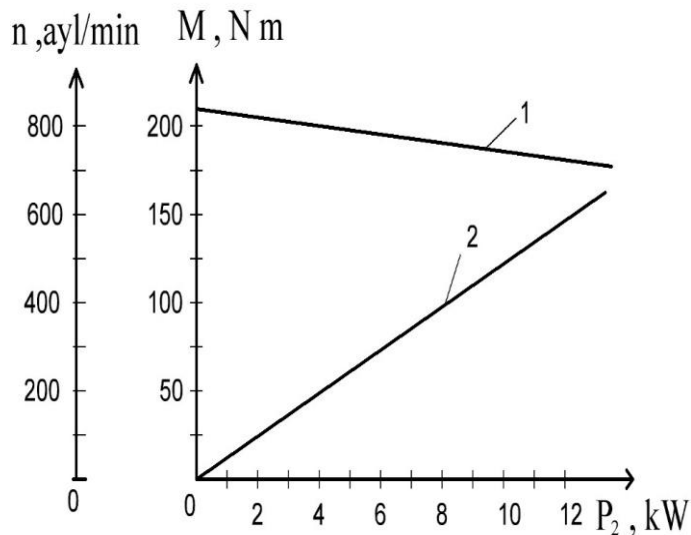
3. Valdagi moment M_2 ni motor yuklamasiga bog‘liqligi.

Motor validagi momentni aniqlash ifodasi

$$M_2 = 9,55 \cdot \frac{P_2}{n}$$

4.12-jadval ma’lumotlaridan foydalanib, yuklamasi koeffitsiyenti $\beta = I_{ya}/I_{ya.nom}$ ning qabul qilingan qiymatlari uchun M_2 moment qiymatlarini hisoblaymiz. Hisob natijalarini 5.13 – jadvalga kiritamiz, so‘ngra esa 4.5 – rasmda taqdim etilgan $n=f(P_2)$ va $M_2=f(P_2)$ bog‘liqliklar grafiklarini quramiz.

4.11 – masala. Texnik ma’lumotlari 4.10 – jadvalda keltirilgan mustaqil qo‘zg‘atishli o‘zgarmas tok motori uchun uch pog‘onali ishga tushirish reostati hisoblansin.



4.5-rasm. Aylanish chastotasi (1) valdagi momentning (2) parallel qo'zg'atishli o'zgarmas tok motori yuklamasiga bog'liqlik grafigi

Yechish 2Π0200L motor varianti. ($P_{nom}=7,1$ kW; $U_{nom}=220$ V; $\eta_{nom}=82,5$; $\Sigma r=0,48$ Ω; $I_{ya.nom}=38,6$ A).

1. Boshlang'ich ishga tushirish tokining qiymatini

$$I_1 = 2,0 \cdot I_{ya.nom} = 2,0 \cdot 38,6 = 77,2 \text{ A.}$$

qayta ulash tokining qiymatini $I_2=I_{ya.nom}=38,6$ A qabul qilamiz.

2. Toklar nisbati

$$\lambda = I_1/I_2 = 2,0.$$

3. Ishga tushirish reostati uchinchi pog'ona rezistorining qarshiligi

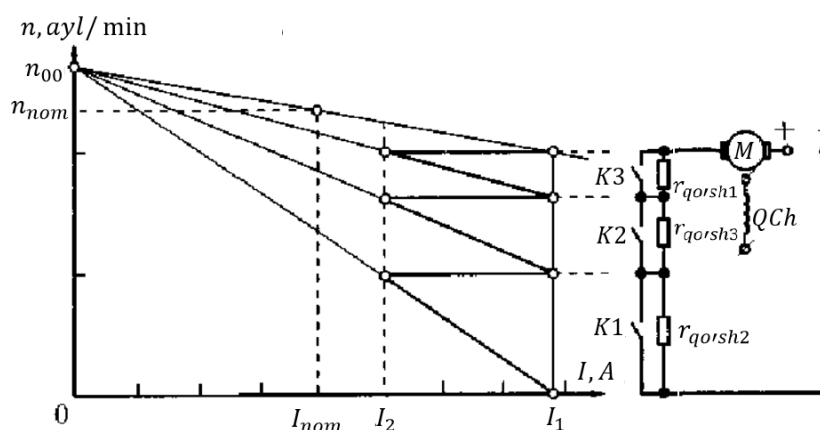
$$r_{qo'ish3} = \Sigma r \cdot (\lambda - 1) = 0,48 \cdot (2,0 - 1) = 0,48 \text{ } \Omega.$$

4. Ishga tushirish reostati ikkinchi pog'ona rezistorining qarshiligi

$$r_{qo'ish2} = r_{qo'ish3} \cdot \lambda = 0,48 \cdot 2,0 = 0,96 \text{ } \Omega.$$

5. Ishga tushirish reostati birinchi pog'ona rezistorining qarshiligi

$$r_{qo'ish1} = r_{qo'ish2} \cdot \lambda = 0,96 \cdot 2,0 = 1,92 \text{ } \Omega.$$



4.6-rasm. O'zgarmas tok motorining uch pog'onali ishga tushirish reostat yordamida ishga tushirish deagrammasi

6. Barcha uchta rezistor ketma-ket ulanganda birinchi pog'onadagi ishga tushirish reostatining qarshiligi

$$R_{ish.t.r1} = r_{qo'sh1} + r_{qo'sh2} + r_{qo'sh3} = 1,92 + 0,96 + 0,48 = 3,36 \Omega.$$

7. Ishga tushirish reostatining ikkinchi pog'onadagi qarshiligi

$$R_{ish.t.r2} = r_{qo'sh2} + r_{qo'sh3} = 0,96 + 0,48 = 1,44 \Omega.$$

8. Ishga tushirish reostatining uchinchi pog'onadagi qarshiligi

$$R_{ish.t.r3} = r_{qo'sh3} = 0,48 \Omega.$$

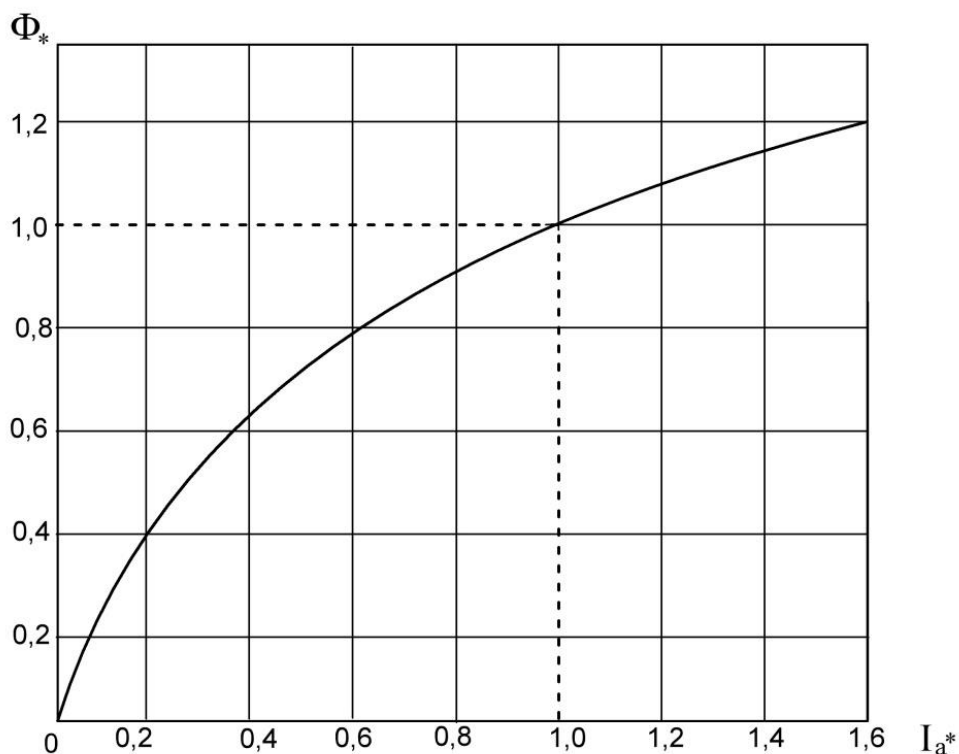
4.12 – masala. Д rusumidagi P_{nom} quvvatga ega bo'lgan ketma-ket qo'zg'atishli o'zgarmas tok kran motori 220 V kuchlanishli tarmoqqa ulangan va nominal yuklamada n_{nom} aylanish chastotasini hosil qiladi. Motor ma'lumotlarini hisoblash va yuklama tokini motor yuklama momentiga bog'liqlik grafisini $I_{ya}=f(M)$ qurish talab etiladi. Salt ishlash momenti hisobga olinmasin. Qayd etilgan parametrlar 4.14 – jadvalda keltirilgan.

4.14-jadval

| Dvigatel tipi | P_{nom}, kW | U_{nom}, V | $\eta_{nom}, \%$ | $n_{nom}, \frac{ayl}{min}$ |
|---------------|---------------|--------------|------------------|----------------------------|
| Д-806 | 22 | 220 | 85 | 575 |
| Д-808 | 37 | 220 | 88 | 525 |
| Д-810 | 55 | 440 | 89 | 500 |

| | | | | |
|-------|-----|-----|------|-----|
| Д-812 | 75 | 440 | 89,5 | 475 |
| Д-814 | 110 | 440 | 90 | 460 |
| Д-32 | 12 | 220 | 80 | 675 |
| Д-41 | 16 | 220 | 82 | 650 |

Yechish Д-806 motor varianti. Ketma-ket qo'zg'atishli o'zgarmas tok motorida yakor toki bir vaqtning o'zida qo'zg'atish toki ham bo'lganligi sababli, motorning asosiy magnit oqimi Φ yuklama toki I_{ya} ga bog'liq bo'ladi. Biroq motorning magnit tizimi magnit to'yinish holatida bo'lgani uchun bu bog'liqlik to'g'ri chiziqli emas.



4.7-rasm. Motor yakor zanjiridagi tokining asosiy magnit oqimiga bog'liqligi

4.7-rasmda nisbiy qiymatlardagi magnit oqimi $\Phi_* = \Phi / \Phi_{nom}$ ning yakor toki $I_{ya*} = I_{ya} / I_{ya.nom}$ ga bog'liqlik grafiqi ko'rsatilgan (masalani yechishda foydalanish uchun).

Yuklama toki I_{ya} va moment M o'rtasidagi bog'liqlik

$$I_{ya} = \frac{M}{C_M \cdot \Phi}$$

Tok va momentning nominal qiymatlari uchun bu bog'liqlik ushbu ko'rinishga ega

$$I_{ya.nom} = \frac{M_{nom}}{C_M \cdot \Phi_{nom}}$$

Yuklama toki $I_{ya*} = I_{ya}/I_{ya.nom}$ ni nisbiy birligidagi qiymatiga o'tib ushbuga ega bo'lamiz

$$I_{ya*} = \frac{M/(C_M \cdot \Phi)}{M_{nom}/C_M \cdot \Phi_{nom}} = \frac{M/\Phi}{M_{nom}/\Phi_{nom}} = \left(\frac{M}{M_{nom}}\right) \left(\frac{\Phi_{nom}}{\Phi}\right) = \frac{M_*}{\Phi_*}$$

yoki

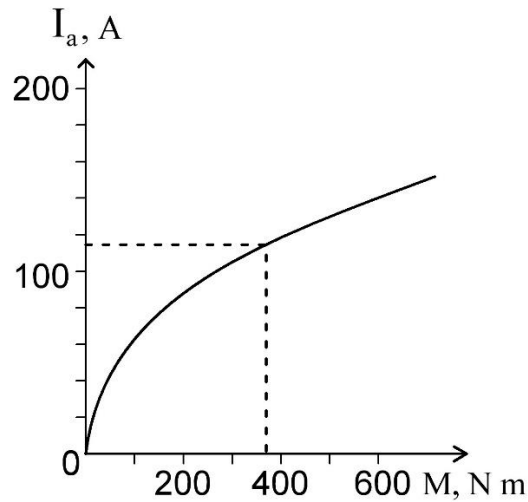
$$I_{ya*} \cdot \Phi_* = M_*$$

Yuklama tokini bir qator nisbiy qiymatlarini I_{ya*} berib borib, $\Phi_* = f(I_{ya*})$ grafikdan Φ_* aniqlanadi, so'ngra bu kattaliklar ko'paytirilib M_* ni qiymati olinadi. Nisbiy kattaliklar nominallarga ko'paytirilib tok I_{ya} (A) va moment M (N·m) larning nomlangan qiymatlari olinadi.

Hisob natijalari 4.15-jadvalga kiritiladi, so'ngra 5.8-rasmda ko'rsatilgan talab etilgan $I_{ya} = f(M)$ grafigi quriladi.

4.15-jadval

| Parametr | Parametr qiymati | | | | |
|----------------|------------------|------|-----|------|-----|
| I_{ya*} | 0,2 | 0,6 | 1,0 | 1,2 | 1,6 |
| Φ_* | 0,4 | 0,8 | 1,0 | 1,08 | 1,2 |
| M_* | 0,08 | 0,48 | 1,0 | 1,3 | 1,9 |
| I_{ya}, A | 24 | 71 | 118 | 142 | 189 |
| $M, N \cdot m$ | 28 | 175 | 365 | 475 | 694 |



4.8-rasm. Ketma-ket qo'zg'atishli o'zgarmas tok motori uchun $I_{ya}=f(M)$ bog'liqlik grafigi

Yakor tokining nominal qiymati

$$I_{ya.nom} = \frac{P_{nom}}{\eta_{nom} \cdot U_{nom}} = \frac{22 \cdot 10^3}{0,85 \cdot 220} = 118 \text{ A.}$$

Momentning nominal qiymati

$$M_{nom} = \frac{9,55 \cdot P_{nom}}{n_{nom}} = \frac{9,55 \cdot 10^3}{575} = 365 \text{ N} \cdot \text{m.}$$

4.13-masala. Д rusumidagi ketma-ket qo'zg'atishli o'zgarmas tok kran motori kuchlanishi 220 V li tarmoqdan ishlamoqda, uning nominal ma'lumotlari 4.16 – jadvalda keltirilgan: Nominal quvvati P_{nom} ; tok I_{nom} ; aylanish chastotasi n_{nom} . Hisoblashlar bajarilsin va motorning tabiiy ($r_{qo'sh}=0$) hamda sun'iy ($r_{qo'sh}=2\Sigma r$) mexanik xarakteristikallari qurilsin.

4.16-jadval

| Parametr | Motor parametrining qiymati | | | | |
|----------------------------|-----------------------------|-----|-----|-----|------|
| | D12 | D21 | D22 | D31 | D32 |
| P_{nom}, kW | 2,5 | 4,5 | 6,0 | 8,0 | 12,0 |
| I_{nom}, A | 16 | 28 | 36 | 45 | 69 |
| $n_{nom}, \frac{ayl}{min}$ | 1100 | 900 | 850 | 800 | 675 |

Yechish D-12 motor varianti. Ketma-ket qo'zg'atishli o'zgarmas tok motorining mexanik xarakteristikasini qurish uchun kerak bo'lgan ma'lumotlarini olishda ketma – ket qo'zg'atishli o'zgarmas tok motorlarning 4.5-rasmda keltirilgan universal tabiiy xarakteristikalaridan foydalanamiz. Shu maqsadda tokning bir qator nisbiy qiymatlarini berib boramiz (5 tadan kam bo'lmagan) va universal xarakteristikalardan mos keluvchi moment M_* hamda aylanish chastotasi n_* larning nisbiy qiymatlarini aniqlaymiz.

So'ngra bu kattaliklarning nominal qiymatlaridan foydalanib, ko'rsatilgan kattaliklarning nomlangan qiymatlari formulalar bo'yicha aniqlanadi:

$$I = I_{nom} \cdot I_*; n_2 = n_{nom} \cdot n_*; M = M_{nom} \cdot M_*;$$

hisob natijalari 4.17 – jadvalga kiritiladi.

1. Motorning nominal FIK

$$\eta_{nom} = \frac{P_{nom}}{U \cdot I_{nom}} = \frac{2500}{220 \cdot 16} = 0,71.$$

2. Motorning nominal qarshiligi

$$R_{nom} = \frac{U}{I_{nom}} = \frac{220}{16} = 13,75 \Omega.$$

3. Yakor zanjiri qarshiligi

$$\Sigma r = 0,75 \cdot R_{nom} \cdot (1 - \eta_{nom}) = 0,75 \cdot 13,75 \cdot (1 - 0,71) = 3 \Omega.$$

4. Yakor zanjiridagi tashqi rezistor qarshiligi

$$r_{qo'ish} = 2 \cdot \Sigma r = 2 \cdot 3 = 6 \Omega.$$

5. Dvigatelning nominal momenti

$$M_{nom} = \frac{9,55 \cdot 10^3 \cdot P_{nom}}{n_{nom}} = \frac{9,55 \cdot 10^3 \cdot 2,5}{1100} = 21,7 N \cdot m.$$

6. 17–jadval ma'lumotlaridan foydalanib

Motorning nominal FIK

$$\eta_{nom} = \frac{P_{nom}}{U \cdot I_{nom}} = \frac{2500}{220 \cdot 16} = 0,71.$$

| Parametr | Parametr qiymati | | | | |
|----------------------------|------------------|------|------|-------|-------|
| I_* | 0,4 | 0,6 | 1 | 1,6 | 2,0 |
| M_* | 0,23 | 0,55 | 1,0 | 1,9 | 2,58 |
| n_{tab*} | 1,83 | 1,32 | 1,0 | 0,73 | 0,62 |
| I, A | 6,4 | 9,6 | 16 | 25,6 | 32 |
| $M, N \cdot m$ | 5 | 11,9 | 21,7 | 41,2 | 56 |
| $n_{tab, \frac{ayl}{min}}$ | 2013 | 1452 | 1100 | 803 | 682 |
| $E_{ya.tab}, V$ | 201 | 191 | 172 | 143 | 124 |
| $E_{ya.sun}, V$ | 162 | 134 | 76 | -10 | -68 |
| $E_{ya.sun}/E_{ya.tab}$ | 0,80 | 0,70 | 0,44 | -0,06 | -0,55 |
| $n_{tab, \frac{ayl}{min}}$ | 1610 | 1016 | 484 | -48 | -68 |

Motorning nominal qarshiligi

$$R_{nom} = \frac{U}{I_{nom}} = \frac{220}{16} = 13,75 \Omega.$$

sun'iy xarakteristikalarining parametrlari aniqlanadi, buning uchun quyidagi kattaliklar hisoblanadi:

Tabiiy xarakteristika rejimidagi yakor EYuK

$$E_{ya.tab} = U - I \cdot \Sigma r;$$

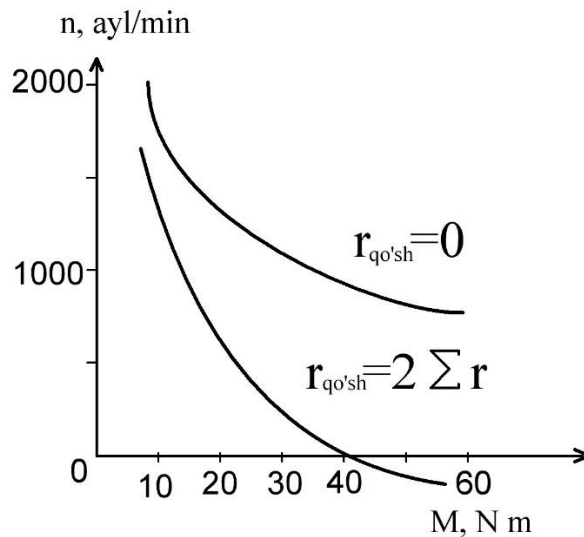
Sun'iy xarakteristika rejimidagi yakor EYuK.

$$E_{ya.sun} = U - I \cdot (\Sigma r + r_{qo'sh});$$

Sun'iy xarakteristika rejimidagi aylanish chastotasi

$$n_{sun} = n_{tab} \cdot \left(\frac{E_{ya.sun}}{E_{ya.tab}} \right).$$

I_* tokning barcha qiymatlari uchun keltirilgan formulalar bo'yicha hisoblar bajarilib, natijalar 4.17-jadvalga kiritiladi va motorning mexanik xarakteristikalari qo'riladi.



4.9-rasm. Ketma –ket qo'zg'atishli o'zgarmas tok motorining mexanik xarakteristikalari

4.14 – masala. Ketma-ket qo'zg'atishli o'zgarmas tok motori kuchlanishi U_{nom} bo'lgan tarmoqqa ulangan va nominal yuklama rejimida I_{nom} tok iste'mol qiladi, cho'tkali kontaktdagi kuchlanish tushuvi $\Delta U_{chort} = 2 V$.

Motorni ishchi xarakteristikalaridan (2-ilovaga qarang) va 4.18-jadval parametrlar qiymatlaridan foydalanib aniqlansin:

a) Yakor zanjirining qarshiligi va

Motorning nominal FIK

$$\eta_{nom} = \frac{P_{nom}}{U \cdot I_{nom}} = \frac{2500}{220 \cdot 16} = 0,71.$$

Motorning nominal qarshiligi

$$R_{nom} = \frac{U}{I_{nom}} = \frac{220}{16} = 13,75 \Omega.$$

Motorning nominal FIK

$$\eta_{nom} = \frac{P_{nom}}{U \cdot I_{nom}} = \frac{2500}{220 \cdot 16} = 0,71.$$

Motorning nominal qarshiligi

$$R_{nom} = \frac{U}{I_{nom}} = \frac{220}{16} = 13,75 \Omega.$$

motorning $n=f(M_2)$ tabiiy mexanik xarakteristikasi qurilsin;

b) Yakor zanjiriga ketma-ket qarshiligi $r_{qo'sh} = 3 \cdot \Sigma r$ rezistor ulangandagi sun'iy mexanik xarakteristika qurilsin va ma'lumotlar hisoblansin.

4.18-jadval

| Parametr | Variantlar | | | |
|-----------------|---------------------|---------------------|---------------------|----------------------|
| | 1.(Ilova. 2.7-rasm) | 2.(Ilova. 2.8-rasm) | 3.(Ilova. 2.9-rasm) | 4.(Ilova. 2.10-rasm) |
| U_{nom}, V | 220 | 440 | 220 | 442 |
| $I_{ya.nom}, A$ | 160 | 210 | 250 | 500 |

Masalani yechishda motorning magnit va mexanik isroflari aylanish chastotasining barcha diapazonlardagi o'zgarishida o'zgarmas bo'lib qoladi deb hisoblansin; qo'shimcha isroflar hisobga olinmasin.

Yechish variant 1

1. FIK ning maksimal qiymati $\eta_{max} = 88\%$ yakor tokining $I_{ya} = 100 A$ qiymatiga mos keladi; bunda motordagi umumiy isroflar yig'indisi motor iste'mol quvvatini 12 % ni tashkil etadi

$$P_1 = U_{nom} \cdot I_{ya} = 220 \cdot 100 = 22000 W,$$

yoki

$$\Sigma P = 22000 \cdot 0,12 = 2640 W.$$

2. Ma'lumki maksimal FIK ga mos keluvchi motor yuklamasida yakor zanjiridagi $P_{ya.el}$ elektr siroflar va cho'tkalar kontaktidagi isroflar $P_{cho't.el}$ o'zgaruvchan isroflarga kirib, ular doimiy isroflar, magnit P_{mag} va mexanik isroflar P_{mex} ga tengdir, ya'ni

$$(P_{ya.el} + P_{cho't.el}) = (P_{mag} + P_{mex}) = 0,5 \cdot 2640 = 1320 W.$$

3. Cho'tkali kontaktdagi elektr isroflar

$$P_{cho't.el} = I_{ya} \cdot \Delta U_{cho't} = 100 \cdot 2 = 200 W.$$

4. Yakor zanjiridagi elektr isroflar

$$P_{ya.el} = (P_{ya.el} + P_{cho't.el}) - P_{cho't.el} = 1320 - 200 = 1120 W.$$

5. Yakor zanjiridagi elektr isroflar yakor tokining kvadratiga proporsional

$$P_{ya.el} = I_{ya}^2 \cdot \Sigma r$$

bundan yakor zanjirining chulg‘amlar qarshiligi

$$\Sigma r = \frac{P_{ya.el}}{I_{ya}^2} = \frac{1120}{100^2} = 0,112 \Omega.$$

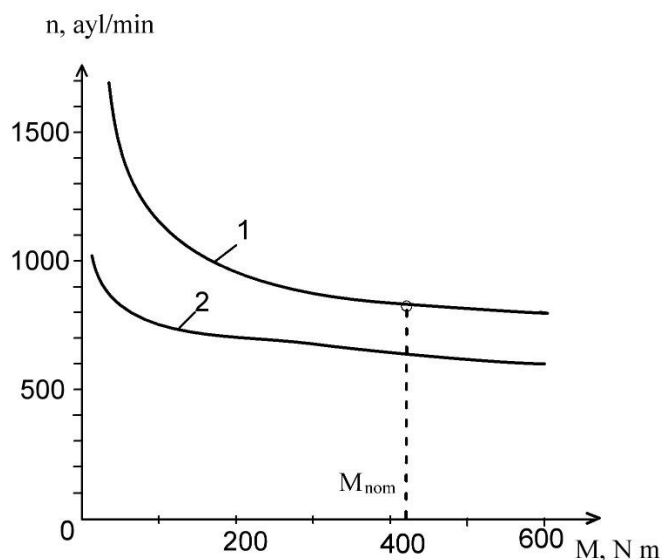
6. Tabiiy mexanik xarakteristikani qurish uchun talab etiladigan ma’lumotlarni olish uchun motorning ishchi xarakteristikalaridan foydalanamiz va yakor toki I_{ya} ning bir qator qiymatlari uchun bu qiymatlarga mos keluvchi aylanish chastotasi n va foydali quvvat P_2 larni aniqlaymiz. Bu qiymatlar bo‘yicha motor validagi momentning mos qiymatlarini aniqlaymiz

$$M_2 = \frac{9,55 \cdot P_2}{n}.$$

Qayd etilgan kattaliklarni 5.19-jadvalga kiritamiz, so‘ngra esa motorning $n=f(M_2)$ tabiiy mexanik xarakteristikasi quramiz. (5.10-rasm, 1-grafik).

4.19-jadval

| Parametr | Parametr qiymati | | | | |
|----------------------|------------------|-------|-------|-------|-------|
| I_{ya}, A | 40 | 80 | 120 | 160 | 200 |
| $n, \frac{ayl}{min}$ | 1600 | 1100 | 900 | 810 | 750 |
| P_2, W | 6000 | 15000 | 24000 | 34000 | 45000 |
| $M_2, N \cdot m$ | 36 | 130 | 255 | 410 | 570 |



4.10-rasm. Ketma-ket qo'zg'atishli motorning mexanik xarakteristikalar

7. Qarshiligi $r_{qo'sh} = 3 \cdot \Sigma r = 3 \cdot 0,112 = 0,336 \Omega$ rezistorni yakor zanjiriga ketma-ket ulaganda motorning ishi sun'iy mexanik xarakteristika rejimiga o'tadi, bunda motor yakorining aylanish chastotasi quyidagi ifoda bilan aniqlanadi,

$$n_{sun} = \frac{U_{nom} - I_{ya} \cdot (r_{qo'sh} + \Sigma r) - I_{ya*} \cdot \Delta U_{cho't}}{C_e \cdot \Phi};$$

$C_e \cdot \Phi$ qiymatini motorning nominal aylanish chastotasi ifodasidan aniqlaymiz

$$n_{nom} = \frac{U_{nom} - I_{ya.nom} \cdot \Sigma r - \Delta U_{cho't}}{C_e \cdot \Phi};$$

bundan

$$C_e \cdot \Phi = \frac{U_{nom} - I_{ya.nom} \cdot \Sigma r - \Delta U_{cho't}}{n_{nom}} = \frac{220 - 160 \cdot 0,112 - 2}{810} = 0,247.$$

Demak, sun'iy mexanik xarakteristika rejimidagi ushbu motorning aylanish chastotasi:

$$\begin{aligned} n_{sun} &= \frac{U_{nom} - I_{ya} \cdot (r_{qo'sh} + \Sigma r) - I_{ya*} \cdot \Delta U_{cho't}}{C_e \cdot \Phi} = \\ &= \frac{220 - I_{ya} \cdot (0,336 + 0,112) - I_{ya*} \cdot 2}{0,247}. \end{aligned}$$

Motorning sun'iy mexanik xarakteristikasi $n_{sun}=f(M)$ ni qurish uchun, kerakli ma'lumotlarni olish uchun yakor toki I_{ya} ni bir qator qiymatlarini beramiz (5.19-jadvalga qarang) va ularning har biri uchun aylanish chastotasi n_{sun} foydali quvvat P_{2sun} va moment M_{2sun} larni hisoblaymiz. Sun'iy mexanik xarakteristika rejimidagi motorning foydali quvvati tabiiy mexanik xarakteristika rejimidagi quvvatdan $r_{qo'sh} = 0,336 \Omega$ rezistordagi isrofga kam, ya'ni $P_{2sun}=P_2 - I_{ya}^2 \cdot r_{qo'sh}$.

Qayd etilgan parametrlarning hisob natijalari 4.20-jadvalga kiritiladi, so'ngra esa sun'iy mexanik xarakteristika quriladi (4.10-rasm. 2-grafik).

4.20-jadval

| Parametr | Parametr qiymati | | | | |
|-----------------------------|------------------|-------|-------|-------|-------|
| I_{ya}, A | 40 | 80 | 120 | 160 | 200 |
| $I_{ya*}=I_{ya}/I_{ya.nom}$ | 0,25 | 0,5 | 0,75 | 1,0 | 1,25 |
| $n_{nom}, \frac{ayl}{min}$ | 836 | 780 | 723 | 666 | 610 |
| P_2, W | 5462 | 12850 | 19160 | 25400 | 31560 |
| $M_{2sun}, N \cdot m$ | 62 | 157 | 253 | 364 | 520 |

4.3 Mustaqil yechish uchun masalalar

4.15-masala. O'zgarmas tok mashinasi (O'TM) yakorining aylanish burchak tezligi $w=157,1s^{-1}$, yakor qo'lg'aming aktiv o'tkazgichlari soni ($N=496,$) qutbdagi magniy oqimi $\Phi=0,00804 Vb$ bo'lsa, oddiy to'lqin chulg'amli to'rt qutbli mashina yakorining EYuK ($a=1$) va C_0 koeffitsiyentining qiymati aniqlansin?

Javob: $C_0=158, E_{ya}=199,5 V$.

4.16-masala. Aylanish chastotasi $1500 \frac{ayl}{min}$ bo'lganda o'zgarmas tok mashinasining chulg'amida $E_{ya}=230 V$ EYuK ni induksiyalash uchun zarur bo'lgan qutbdagi magniy oqimi aniqlansin?. To'rt qutbli mashinaning yakor

cho'lg'ami to'rtta parallel shaxobchaga ega bo'lganda har bir parallel shaxobchadagi aktiv o'tkazgichlar soni $N_{ya}=42$ deb hisoblansin.

Javob: $\Phi=0,055 \text{ Vb}$.

4.17-masala. Agar $I_{ya}=980 \text{ A}$ tokda elektromagnit moment $M=1310 \text{ N}\cdot\text{m}$ bo'lsa, o'zgarmas tok mashinasining qutblar soni aniqlansin?. Qutbning magniy oqimi $\Phi=0,05 \text{ Vb}$, yakor chulg'ami to'rtta parallel shaxobchalarga ega, aktiv o'tkazgichlar soni $N=168$.

Javob: $2p=4$.

4.18-masala. Generator kuchlanishi 230 V , yakor zanjiri qarshiligi $R_{ya}=0,01 \Omega$ elektr energiya iste'molchisining qarshiligi $R_{iste}=0,4 \Omega$. Agar qutbdagi magnit oqimi $\Phi=0,031 \text{ Vb}$, yakor chulg'amidagi effektiv o'tkazgichlar soni $N=304$, qutblar va parallel shahobchalar soni bir xil $2p=2a$ ma'lum bo'lsa, generatorning aylanish chastotasi aniqlansin?

Javob: $n=1500 \frac{\text{ayl}}{\text{min}}$.

4.19-masala. O'zgarmas tok generatorining nominal quvvati 25 kW , $\eta=86,7\%$, mexanik, magnit va qo'shimcha isroflar quvvati nominal quvvatning 4% ni tashkil etadi, yakor qarshilishi $R_{ya}=0,13 \Omega$. Agar qo'zg'atish zanjirining quvvat isrofi 400 W ni tashkil etsa, yakor toki aniqlansin?

Javob: $I_{ya}=137 \text{ A}$.

4.20-masala. Yakorning nominal aylanish chastotasi $n_{nom}=1450 \frac{\text{ayl}}{\text{min}}$ bo'lganda, to'rt qutbli parallel qo'zg'atishni generatorning mexanik, magnit va qo'shimcha quvvat isroflari yig'indisi 800 W ni tashkil etadi. Yakor chulg'ami ikkita parallel shahobchaga ega $2a=2$ va aktiv o'tkazgichlar soni $N=396$, yakor zanjirining qarshilishi $R_{ya}=0,25 \Omega$. Qo'zg'atish toki $I_{qo'z}=1,7 \text{ A}$ da qutbdagi magnit oqimi $\Phi=0,0102 \text{ Vb}$. Якор токи $I_{ya}=100 \text{ A}$ dagi generatorning kuchlanishi va FIK aniqlansin?

Javob: $U=170 V$, $\eta=0,821$.

4.21-masala. Parallel qo'zg'atishli o'zgarmas tok generatorining nominal ma'lumotlari ma'lum: quvvat $P_{nom}=100 kW$, kuchlanish $U_{nom}=115 V$, yakorning aylanish chastotasi $n_{nom}=975 \frac{ayl}{min}$, FIK $\eta=87,7\%$. O'zgarmas $C_0=79,6$; qutbdagi magnit oqimi $\Phi=0,0149 Vb$. Qo'zg'atish toki $I_{qo'iz}=10 A$. Generatorning nominal toki, yakor zanjirining qarshiligi va undagi elektr isroflar quvvati, foydali mexanik quvvat va ushbu generatorning yuritmasi uchun birlamchi dvigatelning aylanish momenti aniqlansin?

Javob: $I_{nom}=870 A$, $R_{ya}=0,007 \Omega$, $P_{d.el}=5,42 kW$, $P_{nom}=114 kW$, $M_{nom}=1120 N \cdot m$.

4.22-masala. Nominal kuchlanish $U_{nom}=220V$, tok $I_{nom}=59,8 A$, aylanish chastotasi $n_{nom}=1500 \frac{ayl}{min}$, qo'zg'atish toki $I_{qo'iz.nom}=1,34 A$ va FIK $\eta_{nom}=0,8 \%$ bo'lgan parallel qo'zg'atishli motor parallel qo'zg'atishli generator rejimida ishlatilmoqda. Yakor qarshiligi $R_{ya}=0,183 \Omega$. Generator qisqichlaridagi kuchlanish $U=220 V$ bo'lishi uchun yuklami va qo'zg'atish toklarining o'sha qiymatlarida birlamchi dvigatel qanday aylanish chastotasiga ega bo'lishi kerak?

Javob: $n=1659 \frac{ayl}{min}$.

4.23-masala. 4.1-jadvalda (4.5.2.ga qarang) $1450 \frac{ayl}{min}$ li mustaqil qo'zg'atishli generatorining salt ishlash xarakteristikasi keltirilgan. Qo'zg'atish cho'lg'amining qarshiligi $20^\circ C$ temperaturada $R_{qo'iz.s}=90 \Omega$. Qo'zg'atish chulg'ami "sovuq" ($20^\circ C$) va "issiq" ($75^\circ C$) dagi qo'zg'atish zanjirida rostlash reostatisiz parallel qo'zg'atishli generatorining salt ish kuchlanishi aniqlansin?. ($75^\circ C$) temperaturada salt ish kuchlanishi $U=230 V$ ni olish uchun rostlash reostatining qarshiligi qanday bo'lishi kerak? Mis sim uchun temperatura koeffitsiyenti $\alpha=0,004 \frac{1}{^\circ C}$.

Javob: $U_{os.ish}=260 V$, $U_{o.g}=244 V$, $R_{rost.r}=12,5 \Omega$.

4.24-masala. Mustaqil qoʻzgʻatishli generator (salt ishlash xarakteristikasini 4.1. - jadvalga qarang) quyidagi nominal maʼlumotlarga ega: quvvat $P_{nom}=25 kW$, kuchlanish $U_{nom}=230 V$, tok $I_{nom}=109 A$, aylanish chastotasi $n_{nom}=1450 \frac{ayl}{min}$, FIK $\eta_{nom}=0,87 \%$. Nominal rejimdagi qoʻzgʻatish toki $I_{qoʻz.nom}=2 A$. Generatorning tashqi va roslash xarakteristikalari qurilsin, yakor reaksiyasi hisobga olinmasin. Nominal yuklamadan salt ish rejimiga oʻtishda generator kuchlanishining oʻzgarishi aniqlansin?

Javob: $\Delta U=5,2 \%$

4.25-masala. Oʻzgarmas tok mashinasi qutbidagi magnit oqimi $\Phi=0,008 Vb$. Doimiy koeffitsiyent $C_0=158$. Aylanish chastotasi $n=1500 \frac{ayl}{min}$ da motor rejimida ishlayotgan mashinaning elektromagnit momenti $M=45 N \cdot m$. Agar yakor zanjirining qarshiligi $R_{ya}=0,607 \Omega$ boʻlsa, dvigatelning taʼminot kuchlanishi aniqlansin?

Javob: $U=220 V$.

4.26-masala. Agar yakor qarshiligi $R_{ya}=0,35 \Omega$, doimiy koeffitsiyent $C_0=160$, qutbdagi magnit oqimi $\Phi=0,008 Vb$ maʼlum boʻlsa, aylanish chastotasi $n=1500 \frac{ayl}{min}$ va kuchlanishi $U=220 V$ dagi parallel qoʻzgʻatishli motorning yakor toki va elektromagnit momenti aniqlansin?

Javob: $M=96,5 N \cdot m, I_{ya}=54,3 A$.

4.27-masala. Oʻzgarmas tok motorining quvvati $P_{nom}=1,5 kW$, nominal kuchlanishi $U_{nom}=220 V$, nominal toki $I_{nom}=8,3 A$. F.I.K, motordagi quvvat isrofi va aylanish chastotasi $n=1500 \frac{ayl}{min}$ dagi nominal aylanish momenti aniqlansin?

Javob: $\eta=82,1\%, \Sigma P_{ish.t}=326 W, M=9,55 N \cdot m$.

4.28-masala. Ketma – ket qoʻzgʻatishli oʻzgarmas tok tortish motori $U_{nom}=220 V$, kuchlanish va $I_{ya}=64 A$ yakor tokida $n=756 \frac{ayl}{min}$ chastota bilan

aylanmoqda. Yakor zanjirining qarshilishi $R_{ya} = 0,26 \Omega$. Yakorning EYuK va motorning elektromagnit momenti aniqlansin. Yakor toki va aylanish chastotasi qanday o'zgaradi:

a) elektromagnit moment 2 marta ottirilsa;

b) elektromagnit moment 2 marta kamaytirilsa;

magnit oqimini ko'zg'atish tokiga bog'liqligi to'g'ri chiziqli deb hisoblansin.

Javob: $E_{ya}=203 V$; $M=164 N\cdot m$; a) $M = 328 N\cdot m$, $I_{ya}=90,5 A$, $n=518 \frac{ayl}{min}$; b) $M=82 N\cdot m$, $I_{ya}=45,3 A$, $n=1100 \frac{ayl}{min}$.

4.29-masala. Parallel qo'zg'atishli o'zgarmas tok motori quyidagi ma'lumotlarga ega: kuchlanish $U_{nom}=220 V$, tok $I_{nom}=42 A$, qo'zatish toki $I_{qo'z}=2 A$. Mexanik, magnit va qo'shimcha quvvat isroflarining yig'indisi o'zgarmaydi va $200 W$ ga teng hisoblab, FIK ning yakor tokiga bog'liqligi hisoblansin va qurilsin. Yakor zanjirining qarshilishi $R_{ya}=0,355 \Omega$.

| | | | | | | |
|--------|--------|------|------|------|------|-----|
| Javob: | I | 20 | 30 | 40 | 60 | A |
| | η | 84,2 | 86,7 | 87,3 | 86,7 | % |

4.30-masala. Nominal quvvati $P_{nom}=4,5 kW$ li o'zgarmas tok motorini $220 V$ kuchlanishdagi tarmoqqa to'g'ridan – to'g'ri ulashdagi ishga tushirish tokining karraligi aniqlansin. Yakor zanjirining qarshiligi $R_{ya}=0,25 \Omega$, motorning foydali ish koeffitsiyenti $\eta=85 \%$. Ishga tushirish tokini uch karrali nominal tokgacha pasaytirilgandagi shartidan ishga tushirish reostati qarshiligining boshlang'ich qiymati aniqlansin?

Javob: $I_{ish.t*}=36,7$; $R_{ish.t}=2,8 \Omega$.

4.31-masala. Nominal quvvati $P_{nom}=1,5 kW$ va kuchlanish $U_{nom}=220 V$ bo'lgan parallel qo'zg'atishli motor $I=8,3 A$ tok iste'mol qiladi. Agar yakor zanjiri qarshiligi $R_{ya} = 3 \Omega$, qo'zg'atish zanjiri qarshiligini $R_{qo'z}=722 \Omega$, yakorning aylanish chastotasi $n=1500 \frac{ayl}{min}$ bo'lsa, motorning salt ishlash toki aniqlansin?

Javob: $I_0=0,65 A$.

4.32-masala. Parallel qo'zg'atishli motorning nominal ma'lumotlari ma'lum: $P_{nom}=4,5 kW$, $U_{nom}=220 V$, $n_{nom}=1000 \frac{ayl}{min}$, $\eta_{nom}=81 \%$.

Qo'zg'atish zanjirining qarshiligi $R_{qoriz}=137 \Omega$. Motorning nominal momenti va toki, yakor va qo'zg'atish zanjiridagi toklar aniqlansin?

Javob: $M=43 N \cdot m$, $I=25,25 A$, $I_{ya}=23,65 A$, $I_{qoriz}=1,6 A$.

4.33-masala. Parallel qo'zg'atishli motorning nominal kuchlanishi $U_{nom}=220 V$, nominal toki $I_{nom}=43 A$. Yakor qarshiligi $R_{ya}=0,39 \Omega$. Qo'zg'atish zanjirining qarshiligi $R_{qoriz}=137 \Omega$. Salt ish rejimida motorning aylanish chastotasi $n_0=1000 \frac{ayl}{min}$, iste'mol toki $I_0=3,5 A$. Nominal yuklamadagi motorning aylanish chastotasi aniqlansin? Yakor reaksiyasi hisobga olinmasin.

Javob: $n=1580 \frac{ayl}{min}$.

4.34-masala. Parallel qo'zg'atishli motor quyidagi nominal ma'lumotlarga ega: $P_{nom}=8 kW$, $U_{nom}=220 V$, $n_{nom}=1500 \frac{ayl}{min}$, $\eta=80\%$. Yakor zanjiri qarshiligi $R_{ya}=0,4 \Omega$, qo'zg'atish toki $I_{qoriz}=1,7 A$. Tok ikki marta kamaytirilgandagi motorning aylanish chastotasi aniqlansin?. Yakor reaksiyasi tufayli magnit oqimini o'zgarimas 2 % ni tashkil etadi.

Javob: $n=1536 \frac{ayl}{min}$.

4.35-masala. Agar yakor zanjiri qarshiligi $R_{ya}=0,35 \Omega$, doimiy koeffitsiyent $C_0=160$, qutbdagi magnit oqimi $\Phi=0,008 Vb$ ma'lum bo'lsa, $U_{nom}=220 V$ kuchlanish va $n_{nom}=1500 \frac{ayl}{min}$ aylanish chastotasidagi parallel qo'zg'atishli motorning yakor toki va elektromagnit momenti aniqlansin?

Javob: $M=69,6 N \cdot m$, $I_{ya}=54,4 A$.

4.36-masala. Parallel qo'zg'atishli motor 220 V nominal kuchlanishda $I=33,2 A$ tok iste'mol qiladi va $n_{nom}=1000 \frac{ayl}{min}$ chastota bilan aylanadi. Yakor

zanjiri qarshiligi $R_{ya}=0,4 \Omega$, qo'zg'atish zanjiri qarshilishi $R_{qo'rz}=160 \Omega$. Yakor zanjiriga qo'shimcha qarshilik $R_{qo'sh}=3 \Omega$ ulanganda (yakor va qo'zg'atish toklari o'zgarmas shartidan) motorning aylanish chastotasi va elektromagnit momenti aniqlansin?

$$\text{Javob: } n=450 \frac{\text{ayl}}{\text{min}}, M=63 \text{ N} \cdot \text{m}.$$

4.37-masala. Parallel qo'zg'atishli motor quyidagi nominal ma'lumotlarga ega: quvvat $P_{nom}=1,5 \text{ kW}$, kuchlanish $U_{nom}=220 \text{ V}$, tok $I_{nom}=87 \text{ A}$, aylanish chastotasi $n_{nom}=1500 \frac{\text{ayl}}{\text{min}}$. Yakor zanjiri qarshiligi $R_{ya}=3 \Omega$, qo'zg'atish zanjiri qarshiligi $R_{qo'rz}=574 \Omega$. Nominal rejimda dvigatel validagi foydali moment va dvigatelning F.I.K aniqlansin. Agar yakor zanjiriga qarshiligi $R_r=3 \Omega$ bo'lgan reostat ulansa, o'zgarmas foydali momentda motorning foydali quvvati, toki, aylanish chastotasi va foydali ish koeffitsiyenti qanday o'zgaradi?. Mexanik, magnit va qo'shimcha quvvat isroflari o'zgarmas deb hisoblansin.

$$\text{Javob: } M_{nom}=9,55 \text{ N} \cdot \text{m}; \quad \eta_{nom}=78,4\%; \quad P_2=988,5 \text{ W}; \quad I=8,7 \text{ A}; \\ n=988 \frac{\text{ayl}}{\text{min}}; \quad \eta=51,6\%.$$

4.38-masala. Nominal quvvati $P_{nom}=55 \text{ kW}$, nominal kuchlanishi $U_{nom}=220 \text{ V}$ va FIK $\eta=89\%$ bo'lgan parallel qo'zg'atishli motor yakor zanjirining $R_{ya}=0,04 \Omega$ va qo'zg'atish zanjirining $R_{qo'rz}=54 \Omega$ qarshiligiga ega. O'zgarmas nominal momentda (valdagi) va qo'zg'atish tokida motorning aylanish chastotasi ikki martaga kamayishi uchun yakor zanjiriga ulangan reostat qarshiligi qanday bo'lishi kerak?

$$\text{Javob: } R_r=0,377 \Omega.$$

4.39-masala. Ketma – ket qo'zg'atishli o'zgarmas tok motori kuchlanishi $U_{nom}=220 \text{ V}$ tarmoqqa ulangan. Motorning aylanish chastotasi $n_{nom}=1500 \frac{\text{ayl}}{\text{min}}$, toki $I=14 \text{ A}$. Yakor zanjiri qarshiligi $R_{ya}=1,7 \Omega$. Yakor EYuK, motorning

elektromagnit momenti, iste'mol energiyasining va elektr isroflar quvvatlari aniqlansin?

Javob: $E_{ya}=196$, $M_{nom}=17,5 \text{ N}\cdot\text{m}$, $P_1=3,1 \text{ kW}$, $P_{el.is}=333 \text{ W}$.

4.40-masala. Ketma – ket qo'zg'atishli motor $U_{nom}=220 \text{ V}$ kuchlanishda $n=900 \frac{ayl}{min}$ chastota bilan aylanmoqda va valda $M=250 \text{ N}\cdot\text{m}$ moment hosil qilmoqda. Yakor qarshiligi $R_{ya}=0,174 \Omega$, FIK $\eta=90\%$. Motorning foydali quvvati, EYuK, yakor toki va elektr isroflar quvvati hisoblansin?

Javob: $P_2=23,55 \text{ kW}$; $I_{ya}=119 \text{ A}$; $E_{ya}=199 \text{ V}$; $P_{el.es}=2,46 \text{ kW}$.

4.41-masala. Ketma – ket qo'zg'atishli motor quyidagi nominal ma'lumotlarga ega: $U_{nom}=220 \text{ V}$; $I_{nom}=50 \text{ A}$; $M_{nom}=60 \text{ N}\cdot\text{m}$; $n_{nom}=1500 \frac{ayl}{min}$; $\eta_{nom}=0,857$. Yakor zanjiri qarshiligi $R_{ya}=0,2 \Omega$.

Valdagi moment o'zgarmas bo'lganda motorning aylanish chastotasi, foydali quvvati va FIK aniqlansin, agar:

- yakor zanjiriga qarshiligi $R_{qo'ish}=0,8 \Omega$ bo'lgan reostat ulanganda;
- kuchlanish $U=180 \text{ V}$ gacha pasaytirilganda.

Javob: a) $n_{nom}=1215 \frac{ayl}{min}$; $P_2=7630 \text{ W}$; $\eta=69,4\%$;

b) $n_{nom}=1215 \frac{ayl}{min}$; $P_2=7630 \text{ W}$; $\eta=84,8\%$.

4.42-masala. Nominal kuchlanishi $U_{nom}=220 \text{ V}$, toki $I_{nom}=65 \text{ A}$ va aylanish chastotasi $n_{nom}=750 \frac{ayl}{min}$ bo'lgan ketma-ket qo'zg'atishli o'zgarmas tok motorining toki va aylanish chastotasi aniqlansin, agar valdagi o'zgarmas qarshilik momentda motor qisqichlaridagi kuchlanish ikki marta kamaytirilsa. Yakor qarshiligi $R_{ya}=0,2 \Omega$.

Javob: $I=65 \text{ A}$; $n=351 \frac{ayl}{min}$.

4.43-masala. Parallel qo'zg'atishli motor kuchlanishi $U=220 \text{ V}$ li tarmoqqa ulangan. Motor toki $I=500 \text{ A}$, qo'zg'atish toki $I_{qo'iz}=4,3 \text{ A}$. Yakor qarshiligi $R_{ya}=0,011 \Omega$. Agar aylanish chastotasi va yakor hamda qo'zg'atish

chulgʻamlarining toklari oʻzgarmas boʻlsa, mashina generator rejimida ishlagandagi quvvat va mashina qisqichlaridagi kuchlanish aniqlansin?

Javob: $P=103 \text{ kW}$; $U=210 \text{ V}$.

4.44-masala. Parallel qoʻzgʻatishli motorning nominal maʼlumotlari maʼlum: quvvat $P_{nom}=8 \text{ kW}$, kuchlanish $U_{nom}=220 \text{ V}$, tok $I_{nom}=43,5 \text{ A}$, aylanish chastotasi $n_{nom}=1500 \frac{\text{ayl}}{\text{min}}$ va FIK $\eta_{nom}=83,6 \%$. Yakor chulgʻami qarshiligi $R_{ya}=0,375 \Omega$, qoʻzgʻatish zanjiri qarshiligi $R_{qo'z}=110 \Omega$. Motorning ishchi xarakteristikallari hisoblansin va qurilsin. Mexanik, magnit va qoʻshimcha isroflar quvvatlari oʻzgarmas deb hisoblansin. Yakor reaksiyasi hisoblanmasin.

4.4. Nazorat topshiriqlari

M_2 momentni har xil qiymatlarini bera – borib, nominal kuchlanish $U=220 \text{ V}$ boʻlgan parallel qoʻzgʻatishli oʻzgarmas tok motorining ishchi xarakteristikallari nisbiy birliklarda hisoblansin va qurilsin.

4.21-jadval

| No T/r | P_{nom} , kW | I_{nom} , A | R_{ya} , Ω | $R_{qo'z}$, Ω | $I_{ish.t*}$ | No T/r | P_{nom} , kW | I_{nom} , A | R_{ya} , Ω | $R_{qo'z}$, Ω | $I_{ish.t*}$ |
|--|-------------------|------------------|------------------------|--------------------------|--------------|--|-------------------|------------------|------------------------|--------------------------|--------------|
| $n_{nom}=3000 \frac{\text{ayl}}{\text{min}}$ | | | | | | $n_{nom}=1000 \frac{\text{ayl}}{\text{min}}$ | | | | | |
| 1 | 1,5 | 9 | 2,72 | 744 | 2 | 25 | 1,5 | 9,3 | 3,97 | 369 | 2 |
| 2 | 2,2 | 12,5 | 1,35 | 883 | 2 | 26 | 2,2 | 13,3 | 2,36 | 321 | 2 |
| 3 | 3,0 | 16,5 | 0,856 | 353 | 2 | 27 | 3,0 | 17,1 | 1,44 | 222 | 2 |
| 4 | 4,0 | 21,6 | 0,459 | 335 | 2 | 28 | 4,0 | 22,4 | 0,884 | 243 | 2 |
| 5 | 5,5 | 30,2 | 0,484 | 370 | 2 | 29 | 5,5 | 30 | 0,660 | 209 | 2 |
| 6 | 7,5 | 44,1 | 0,270 | 180 | 1,8 | 30 | 7,5 | 40,3 | 0,528 | 179 | 1,8 |
| 7 | 11 | 59 | 0,183 | 220 | 1,8 | 31 | 11 | 69,3 | 0,434 | 119 | 1,8 |
| 8 | 15 | 79,3 | 0,099 | 125 | 1,8 | 32 | 15 | 84 | 0,350 | 151 | 1,8 |
| 9 | 18,5 | 96 | 0,098 | 137 | 1,8 | 33 | 18,5 | 102 | 0,216 | 135 | 1,8 |
| 10 | 22 | 112,5 | 0,065 | 127 | 1,8 | 34 | 22 | 117 | 0,116 | 56,5 | 1,8 |
| 11 | 30 | 157,5 | 0,064 | 85 | 1,8 | 35 | 30 | 160 | 0,097 | 50 | 1,8 |
| 12 | 45 | 230 | 0,045 | 94 | 1,8 | 36 | 37 | 193 | 0,078 | 68 | 1,8 |
| $n_{nom}=1500 \frac{\text{ayl}}{\text{min}}$ | | | | | | 37 | 45 | 235 | 0,076 | 68 | 37 |
| 13 | 1,5 | 8,7 | 3,30 | 583 | 2 | 38 | 55 | 286 | 0,048 | 53 | 1,5 |
| 14 | 2,2 | 12 | 1,50 | 440 | 2 | 39 | 75 | 385 | 0,032 | 45,5 | 1,5 |
| 15 | 3,0 | 17,2 | 1,40 | 260 | 2 | 40 | 90 | 460 | 0,022 | 39 | 1,5 |
| 16 | 4,0 | 26,7 | 1,08 | 300 | 2 | 41 | 110 | 562 | 0,021 | 39 | 1,5 |
| 17 | 5,5 | 30,5 | 0,633 | 174 | 2 | 42 | 132 | 667 | 0,021 | 34 | 1,5 |

| | | | | | | | | | | | |
|----|------|------|-------|-----|-----|-------------------------------|------|-----|-------|------|-----|
| 18 | 7,5 | 40,8 | 0,370 | 198 | 1,8 | $n_{nom}=750 \frac{ayl}{min}$ | | | | | |
| 19 | 11 | 59,5 | 0,257 | 175 | 1,8 | 43 | 15 | 85 | 0,355 | 129 | 1,8 |
| 20 | 15 | 79 | 0,173 | 220 | 1,8 | 44 | 18,5 | 100 | 0,220 | 103 | 1,8 |
| 21 | 18,5 | 100 | 0,179 | 108 | 1,8 | 45 | 22 | 120 | 0,148 | 61,5 | 1,8 |
| 22 | 22 | 116 | 0,122 | 94 | 1,8 | 46 | 30 | 158 | 0,080 | 44,5 | 1,5 |
| 23 | 30 | 156 | 0,106 | 134 | 1,5 | 47 | 45 | 240 | 0,071 | 53 | 1,5 |
| 24 | 45 | 233 | 0,068 | 110 | 1,5 | 48 | 55 | 286 | 0,046 | 45,5 | 1,5 |

Ishga tushirish tokining berilgan karraligidagi ishga tushirish reostatining qarshiligi aniqlansin. Yakor reaksiyasi hisobga olinmasin. Hisoblash uchun ma'lumotlar 4.21 – jadvalda keltirilgan.

V-BOB. ELEKTR MOTORLARNI TANLASH

5.1. Elektr yuritma to'g'risidagi asosiy ma'lumotlar va

elektr motorlarning ish rejimlari

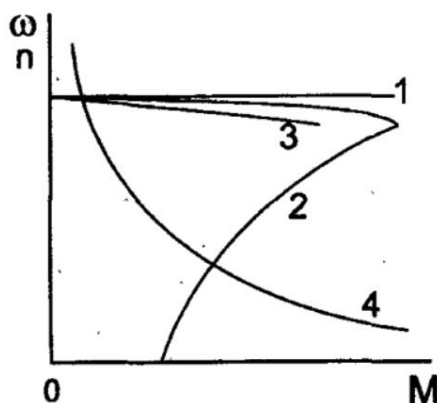
Ishlab chiqarish mashinalari va mexanizmlarini harakatga keltirish uchun, elektr motorlardan, uzatuvchi qurilmalardan, o'zgartiruvchi, boshqaruvchi va avtomatlashtirilgan sistemalardan tashkil topgan elektr yuritmadan foydalaniladi. Ba'zi hollarda uzatuvchi qurilmalar va o'zgartirgichlar (tok, chastota va boshqalar) ishtirok etmasligi mumkin.

Elektr yuritmaning harakat xarakteri momentlar tenglamasi bilan ifodalanadi:

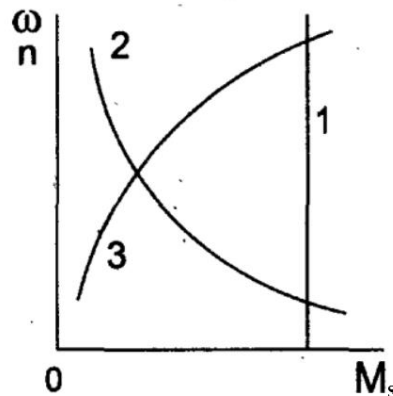
$$M = M_s + M_d,$$

bunda M —motorning aylantiruvchi momenti, M_s —mexanizmning statik qarshilik momenti, $M_d = j \frac{d\omega}{dt}$ — dinamik moment, j —aylanuvchan massalarning inersiya momenti, $\frac{d\omega}{dt}$ —burchak tezlanishi. Turg'unlashgan rejimda

$$M = M_s \tag{5.1}$$



5.1-rasm.



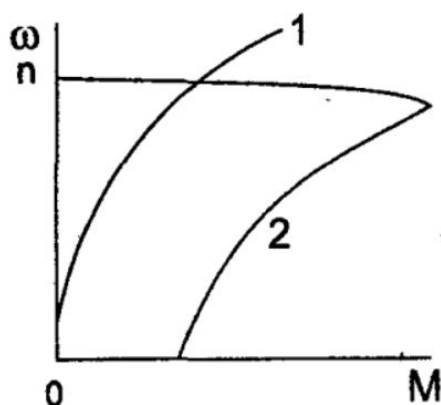
5.2-rasm

6.1-rasmda keltirilgan: 1—sinxron motorniki, 2—asinxron motorniki, 3 va 4 parallel va ketma – ket qo'zg'atishli o'zgarimas tok motorlariniki.

Motorlarda (sinxronidan tashqari) burchak tezligi ω ning yoki aylanish chastotasi n ning turg'unlashgan qiymati, mexanizmning (yuklamaning) qarshilik momentiga bog'liq bo'ladi. Elektr motorlarning mexanik xarakteristikalari $\omega(M)$ yoki $n(M)$.

Mexanizmlar qarshilik momentlarini hosil (paydo) qiladi, ular o'z navbatida ω yoki n ga bog'liq bo'ladi. Keng tarqalgan mexanizmlarning $\omega(M_s)$ yoki $n(M_s)$ xarakteristikalari 5.2.-rasmda taqdim etilgan: 1–yuk ko'taruvchi va transport mexanizmlari, porshenli nasoslar, yo'nuvchi stanoklar ($M_s=const$); 2–ba'zimetall kesuvchi stanoklar va prokat stanoklarining o'rovchilari ($M_s \cdot \omega=const$); 3 – ventilyatorlar, markazdan qochma nasoslar, kompressorlar va sentrafugaralar.

Burchak tezlikni yoki aylanish chastotasini va momentni turg'unlashgan rejimda aniqlash



5.3-rasm

6.3-rasmda ko'rsatilgandek grafik yo'l orqali amalga oshiriladi. Ishchi mexanizm xarakteristikasi bilan (1 – chiziq) elektr motor xarakteristikasining (2 – chiziq) kesishgan nuqtasi ω (yoki n) va M larning qiymatlariga mos keladi.

Motor ishlaganda doimo unda issiqlik ajralishi sodir bo'ladi, bu esa uning qizishiga sabab bo'ladi.

Motor temperaturasining atrof-muhit temperaturasidan oshishi tenglama bilan ifodalanadi:

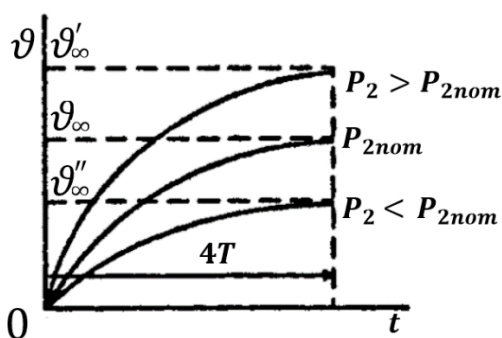
$$\vartheta = \frac{Q}{A} \cdot \left(1 - e^{-\frac{t}{T}}\right) + \vartheta_0 \cdot e^{-\frac{t}{T}}, \quad (5.2)$$

bunda Q – vaqt birligida ajralayotgan issiqlik miqdori, A –vaqt birligida atrof-muhitni issiqlik berishi, $T=C/A$ vaqt doimiysi, C – dvigatelning issiqlik sig‘imi, ϑ_0 – motor temperaturasi atrof-muhit temperaturasidan motorni ishga qo‘shish momentida $t=0$ dagi oshishi.

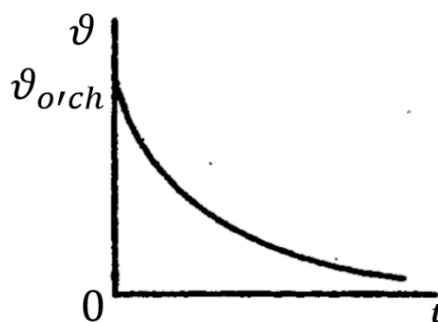
Turg‘unlashgan issiqlik rejimida, qachonki motorda ajralayotgan issiqlik miqdori va atrof-muhitga sochilayotgan issiqlik miqdori bir xil bo‘lganda (nazariy jihatdan $t=\infty$ da, amaliy jihatdan esa $t\cong 4T$ da) temperaturaning oshishi maksimal qiymatga yetadi $\vartheta_\infty = Q/A$. Oxirgini hisobga olib

$$\vartheta = \vartheta_\infty - (\vartheta_\infty - \vartheta_0) \cdot e^{-\frac{t}{T}} \quad (5.2 a)$$

Motor temperaturasi oshishining turg‘unlashgan qiymati uning validagi P_2 quvvatga bog‘liq



5.4-rasm



5.5-rasm

5.4-rasmda quvvat P_2 ning har xil qiymatlarida elektr motorning qizish egriliklari keltirilgan.

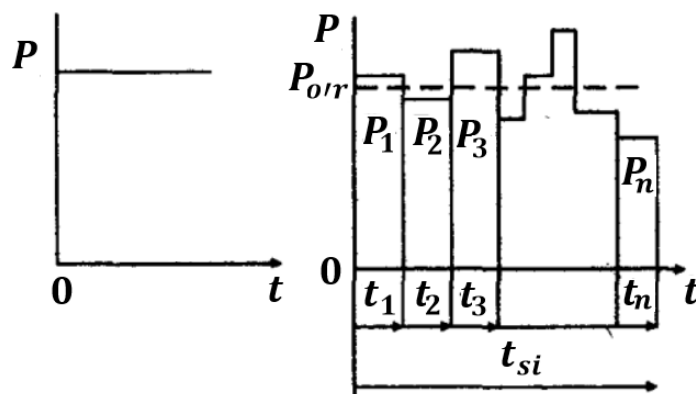
Motorni o‘chirganda $Q=0$ va (6.2.) ni hisobga olib, $\vartheta = \vartheta_{o'chir} \cdot e^{-\frac{t}{T}}$, bunda $\vartheta_{o'chir}$ – o‘chirish momentidagi temperaturaning oshishi, ya’ni motor temperaturasi oshishi eksponensial qonun bo‘yicha kamayadi (5.5-rasm).

Ekspluatatsiya (ishlatish) sharoitlarida ishlab chiqarish mexanizmlarini ish xarakteriga mos holda motorni quyidagi asosiy ish rejimlari farqlanadi: uzoq muddatli, qisqa muddatli va takroriy qisqa muddatli.

Uzoq muddatli rejim – bu rejimda elektr motor uzoq vaqt ishlashi mumkin, bunda motor temperaturasi atrof-muhit temperaturasidan oshishining

turg'unlashgan qiymati o'rnatilgan qiymatdan oshmaydi. Bunday ish rejimi ventilyatorlar, nasoslar, kompressorlar, quvvatli metall kesuvchi stanoklar va boshqalarning motorlari uchun xarakterlidir.

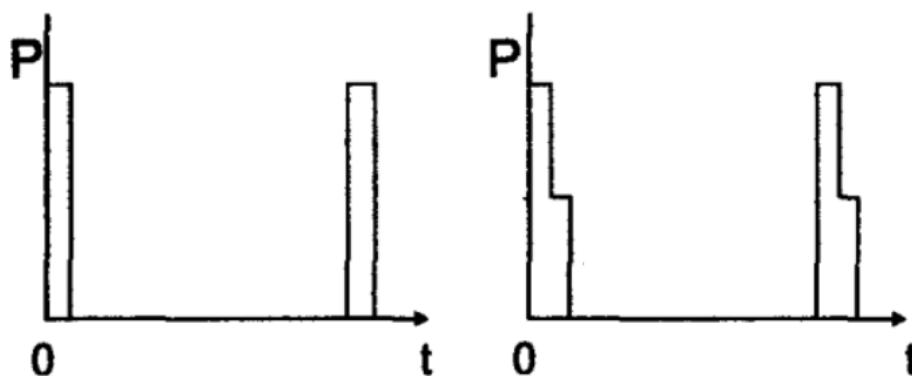
Uzoq mudatli ish rejimining grafigi



5.6-rasm

6.6.-rasmida keltirilgan: a) o'zgarmas, va b) o'zgaruvchan yuklamalarda.

Qisqa muddatli rejim – bu rejimda elektr motor temperaturasining oshishi ruxsat etilgan chegaraviy qiymatgacha yetadi, biroq o'rnatilgan qiymatga yetmaydi. Bu rejimda motor taqqoslanganda uncha katta bo'lmagan vaqt davri oralig'ida ishlaydi, ishdagi tanaffus esa katta, va shu sababli motor atrof-muhit temperaturasigacha sovushga ulguradi. Qisqa muddatli rejimda shlyuz zatvorlari, kutaruvchi mexanizmlar, ajiralma ko'priklar va hokazolarning motorlari ishlaydi.



5.7-rasm. Qisqa muddatli rejimdagi yuklama grafiklari

Takroriy qisqa muddatli rejim – bu rejimda yuklama ostida ishlayotgan elektr motorning ish davri tanaffuslar bilan almashinadi, qachonki motor o‘chirilsa. Bunda temperatura o‘rnatilgan qiymatiga yetishi uchun, ish davri va tanaffuslarunchalik uzoq emas. Bunday ish rejimi ko‘tarma-transport mexanizm, presslar, shtampovka mashinalari va metallarga ishlov beruvchi ba’zi stanoklarning motorlari uchun xarakterlidir. Bu rejimning sikl vaqti $t_{si}=t_{ish}+t_o$, bunda t_{ish} –motorning ishlash vaqti, t_o –esa tanaffus vaqti. Sikl vaqti odatda o‘n daqiqadan oshmaydi.

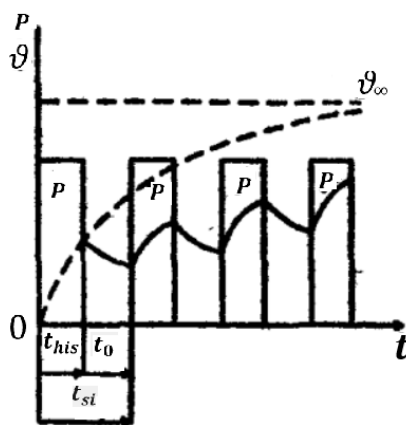
Qisqa muddatli rejim qo‘shish davomiyligi bilan xarakterlanadi.

$$ПВ = \frac{t_{ish}}{t_{si}} \cdot 100\% = \frac{t_{ish}}{t_{ish} + t_o} \cdot 100\%, \quad (5.3)$$

Elektr motorlar uchun qo‘shish davomiyligi (продолжительность включения ПВ) ning standart qiymatlari

$$ПВ=15; 25; 40 \text{ va } 60\%.$$

Takroriy qisqa muddatli rejimdagi yuklama grafiki misoli 6.8-rasmda keltirilgan.



5.8-rasm

5.2. Elektr motorlarni tanlash prinsiplari

Motorni tanlash – mos holdagi mexanik uskuna uchun tok turi, kuchlanish, quvvat va aylanish chastotasi bo‘yicha elektr motorni saralab olishdan iboratdir. Aylanish chastotasini rostlash talab etilmaydigan mashina va mexanizmlar uchun qisqa tutashgan rotorli asinxron motorlarni yoki sinxron motorlarni qo‘llash

tavsiya etiladi. O'zgarastok motorlarini qo'llash faqat shunday hollarda ruxsat etiladi, qachonki o'zgaruvchan tok motorlari mexanizm xarakteristikalarini qoniqtirmasa yoki iqtisodiy jihatdan to'g'rikelmasa. Sinxron motorlarni qo'llash birlik quvvati 100 kW va undan yuqori bo'lgan uzoq muddatli ish rejimidagi rostdanmaydigan mexanizmlar uchun tavsiya qilinadi.

Asinxron motorlarning zamonaviy seriyasi bo'lib, 4A seriyadagi motorlar hisoblanadi. Atrof-muhit ta'sirining darajasi bo'yicha motorlar ikki xil variantda ishlab chiqiladi: himoyalangan (IP23) va yopiq shamollantiriladigan (IP44).

Quvvati 60 W dan 370 W gacha bo'lgan motorlar 220/380 V kuchlanishda, quvvati 0,55 – 110 kW li motorlar 220/380 V va 380/660 V kuchlanishda, quvvati 132 – 400 kW li motorlar 380/660 V kuchlanishda ishlab chiqiladi.

Asinxron motorlar quyidagi tiplarda ishlab chiqiladi: 4A, 4AH, 4AK, 4AP va 4AC. Tiplardagi belgilanishlar: 4-seriya raqami (nomeri), A – asinxron, H – himoyali bajarilgan, K – faza rotorli, P – yuqori ishga tushirish momenli va S – yuqori sirpanishli.

5.3. Motorning quvvatini aniqlash. Motorni katalog bo'yicha tanlash

Elektr motor, izolyatsiyasi qizishini ruxsat etilgan temperaturasi va atrof-muhit temperaturasi motor validagi P_2 quvvat qiymatini aniqlaydi. Atrof-muhit temperaturasi standart bilan aniqlangan va 40°C ni tashkil etadi. Har bir izolyatsiya sinfi uchun temperatura oshishining ruxsat etilgan qiymatlari o'rnatilgan: A-60°C, E-75°C, B-80°C, F-100°C, H-125°C. Katalog vapasport ma'lumotlarda atrof-muhit temperaturasi 40°C ga mos keluvchi nominal quvvat ko'rsatilgan.

Uzoq muddatli ish rejimi uchun (5.6.-a rasmga qarang) motorni tanlash $P_{nom} \geq P$ shartidan kelib chiqqan holda amalga oshiriladi. Agar motor o'zgaruvchan yuklamada uzoq muddatli ish rejimiga mo'ljallangan bo'lsa (5.6-b rasmga qarang), elektr motorni dastlabki tanlovi $P_{nom} \geq P_{orr}$ shartidan kelib chiqqan holda amalga oshiriladi, so'ngra esa tekshiruv hisobi bajariladi.

Tekshiruvlarning barcha metodlari shu shartga olib keladiki, bunda motordagi o‘rtacha quvvat isroflari qiymati nominal yuklamadagi quvvat isroflaridan oshmasligi kerak, $P_{o'z} \leq P_{o'z.nom}$. Amaliyotda tokning, momentining, quvvatning ekvivalent qiymatlarini hisoblashga asoslangan metodlar qo‘llaniladi.

Ekvivalent tok metodi – motorning haqiqiy, vaqt bo‘yicha o‘zgaruvchi, ta’sir etuvchi tok qiymatini ekvivalent tok bilan almashtirishga asoslangan, bunda o‘zgaruvchan ish rejimida quvvat isrofi o‘rtacha quvvat isrofiga mos keladi.

Tokning ekvivalent qiymati quyidagi formuladan aniqlanadi:

$$I_{ekv} = \sqrt{\frac{I_{ish.t}^2 \cdot t_{ish.t} + I_1^2 \cdot t_1 + I_2^2 \cdot t_2 + \dots + I_t^2 \cdot t_t}{k_1 \cdot (t_{ish.t} + t_t) + t_1 + t_2 + \dots + k_2 \cdot t_0}} \quad (5.4)$$

bunda I_1, I_2 va h.o- t_1, t_2 boshqalar vaqt intervallaridagi dvigatel tokining qiymatlari (o‘zgarmas yuklamali grafik uchastkalariga mos keluvchi), $I_{ish.t}$, I_t – ishga tushirish vaqti t_t va tormozlash vaqti t_t ga mos keluvchi tokning o‘rtacha qiymati, t_0 – tanaffus vaqti, k_1 – ishga tushirish va tormozlashdagi issiqlik uzatish pasayishini hisobga oluvchi koeffitsiyent k_2 – tanaffus vaqtida issiqlik uzatishni kamayishini hisobga oluvchi koeffitsiyent.

O‘zgarmas tok motorlari uchun $k_1=0,75; k_2=0,5$; asinxron motorlar uchun $k_1=0,5; k_2=0,25$. Motorning nominal toki $I_{nom} \geq I_{ekv}$ shartidan tanlanadi.

O‘zgaruvchan yuklama $M(t)$ grafik bog‘liqlik ko‘rinishida berilishi mumkin. Bu holda ekvivalent moment quyidagicha aniqlanadi.

$$M_{ekv} = \sqrt{\frac{M_{ish.t}^2 \cdot t_{ish.t} + M_1^2 \cdot t_1 + M_2^2 \cdot t_2 + \dots + M_t^2 \cdot t_t}{k_1 \cdot (t_{ish.t} + t_t) + t_1 + t_2 + \dots + k_2 \cdot t_0}}, \quad (5.5)$$

Bunda $M_{ish.t}, M_t, M_1, M_2$ va h.o- mos vaqt oraliqlaridagi motor validagi moment qiymati. Motorning nominal quvvati $P_{nom} \geq P_{his}$ shartidan tanlanadi, bunda $P_{his} = 0,105 \cdot M_{ekv} \cdot n_{nom}$ – hisobiy quvvat, n_{nom} – motorning nominal aylanish chastotasi. Motorni tanlashning eng oddiy metodi bo‘lib, uning ekvivalent quvvatini aniqlash hisoblanadi.

$$P_{ekv} = \sqrt{\frac{P_{ish.t}^2 \cdot t_{ish.t} + P_1^2 \cdot t_1 + P_2^2 \cdot t_2 + \dots + P_t^2 \cdot t_t}{k_1 \cdot (t_{ish.t} + t_t) + t_1 + t_2 + \dots + k_2 \cdot t_0}} \quad (5.6)$$

bunda $P_{ish.t}, P_t, P_1, P_2$ va h.o.- mos vaqt oraliqlaridagi motor validagi quvvat qiymati.

Agar ishga tushirish, tormozlash va yuklamasiz ishlash ta'siri hisobga olinmasa (5.4.)–(5.6.) – formulalar soddalashadi. Motorning nominal quvvati $P_{nom} \geq P_{his} = P_{ekv}$ shartidan aniqlanadi. Bu metoddan parallel qo'zg'atishli o'zgarmas tok motorlarini, asinxron va sinxron motorlarni tanlashda foydalanish mumkin. Motorning yuklanish qobiliyati bo'yicha tekshirish yuklama grafigi bo'yicha aniqlanadigan, yuklamaning eng katta moment $M_{k.yu}$ ni motorning maksimal momenti $M_{max} = M_{max*} \cdot M_{nom}$ bilan taqqoslash orqali amalga oshiriladi, bunda M_{max*} –maksimal moment karraligi (o'zgarmas tok motorlari uchun $M_{max*} = 2 \dots 2,5$; asinxron motorlar uchun $-1,6 \dots 2,5$).

Quyidagi shart bajarilishi zarur

$$M_{k.yu} \leq k_u \cdot M_{max}, \quad (5.7)$$

bunda k_u –kuchlanish pasayishini hisobga oluvchi koeffitsiyent.

Shuningdek, og'ir ishga tushirish sharoitlarida ham elektr motorni ishga tushirish momenti bo'yicha tekshirish o'tkaziladi. Motorni ishga tushirish momenti $M_{ish.t} = M_{ish.t*} \cdot M_{nom} \geq M_{ish.t.q}$, bunda $M_{ish.t*}$ –boshlang'ich ishga tushirish momenti karraligi, $M_{ish.t.q}$ –ishga tushirishdadvigatel validagi qarshilik momenti. Takroriy qisqa muddatli rejim uchun, qachonki ish davrlari tanaffuslar bilan almashishganda, motor o'chganda yoki salt ishlash rejimida ishlaganda, elektr motorning nominal quvvati qo'shish davomiyligi ΠB ning biror – bir qiymati uchun ($\Pi B = 15, 25, 40, 60\%$) aniqlanadi.

Ko'p pog'onali yuklama grafigida ish davridagi ekvivalent quvvat yuklama grafigi bo'yicha aniqlanadi.

$$P_{ekv} = \sqrt{\frac{\sum_{n=1}^n P_k^2 \cdot t_k}{\sum_{n=1}^n t_k}}, \quad (5.8)$$

bunda $P_k - t_k$ vaqt oralig'idagi motor quvvati, n – yuklama grafigining sikl pog'onalar soni. Bir pog'onali yuklama grafigida $P_{ekv} = P$. Qo'shish davomiyligi

$$\Pi B = \frac{\sum_{n=1}^n t_k}{\sum_{n=1}^n t_k + t_0} \cdot 100\% \quad (5.9)$$

bunda t_0 – tanaffus vaqti. Bir pog'onali yuklama grafigida

$$\Pi B = \frac{t_p}{t_p + t_0} \cdot 100\%.$$

Motor quvvat quyidagi shartdan tanlanadi

$$P_{nom} \geq P_p = P_{ekv} \cdot \sqrt{\frac{\Pi B}{\Pi B_{st}}},$$

bunda ΠB_{st} – ΠB ning standart qiymati (motor pasportida ko'rsatilgan).

Nominal kuchlanishda qisqa muddatli ish rejimidagi motorning mexanik yuklanish koeffitsiyenti (k_{mex}) va issiqlik yuklanish koeffitsiyentlari (k_T) mos holda

$$\left. \begin{aligned} k_M = P_{kr*} &= \frac{P_{kr}}{P_{nom}} \cong M_*, \\ k_T = P_{kr*}^2 &= M_*^2 = \frac{1}{1 - e^{-t_{kr}/T}}, \end{aligned} \right\} \quad (5.10)$$

bunda t_{kr} – qisqa muddatli ish rejimidagi ish vaqti (qisqa muddatli ish davrining standart davomiyligi 10, 30, 60 va 90 daqiqa), T – motorning qizish davomiyligi (kichik va o'rta quvvatdagi himoyalangan asinxron motorlar uchun odatda 15...60 daqiqa qabul qilinadi).

Qisqa muddatli rejimida uzoq muddatli ish rejimiga mo'ljallangan motorning quvvati P_{kr}

$$P_{kr} = P_{nom} \cdot \sqrt{k_t} \quad (5.11)$$

5.4. Ba'zi mexanizmlar uchun motorlarni quvvatini aniqlash

Motorlarning hisobiy quvvati quyidagi formulalaran tanlanadi. Metalga ishlov beruvchi stanoklar uchun

$$P_{his} = \frac{F \cdot S \cdot v_k}{\eta_s} \quad (5.12)$$

bunda F – kesishdagi solishtirma qarshilik, S – qirindi (shoxcha) kesimi, v_k – kesish tezligi, η_c – stanok FIK

Ventilyator uchun

$$P_{his} = \frac{Q \cdot P}{\eta_v \cdot \eta_{uz}} \quad (5.13)$$

bunda Q – ventilyatorning samaradorligi, P – yuza bosimi, η_v – ventilyator FIK, η_{uz} – uzatma FIK

Nasoslar uchun

$$P_{his} = \frac{Q \cdot H \cdot v_s}{\eta_n \cdot \eta_{uz}} \quad (5.14)$$

bunda Q – samaradorligi, H – suyuqlik ustunining differensial bosimi (napori), v – suyuqlik zichligi, η_n – nasosni FIK

Kompressor uchun

$$P_{his} = \frac{Q \cdot A}{\eta_k \cdot \eta_{uz}} \quad (5.15)$$

bunda Q – kompressorning samaradorligi, A – kerakli bosimgacha bir 1 m³ gazni siqishda sarflanadigan ish, η_k – kompressorning FIK.

Gorizontal tasmali transportyorlar uchun

$$P_{his} = \frac{Q \cdot f \cdot L}{\eta_{uz}} \quad (5.16)$$

bunda Q – transport samaradorligi, f – ishqalanish koeffitsiyenti, L – transportning ishchi uzunligi.

Ko'tarma mexanizmlar uchun

$$P_{his} = \frac{(G + G_0) \cdot v}{\eta_{k.m}} \quad (5.17)$$

bunda G –ko‘tariladigan yuk massasi, G_0 –tutib (ushlab qisib) turuvchi moslama massasi, v –ko‘tarish tezligi, $\eta_{k.m}$ –ko‘tarish mexanizmining FIK.

Asinxron motorlarning texnik ma’lumotlari 5.1 va 5.2 jadvallarda keltirilgan.

5.1-jadval

Qisqa tutashgan rotorli asinxron motorlarning texnik ma’lumotlari (yopiq, shamollatiladigan)

| Motor rusumi | $P_{nom},$ kW | $n_{2nom},$ ayl/min | $\eta_{nom},$ % | $\cos \varphi_{nom}$ | $M_{max} *$ | $M_{ish.t} *$ | $I_{ish.t}$ * |
|--|--------------------|--------------------------|--------------------|----------------------|-------------|---------------|------------------|
| Sinxron aylanish chastotasi $1500 \frac{ayl}{min}$ | | | | | | | |
| 4A80A4Y3 | 1,1 | 1420 | 75,0 | 0,81 | 2,2 | 2,0 | 5,0 |
| 4A80B4Y3 | 1,5 | 1415 | 77,0 | 0,83 | 2,2 | 2,0 | 5,0 |
| 4A90J4Y3 | 2,2 | 1425 | 80,0 | 0,83 | 2,4 | 2,1 | 6,0 |
| 4A100C4Y3 | 3,0 | 1435 | 82,0 | 0,83 | 2,4 | 2,0 | 6,0 |
| 4A100J4Y3 | 4,0 | 1430 | 84,0 | 0,84 | 2,4 | 2,0 | 6,0 |
| 4A112M4Y3 | 5,5 | 1445 | 85,5 | 0,85 | 2,2 | 2,0 | 7,0 |
| 4A132C4Y3 | 7,5 | 1455 | 87,5 | 0,86 | 3,0 | 2,2 | 7,5 |
| 4A132M4Y3 | 11,0 | 1460 | 87,5 | 0,87 | 3,0 | 2,2 | 7,5 |
| 4A160C4Y3 | 15,0 | 1465 | 88,5 | 0,88 | 2,3 | 1,4 | 7,0 |
| 4A160M4Y3 | 18,5 | 1465 | 89,5 | 0,88 | 2,3 | 1,4 | 7,0 |
| 4A180C4Y3 | 22,0 | 1470 | 90,0 | 0,90 | 2,3 | 1,4 | 6,5 |
| 4A180M4Y3 | 30,0 | 1470 | 91,0 | 0,90 | 2,3 | 1,4 | 6,5 |
| 4A200M4Y3 | 37,0 | 1475 | 91,0 | 0,90 | 2,5 | 1,4 | 7,0 |
| 4A200J4Y3 | 45,0 | 1475 | 92,0 | 0,90 | 2,5 | 1,4 | 7,0 |

| | | | | | | | |
|--|------|------|------|------|-----|-----|-----|
| 4A225M4Y3 | 55,0 | 1480 | 92,5 | 0,90 | 2,5 | 1,3 | 7,0 |
| 4A250C4Y3 | 75,0 | 1480 | 93,0 | 0,90 | 2,3 | 1,2 | 7,0 |
| 4A250M4Y3 | 90,0 | 1480 | 93,0 | 0,91 | 2,3 | 1,2 | 7,0 |
| Sinxron aylanish chastotasi 1000 $\frac{ayl}{min}$ | | | | | | | |
| 4A80B6Y3 | 1,1 | 920 | 74,0 | 0,74 | 2,2 | 2,0 | 4,0 |
| 4A90L6Y3 | 1,5 | 935 | 75,0 | 0,74 | 2,2 | 2,0 | 4,5 |
| 4A100L6Y3 | 2,2 | 950 | 81,0 | 0,73 | 2,2 | 2,0 | 5,0 |
| 4A112MA6Y3 | 3,0 | 955 | 81,0 | 0,76 | 2,5 | 2,0 | 6,0 |
| 4A112MB6Y3 | 4,0 | 950 | 82,0 | 0,81 | 2,5 | 2,0 | 6,0 |
| 4A132C6Y3 | 5,5 | 965 | 85,0 | 0,80 | 2,5 | 2,0 | 6,5 |
| 4A132M6Y3 | 7,5 | 970 | 85,5 | 0,81 | 2,5 | 2,0 | 6,5 |
| 4A160C6Y3 | 11,0 | 975 | 86,0 | 0,86 | 2,0 | 1,2 | 6,0 |
| 4A160M6Y3 | 15,0 | 975 | 87,5 | 0,87 | 2,0 | 1,2 | 6,0 |
| 4A180M6Y3 | 18,5 | 975 | 88,0 | 0,87 | 2,0 | 1,2 | 5,0 |
| 4A200M6Y3 | 22,0 | 975 | 90,0 | 0,90 | 2,4 | 1,3 | 6,5 |
| 4A200L6Y3 | 30,0 | 980 | 90,5 | 0,90 | 2,4 | 1,3 | 6,5 |
| 4A225M6Y3 | 37,0 | 980 | 91,0 | 0,89 | 2,3 | 1,2 | 6,5 |
| 4A250C6Y3 | 45,0 | 985 | 91,5 | 0,89 | 2,1 | 1,2 | 6,5 |
| 4A250M6Y3 | 55,0 | 985 | 91,5 | 0,89 | 2,1 | 1,2 | 6,5 |
| 4A280C6Y3 | 75,0 | 985 | 92,0 | 0,89 | 2,2 | 1,4 | 5,5 |
| 4A280M6Y3 | 90,0 | 985 | 92,5 | 0,89 | 2,2 | 1,4 | 5,5 |

5.2-jadval

| Dvigatel rusumi | M_n * | M_{max} * | $S_{nom}, \%$ | IIB=25% | | | IIB=40% | | | IIB=60% | | | IIB=100% | | |
|----------------------|------------|----------------|---------------|---------------|------------|----------------|---------------|------------|----------------|---------------|------------|----------------|---------------|------------|----------------|
| | | | | P^{nom}, kW | $\eta, \%$ | $\cos \varphi$ | P^{nom}, kW | $\eta, \%$ | $\cos \varphi$ | P^{nom}, kW | $\eta, \%$ | $\cos \varphi$ | P^{nom}, kW | $\eta, \%$ | $\cos \varphi$ |
| 4AC112M6Y3 | 1,9 | 2,1 | 7,3 | 3,8 | 71 | 0,81 | 3,2 | 72 | 0,74 | 2,8 | 73 | 0,72 | 2,5 | 73,5 | 0,68 |
| 4AC112M6Y3 | 1,9 | 2,1 | 8,5 | 5 | 72,5 | 0,83 | 4,2 | 75 | 0,79 | 3,8 | 76,5 | 0,78 | 3,2 | 77,5 | 0,73 |
| 4AC132S6Y3 | 1,9 | 2,1 | 6,4 | 7,5 | 77,5 | 0,84 | 6,3 | 79 | 0,8 | 6 | 80 | 0,79 | 4,5 | 81 | 0,72 |
| 4AC132M6Y3 | 1,9 | 2,1 | 5,8 | 10 | 77,5 | 0,84 | 8,5 | 80 | 0,8 | 7,5 | 80,5 | 0,78 | 6,3 | 81 | 0,74 |
| 4AC160S6Y3 | 1,9 | 2,1 | 7,7 | 14 | 80 | 0,86 | 12 | 82,5 | 0,85 | 11 | 83,5 | 0,84 | 10 | 84 | 0,83 |
| 4AC160M6Y3 60M4Y3 | 1,9 | 2,1 | 7,8 | 19 | 81,5 | 0,86 | 16 | 84 | 0,85 | 15 | 84,5 | 0,84 | 13 | 85,5 | 0,83 |
| 4AC180M6Y3 | 1,9 | 2,1 | 7,6 | 20 | 83,0 | 0,90 | 19 | 84,5 | 0,90 | 17 | 85 | 0,89 | 16 | 85,5 | 0,89 |
| 4AC200M6Y3 | 1,9 | 2,1 | 7,3 | 25 | 82 | 0,92 | 22 | 83,5 | 0,92 | 20 | 84,5 | 0,92 | 18 | 85,5 | 0,91 |
| 4AC200L6Y3 | 1,9 | 2,1 | 6,2 | 33,5 | 83,5 | 0,92 | 28 | 85,5 | 0,91 | 25 | 86 | 0,92 | 23 | 86,5 | 0,91 |
| 4AC225M6Y3 | 1,9 | 2,1 | 6,9 | 35 | 85,5 | 0,92 | 33,5 | 81 | 0,91 | 28 | 87,5 | 0,91 | 25 | 88 | 0,90 |
| 4AC250S6Y3 | 1,9 | 2,1 | 5,4 | 45 | 88 | 0,90 | 40 | 89 | 0,9 | 36 | 89,5 | 0,9 | 33,5 | 90 | 0,89 |
| 4AC250M6Y3 | 1,9 | 2,1 | 3,8 | 53 | 88 | 0,89 | 45 | 86,5 | 0,88 | 40 | 89 | 0,86 | 36 | 89,5 | |

5.5. Masalalarni yechish bo'yicha namunalalar

5.1-masala. 981 Pa bosimda, samaradorligi $Q=5000 \text{ m}^3/\text{soat}$, F.I.K 40 %, aylanish chastotasi esa $1450 \frac{\text{ayl}}{\text{min}}$ bo'lgan ventilyator uchun umumsanoat mo'ljaldagi qisqa tutashtirilgan rotorli asinxron motor 6.1 – jadvaldagi katalogdan tanlansin va zaruriy quvvati aniqlansin.

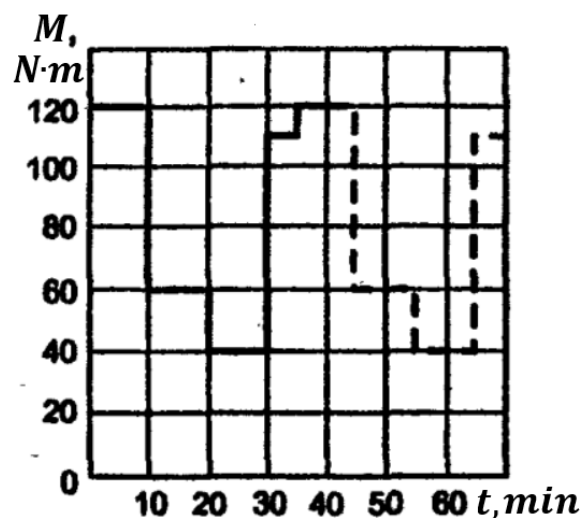
Yechish. (5.13.) formula bo'yicha motor quvvati

$$P_p = \frac{Q \cdot P}{\eta_B \cdot \eta_{II}} = \frac{5000 \cdot 981}{3600 \cdot 0,4 \cdot 1} = 3406 \text{ W}.$$

Katalogdan kattaroq quvvatga yaqin, nominal quvvati 4 kW va aylanish chastotasi $1430 \frac{\text{ayl}}{\text{min}}$ bo'lgan 4A 100L4Y3 tipidagi motorni tanlaymiz.

Tanlangan motor qizish bo'yicha yuklanish qobiliyati bo'yicha va ishga tushirish momenti bo'yicha tekshiruvni talab etmaydi, negaki u nominal quvvatda uzoq muddatli ish rejimi uchun hisoblangan va ishga tushirishda kichik teskari ta'sirdagi momentga ega.

5.2-masala. Mexanizm yuritmasi uchun asinxron motor quvvati aniqlansin, katalog bo'yicha dvigatel tanlansin (5.1-jadvalga qarang) va uni yuklanish qobiliyatiga tekshirish bajarilsin. Motor validagi yuklama momenti grafigi 6.9-rasmda keltirilgan. Valning aylanish chastotasi $1470 \frac{\text{ayl}}{\text{min}}$.



5.9-rasm

Yechish. Motorning quvvatini aniqlash uchun ekvivalent moment metodidan foydalanamiz. Soddalashtirilgan formula (6.5.) bo'yicha ekvivalent moment

$$M_{ekv} = \sqrt{\frac{M_1^2 \cdot t_1 + M_2^2 \cdot t_2 + M_3^2 \cdot t_3 + M_4^2 \cdot t_4}{t_1 + t_2 + t_3 + t_4}} =$$

$$= \sqrt{\frac{120^2 \cdot 10 + 60^2 \cdot 10 + 40^2 \cdot 10 + 110^2 \cdot 6}{10 + 10 + 10 + 6}} = 86,4 \text{ N}\cdot\text{m}.$$

Motorning hisobiy quvvati

$$P_{his} = P_{ekv} = 0,105 \cdot M_{ekv} \cdot n_2 = 0,105 \cdot 86,4 \cdot 1470 \cdot 10^{-3} = 13,3 \text{ kW}.$$

P_{his} ga mos ravishda 4A160S4Y3 motorni tanlaymiz, uning ma'lumotlari

$$P_{nom} = 15 \text{ kW}, n_{2nom} = 1465 \frac{\text{ayl}}{\text{min}} \text{ ba } M_{max*} = 2,3.$$

Motorning nominal momenti

$$M_{nom} = 9,55 \frac{P_{nom}}{n_{2nom}} = 9,55 \cdot \frac{15 \cdot 10^3}{1465} = 97,8 \text{ N}\cdot\text{m}.$$

Motorning maksimal momenti

$$M_{max} = M_{max*} \cdot M_{nom} = 2,3 \cdot 97,8 = 225 \text{ N}\cdot\text{m}.$$

Yuklama grafigidan eng katta moment

$$M_{ng} = 120 \text{ N}\cdot\text{m}.$$

Motorning yuklanish qobiliyati (6.7) shart bo'yicha yetarli, negaki $120 < 0,81 \cdot 225$; bunda 0,81 koeffitsiyent kuchlanishining 10 % ga pasayishini hisobga olgan.

5.3-masala. Uzoq muddatli ish rejimiga mo'ljallangan 4A200L4Y3 motor quyidagi texnik ma'lumotlarga ega: $P_{nom} = 45 \text{ kW}$, $n_{2nom} = 1475 \frac{\text{ayl}}{\text{min}}$, $M_{max*} = 2,5$ qizish doimiysi $T = 55$ daqiqa.

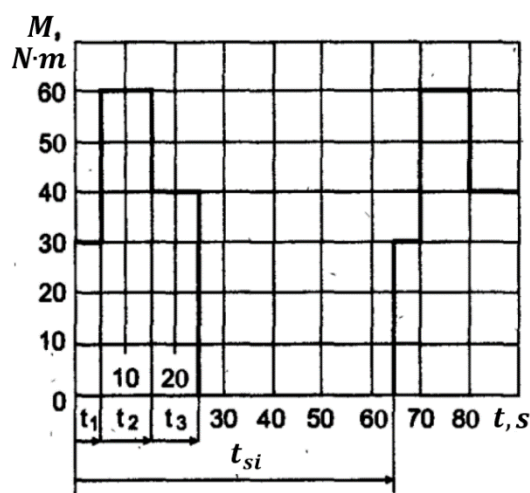
Agar qisqa muddatli ish rejimida moment $1,5 \cdot M_{nom}$ ni tashkil etsa, bu motor qizimasdan qancha vaqt ishlashi mumkin?

Yechish. Mexanik yuklanish koeffitsiyenti nominal kuchlanishda $M_* = 1,5$
 (5.10) formula bo'yicha issiqlik yuklanish koeffitsiyenti

$$k_T = M_*^2 = 1,5^2 = 2,25; \text{ biroq } k_T = \frac{1}{1 - e^{-t_{kr}/T}}, \text{ bundan}$$

$$t_{kr} = T \cdot \ln \frac{k_T}{k_T - 1} = 55 \ln \frac{2,25}{2,25 - 1} = 32,3 \text{ daq.}$$

5.4-masala. Takroriy qisqa muddatli rejimda siklik moment grafigi



5.10-rasm

(5.10-rasm) bilan ishlayotgan mexanizm yuritmasi uchun uch fazali rotori qisqa tutashgan asinxron motor (katalog bo'yicha) tanlansinva hisobiy quvvati aniqlansin. Motor yuklanish qobiliyatiga tekshirilsin. Mexanizmning aylanish chastotasi $930 \frac{ayl}{min}$.

Yechish. Valdagi ekvivalent moment

$$M_{ekv} = \sqrt{\frac{M_1^2 t_1 + M_2^2 t_2 + M_3^2 t_3}{t_1 + t_2 + t_3}} = \sqrt{\frac{30^2 \cdot 5 + 60^2 \cdot 10 + 40^2 \cdot 10}{5 + 10 + 10}} = 47,5 \text{ N}\cdot\text{m.}$$

Qo'shish davomiyligi

$$\Pi B = \frac{t_1 + t_2 + t_3}{t_1 + t_2 + t_3 + t_0} \cdot 100\% = \frac{t_1 + t_2 + t_3}{t_1 + t_2 + t_3 + t_0} \cdot 100\% = \frac{5 + 10 + 10}{5 + 10 + 10 + 40} \cdot 100\% = 38,5\%.$$

Ekvivalent quvvat

$$P_{ekv} = 0,105 M_{kv} \cdot n_2 = 0,105 \cdot 47,5 \cdot 930 \cdot 10^{-3} = 4,63 \text{ kW}.$$

Hisobiy quvvat

$$P_{his} = P_{ekv} \cdot \sqrt{\frac{\Pi B}{\Pi B_{cr}}} = 4,63 \cdot \sqrt{\frac{38,5}{40}} = 4,54 \text{ kW}.$$

Standart qo'shish davomiyligi $\Pi B_{cr} = 40\%$ uchun 4AC132S6Y3 motorni (5.2.-jadvaldan) tanlaymiz, uning texnik ma'lumotlari:

$$P_{nom} = 6,3 \text{ kW}, n_{2nom} = 935 \frac{\text{ayl}}{\text{min}}, M_{nom} = 64,2 \text{ N}\cdot\text{m}, M_{max*} = 2,1.$$

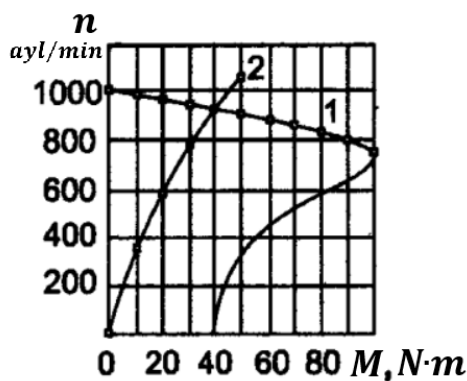
Motorning maksimal momenti

$$M_{max} = M_{max*} \cdot M_{nom} = 2,1 \cdot 64,2 = 135 \text{ N}\cdot\text{m}.$$

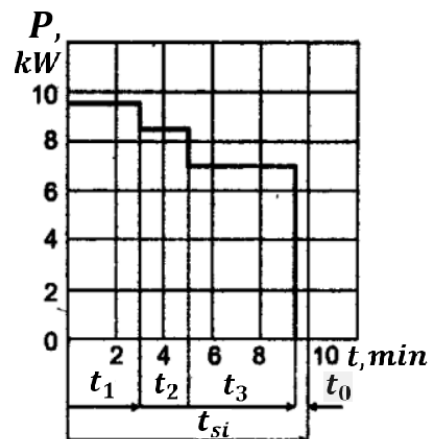
Yuklama grafigidan eng katta moment $M_{nb} = 60 \text{ N}\cdot\text{m}$. (5.7.) shart bo'yicha motorni yuklanish qobiliyati yetarli, negaki $60 < 0,81 \cdot 135$, bunda 0,81 koeffitsiyent 10 % ga kuchlanish pasayishini hisobga olgan.

5.6. Mustaqil yechish uchun masalalar

5.5-masala. 5.11-rasmda motor (1) va ishchi mexanizm(2)ning mexanik xarakteristikalari keltirilgan. Turg'unlashgan rejimdagi motorning aylanish chastotasi va valdagi quvvati aniqlansin.



5.11-rasm



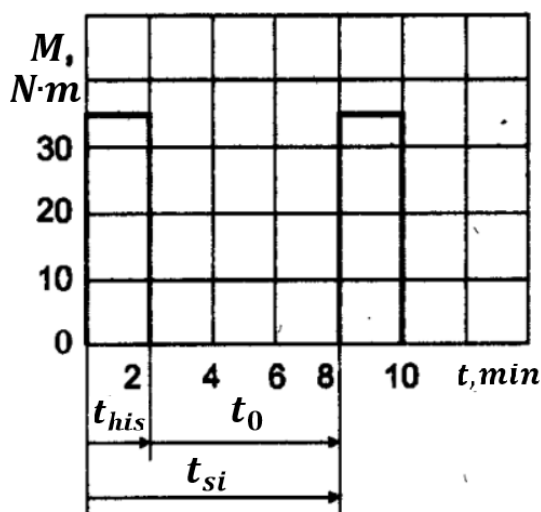
5.12-rasm

Javob: $n_{2nom} = 950 \frac{\text{ayl}}{\text{min}}$; $P_2 = 4 \text{ kW}$.

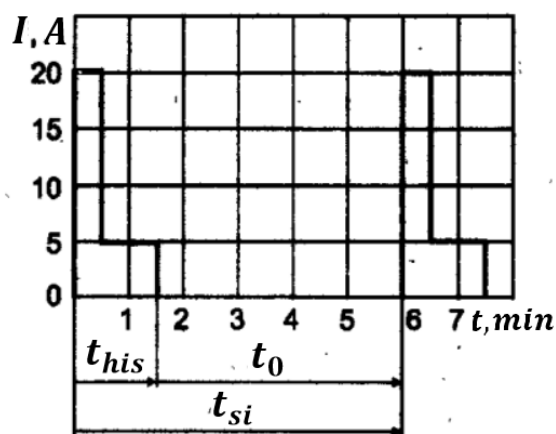
5.6-masala. Markazdan qochma suv nasosi uchun himoyalangan qisqa tutashgan rotorli asinxron motor tanlansin. Nasos samaradorligi $0,2 \text{ m}^3/\text{s}$, bosim 10 m , nasosning FIK 70% , aylanish chastotasi $1470 \frac{\text{ayl}}{\text{min}}$.

5.7-masala. Aylanish chastotasi $1500 \frac{\text{ayl}}{\text{min}}$ ga yaqin bo'lgan, 5.12.-rasmdagi yuklama diagrammasi bilan mos ishlayotgan stanok uchun qisqa tutashgan rotorli asinxron motor tanlansin. Ko'rsatma. Ekvivalent quvvat uchun soddalashtirilgan formuladan foydalanish tavsiya etiladi.

5.8-masala. 5.13.-rasmdagi siklik yuklama grafikli mexanizm uchun qisqa tutashgan rotorli asinxron motor tanlansin va hisobiy quvvati aniqlansin. Mexanizmning aylanish chastotasi $1420 \frac{\text{ayl}}{\text{min}}$.



5.13-rasm



5.14-rasm

5.9-masala. 5.6.4-masalada tanlangan motorni 5.14-rasmda keltirilgan siklik yuklama grafikli mexanizm yuritmasi uchun qo'llash mumkinligini tekshiring.

5.10-masala. Agar: $\Pi_B 40 \%$ da $P_{nom} = 3,2 \text{ kW}$ bo'lsa, $\Pi_B = 35\%$ da 4AC1004Y3 tipidagi asinxron motor qanday eng katta ekvivalent bilan ishlashi mumkin.

Javob: $3,42 \text{ kW}$.

5.11-masala. Agar bir sikl vaqtidagi ekvivalent quvvat $17,5 \text{ kW}$ bo'lsa, 4AC160M4Y3 ($\text{ПВ}=40 \%$, $P_{nom}=20 \text{ kW}$) asinxron motori qanday eng katta qo'shish davomiyligida ishlashi mumkin?

Javob: 52,2%.

5.12-masala. Nominal kuchlanishda asinxron motorning qisqa muddatli rejimdagi mexanik yuklanish koeffitsiyenti $M_*=14$, kuchlanishning pasayishini hisobga oluvchi koeffitsiyent $k_u=0,9$. Shu rejimda issiqlik yuklanish koeffitsiyenti aniqlansin.

Javob: 1,59.

5.13-masala. Qisqa muddatli rejimda motorning ruxsat etilgan temperaturagacha bo'lgan ish vaqti $t_{kr}=40 \text{ daq}$; qizish doimiysi $T=50 \text{ daq}$. Motorning mexanik yuklanish koeffitsiyenti aniqlansin.

Javob: 1,35.

5.7. Nazorat topshiriqlari

5.3 – jadvalda motor validagi yuklama momentlari M_1, M_2, M_3 yuklama grafigining mos uchastkalari uchun, ish vaqtlari t_1, t_2, t_3 yuklamaning berilgan momentlari bilan, tanaffus vaqti t_0 , motor aylanish chastotasi va tarmoq kuchlanishining pasayishini hisobga oluvchi koeffitsiyent keltirilgan.

Berilgan variant uchun motorning hisobiy quvvati aniqlansin va katalogdan uzoq muddatli yoki takrorlanuvchi qisqa muddatli ish rejimlarida siklik yuklamali grafik bilan ishlaydigan mexanizm yuritmasi uchun mo'ljallangan asinxron motor tanlansin. Motorni yuklanish qobiliyati bo'yicha tekshirish amalga oshirilsin.

Nazorat toshiriq variantlari

| № T/r | M_1 <i>N m</i> | M_2 <i>N m</i> | M_3 <i>N m</i> | t_1 <i>s</i> | t_2 <i>s</i> | t_3 <i>s</i> | t_0 <i>s</i> | n_{2nom} $\frac{ayl}{min}$ | k_u |
|----------|---------------------|---------------------|---------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|---------------------------------|-------|
| 1 | 80 | 40 | 60 | 10 | 5 | 20 | 25 | 1410 | 0,95 |
| 2 | 120 | 100 | 95 | 10 | 10 | 15 | 55 | 930 | 0,90 |
| 3 | 50 | 20 | 30 | 10 | 15 | 10 | 5 | 915 | 0,85 |
| 4 | 150 | 125 | 145 | 10 | 20 | 10 | 60 | 930 | 0,95 |
| 5 | 150 | 130 | 160 | 10 | 25 | 20 | 35 | 1415 | 0,90 |
| 6 | 40 | 30 | 10 | 5 | 15 | 20 | 10 | 930 | 0,85 |
| 7 | 40 | 25 | 20 | 5 | 15 | 15 | 5 | 1420 | 0,95 |
| 8 | 30 | 15 | 25 | 5 | 20 | 10 | 25 | 950 | 0,90 |
| 9 | 20 | 15 | 10 | 5 | 10 | 5 | 60 | 935 | 0,85 |
| 10 | 180 | 140 | 150 | 5 | 5 | 15 | 25 | 1440 | 0,95 |
| 11 | 30 | 20 | 10 | 15 | 10 | 20 | 5 | 1440 | 0,90 |
| 12 | 30 | 40 | 60 | 15 | 5 | 15 | 5 | 1400 | 0,85 |
| 13 | 30 | 45 | 20 | 15 | 10 | 10 | 5 | 1410 | 0,95 |
| 14 | 30 | 50 | 30 | 15 | 15 | 10 | 10 | 940 | 0,90 |
| 15 | 200 | 180 | 170 | 15 | 20 | 5 | 60 | 930 | 0,85 |
| 16 | 220 | 230 | 215 | 10 | 15 | 10 | 25 | 940 | 0,95 |
| 17 | 20 | 15 | 25 | 10 | 10 | 15 | 5 | 930 | 0,90 |
| 18 | 20 | 45 | 40 | 10 | 5 | 10 | 75 | 950 | 0,85 |

| | | | | | | | | | |
|----|-----|-----|-----|----|----|----|----|------|------|
| 19 | 25 | 20 | 15 | 10 | 15 | 15 | 60 | 950 | 0,95 |
| 20 | 20 | 25 | 15 | 10 | 10 | 5 | 20 | 1400 | 0,90 |
| 21 | 25 | 50 | 40 | 15 | 15 | 20 | 5 | 1400 | 0,85 |
| 22 | 25 | 20 | 10 | 15 | 15 | 5 | 25 | 950 | 0,95 |
| 23 | 20 | 35 | 10 | 15 | 15 | 10 | 30 | 920 | 0,90 |
| 24 | 25 | 40 | 10 | 15 | 15 | 15 | 5 | 930 | 0,85 |
| 25 | 25 | 15 | 10 | 15 | 10 | 20 | 5 | 950 | 0,95 |
| 26 | 245 | 230 | 240 | 5 | 10 | 10 | 40 | 940 | 0,90 |
| 27 | 60 | 50 | 55 | 5 | 15 | 25 | 10 | 1410 | 0,85 |
| 28 | 45 | 10 | 20 | 5 | 20 | 10 | 50 | 950 | 0,95 |
| 29 | 45 | 15 | 10 | 5 | 10 | 10 | 75 | 950 | 0,90 |
| 30 | 40 | 20 | 10 | 5 | 20 | 5 | 20 | 1440 | 0,85 |

ILOVA

1-ilova

SI xalqaro birliklar tizimidagi ba'zi asosiy va hosilaviy birliklari

| Fizik kattalik | Birlikning nomlanishi | Belgilanishi (ruscha) |
|--|--|-------------------------|
| Uzunlik | metr | <i>m</i> |
| Massa | kilogramm | <i>kg</i> |
| Vaqt | sekund | <i>s</i> |
| Elektr toki kuchi | amper | <i>A</i> |
| Tekis burchak | radian | <i>rad</i> |
| Maydon | metr kvadrat | <i>m²</i> |
| Hajm | metr kub | <i>m³</i> |
| Chiziqli tezlik | metr sekund | <i>m/s</i> |
| Tezlanish | metr taqsim sekund kvadrat | <i>m/s²</i> |
| Burchak tezlik | radian taqsim sekund | <i>rad/s</i> |
| Davriy jarayon chastotasi, tebranish chastotasi | gers | <i>Hz</i> |
| Aylanish chastotasi | sekund darajasi minus bir yoki bir taqsim sekund | <i>s⁻¹</i> |
| Zichlik | kg taqsim metr kub | <i>kg/m³</i> |
| Inersiya momenti | kg - metr kvadrat | <i>kg/m²</i> |
| Kuch, og'irlik kuchi, og'irlik | nyuton | <i>N</i> |
| Kuch momenti, juft kuch momenti | nyuton-metr | <i>N · m</i> |
| Bosim, normal mexanik kuchlanish | paskal | <i>Pa</i> |
| Ish, energiya | joul | <i>J</i> |
| Quvvat | vatt | <i>W</i> |
| Selsiy harorati | gradus selsiy | <i>°C</i> |
| Issiqlik, issiqlik miqdori | joul | <i>J</i> |
| Elektr miqdori (elektr zaryadi) | kulon | <i>Kl</i> |
| Elektr maydon kuchlanganligi | volt taqsim metr | <i>V/m</i> |
| Elektr kuchlanish, elektr potensial, elektr yurituvchi kuch (EYuK) | volt | <i>V</i> |
| Elektr sig'im | farada | <i>F</i> |
| Elektr toki zichligi | amper taqsim metr kvadrat | <i>A/m²</i> |
| Elektr tokining chiziqli zichligi | amper taqsim metr | <i>A/m</i> |
| Magnit maydoni kuchlanganligi | amper taqsim metr | <i>A/m</i> |
| MYuK, magnit potentsiallari farqi | amper | <i>A</i> |
| Magnit induksiyasi | tesla | <i>Tl</i> |

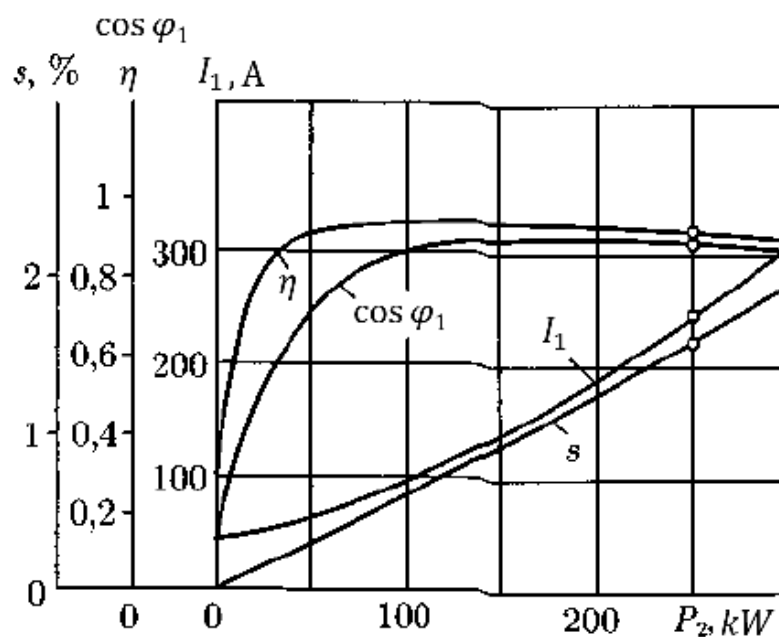
| | | |
|---|--|-----------------------------|
| Magnit oqimi | vebir | V |
| Induktivlik, o'zaro induktivlik | genri | Hn |
| Absolyut magnit o'tkazuvchanlik | genri taqsim metr | Hn/m |
| Magnitlanish (magnitlanish intensivligi) | amper taqsim metr | A/m |
| Elektr qarshilik (aktiv, reaktiv, to'liq) | om | Om |
| Elektr o'tkazuvchanlik (aktiv, reaktiv, to'liq) | simens | Sm |
| Solishtirma elektr qarshilik | om-metr | $Om \cdot m$ |
| Solishtirma elektr o'tkazuvchanlik | simens taqsim metr | Sm/m |
| Magnit qarshilik | genri minus birinchi darajasi | Hn^{-1} |
| Magnit o'tkazuvchanlik | genri | Hn |
| Quvvat: aktiv to'liq reaktiv | vatt volt-amper volt-amper reaktiv | W $V \cdot A$ VAr |
| Elektr magnit energiya | joul | J |

*Texnik xujjatlarda va zavod amaliyotida aylanish chastotasini ayl/min yoki min^{-1} sqabul qilingan $1 ayl/min = 60 c^{-1}$.

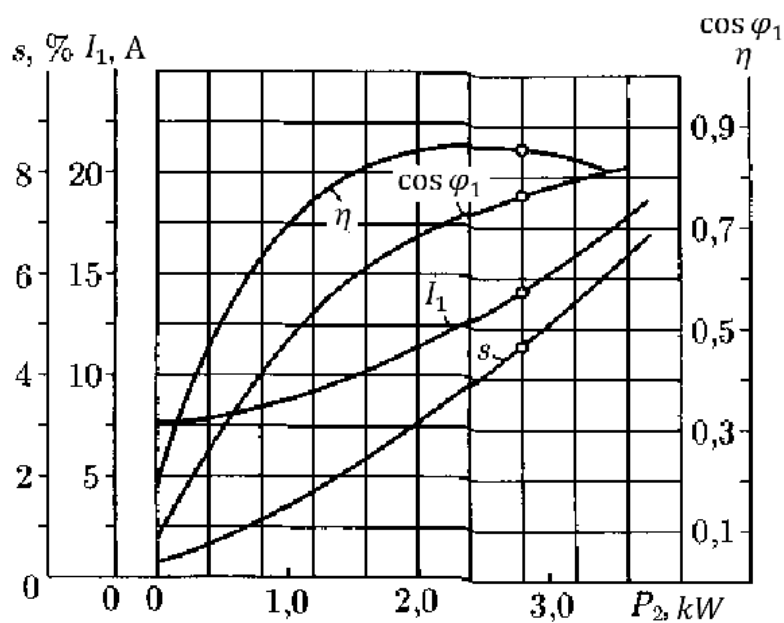
SI birliklari bilan tenglikda qo'llaniladigan birliklar

| Kattalik | Birlikning nomlanishi | Birlikning belgilanishi | SI birligi bilan aloqadorligi |
|--------------------|---------------------------------|------------------------------|---|
| Massa | tonna | t | $10^3 kg$ |
| Vaqt | daqqa soat sutka | min ch sut | $60 s$ $3600 s$ $86400 s$ |
| Tekis burchak | gradus minut sekund | $...^0$ $...'$ $...''$ | $\pi/180 rad \approx 1,745329 \cdot 10^{-2} rad$ $\pi/10800 rad \approx 2,908882 \cdot 10^{-4} rad$ $\pi/648000 rad \approx 4,848137 \cdot 10^{-6} rad$ |
| Hajm | litr | l | $10^{-3} m^3$ |
| Mexanik kuchlanish | nyuton taqsim millimetr kvadrat | N/mm^2 | $1 MPa$ |
| To'liq quvvat | volt-amper | VA | — |
| Reaktiv quvvat | var | VAr | — |

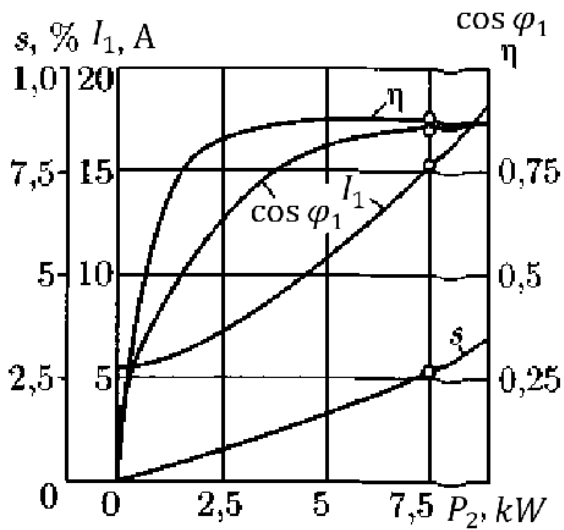
Elektrodvigatellarning ishchi xarakteristikalarini



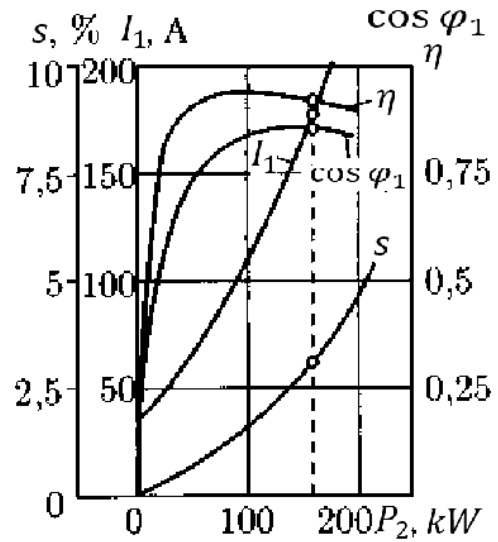
I.2.1-rasm. Quvvat $P_{nom} = 250 \text{ kW}$ bo'lgan uch fazali asinxron motorning ishchi xarakteristikalarini



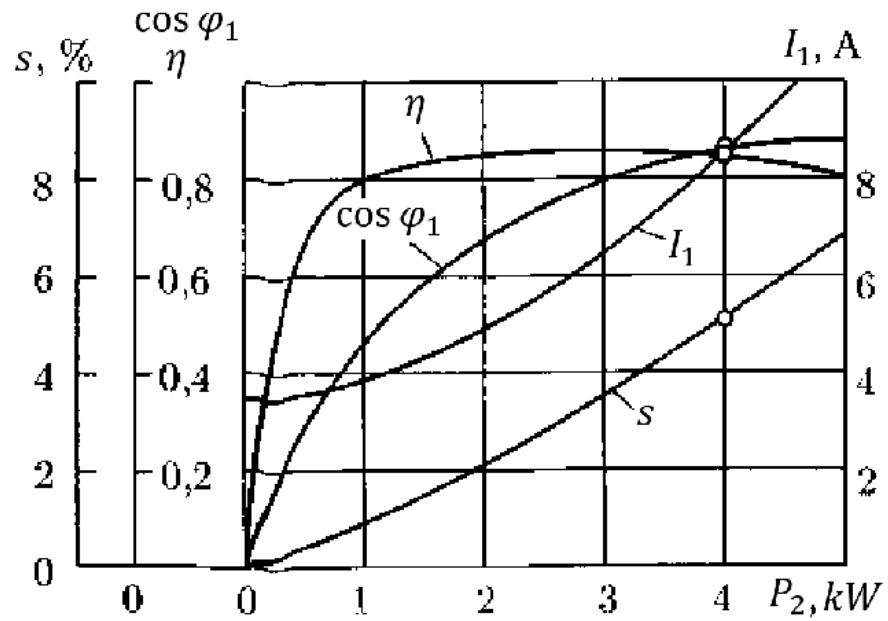
I.2.2-rasm. Quvvat $P_{nom} = 2,8 \text{ kW}$ bo'lgan uch fazali asinxron motorning ishchi xarakteristikalarini



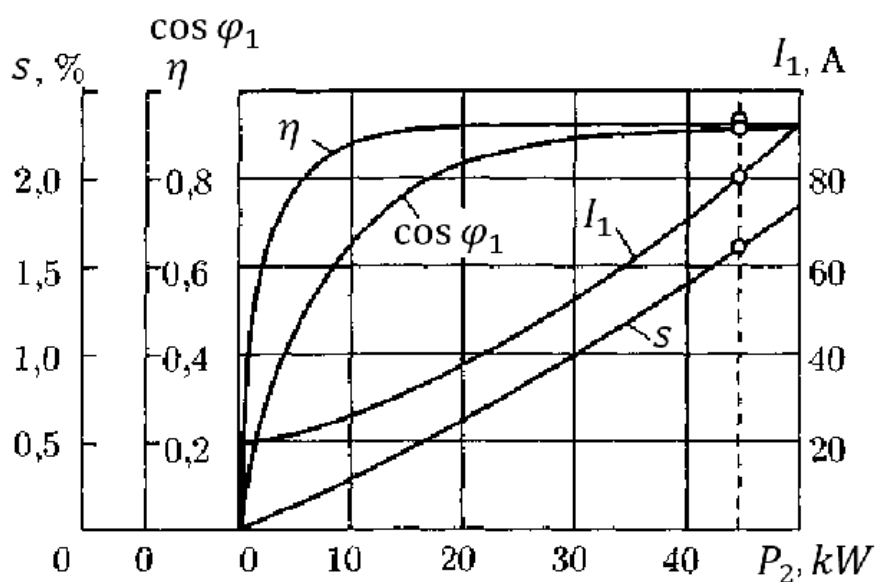
I.2.3-rasm. Quvvat $P_{nom} = 7,5 \text{ kW}$ bo'lgan uch fazali asinxron motorning ishchi xarakteristikalari



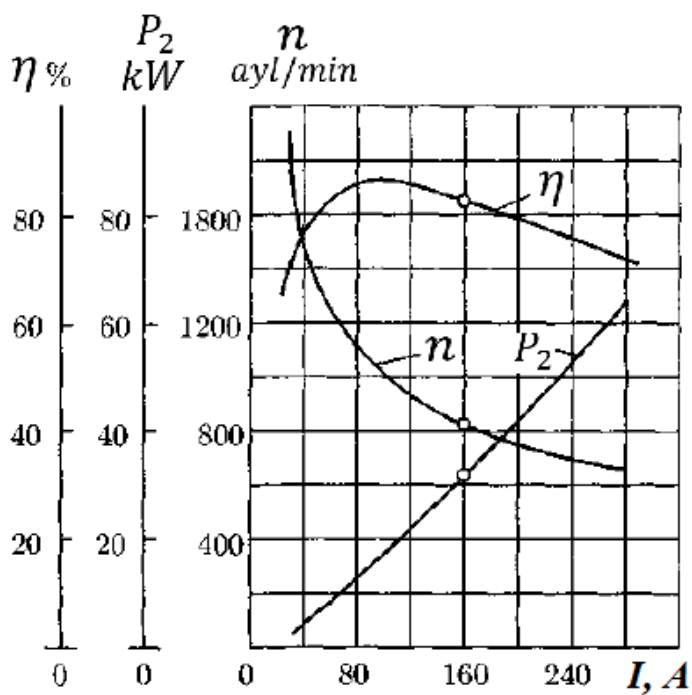
I.2.4-rasm. Quvvat $P_{nom} = 160 \text{ kW}$ bo'lgan uch fazali asinxron motorning ishchi xarakteristikalari



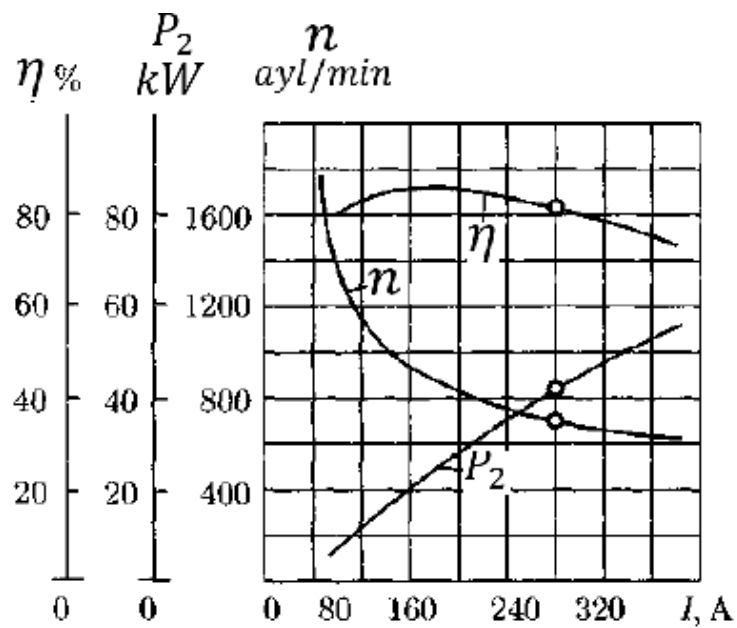
I.2.5-rasm. Quvvat $P_{nom} = 4,0 \text{ kW}$ bo'lgan uch fazali asinxron motorning ishchi xarakteristikalari



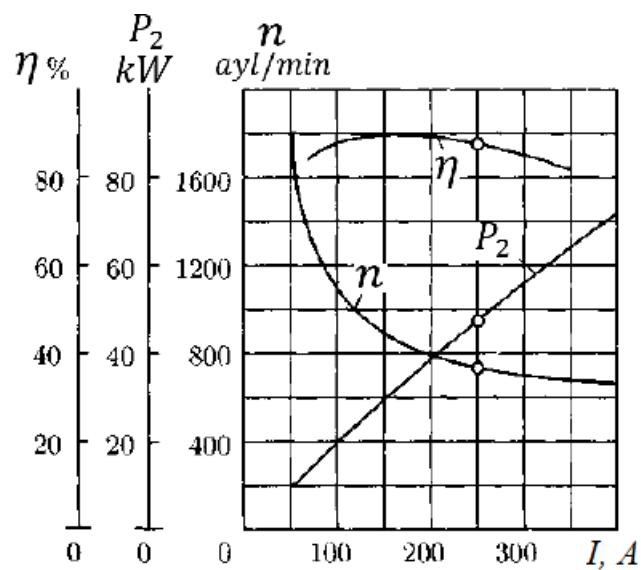
I.2.6-rasm. Quvvat $P_{nom} = 45 \text{ kW}$ bo'lgan uch fazali asinxron motorning ishchi xarakteristikalari



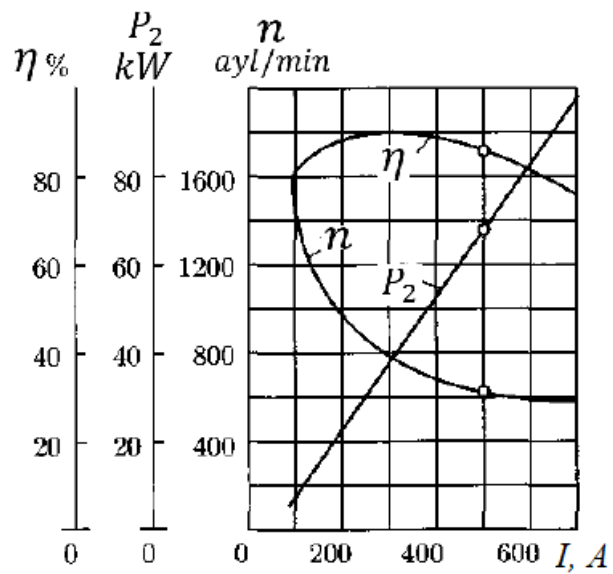
I.2.7-rasm. Nominal toki $I_{nom} = 160 \text{ A}$ bo'lgan ketma ket qo'zg'atishli o'zgarmas tok motorining ishchi xarakteristikasi



I.2.8-rasm. Nominal toki $I_{nom} = 240$ A bo'lgan ketma ket qo'zg'atishli o'zgarmas tok motorining ishchi xarakteristikasi



I.2.9-rasm. Nominal toki $I_{nom} = 250$ A bo'lgan ketma ket qo'zg'atishli o'zgarmas tok motorining ishchi xarakteristikasi



I.2.10-rasm. Nominal toki $I_{nom} = 500 A$ bo'lgan ketma ket qo'zg'atishli o'zgarmas tok motorining ishchi xarakteristikasi

ADABIYOTLAR RO'YXATI

1. Кацман М. М. Справочник по электрическим машинам.-М., 2005. - 479 с.
2. Кацман М. М. Электрические машины. – М., 2006.-475 с.
3. Alimxodjayev K.T., Pirmatov N.B., Ziyoxodjayev T.I. Elektr mashinalari. - T.: “Fan va texnologiya”, 2018. -344 b.
4. Alimxodjayev K.T., Pirmatov N.B., Ziyoxodjayev T.I., Mustafa-kulova G.N. Elektr mashinalari va transformatorlarning ekspluatatsiyasi. - T.: “Fan va texnologiya”, 2019. -240 b.
5. Berdiyev U.T., Pirmatov N.B. Elektromexanika. - T., Shams-Asa. 2014. -392 b.
6. Majidov S. Elektr mashinalari va elektr yuritma. - T.: O’qituvchi, 2002. -358 b.
7. Епифанов А. П., Епифанов Г. А. Электрические машины: Учебник. - СПб.: Издательство «Лань», 2017. - 300 с.
8. Дробов, А.В. Электрические машины: учебное пособие : [12+] / А.В. Дробов, В.Н. Галушко. – Минск : РИПО, 2015. – 292 с.
9. Salimov J.S, Pirmatov N.B. Elektr mashinalari. Darslik. -T.: O’zbekiston faylasuflari milliy jamiyati nashriyoti, 2011. - 408 b.
10. Салимов Ж.С, Пирматов Н.Б. «Трансформаторлар ва автотрансформаторлар». Ўқув қўлланма. -Т.: Вектор – Пресс. 2010.
11. Пирматов Н.Б., Юлдашева О.Э. “Электромеханика”(“Электр машиналари”) фанидан масалалар тўплами. Ўқув қўлланма. Тошкент. 2004. 76 бет.
12. М.М.Кацман. Сборник задач по электрическим машинам. – М.: Издательский центр «Академия», 2012. -154 с.
13. Pirmatov N.B. Transformatorlarni ishlab chiqarish texnologiyasi.-T.: “Cho’lpon”, 2006. 56 s.
14. Jabborov N., Yakubov M. Elektrotexnika va elektronika asoslaridan masalalar to’plami. -T.: “Uzinkomsentr”, 2004. 160 b.

15. Основы электромеханики: Ч. 1. под ред. В. П. Кочеткова / Беспалов В. Я., Котеленец Н. Ф., Подборский Э. Н., // Сиб. федер. ун-т, ХТИ – филиал СФУ. – Абакан: ХТИ – филиал СФУ, 2017. 456 с.
16. Основы электромеханики./ Беспалов В. Я., Котеленец Н. Ф, Глушкин Е. Я, Подборский Э. Н., // Ч. 2. под ред. В. П. Кочеткова. – Саратов: Ай ПИ ЭР Медиа, 2018. – 639 с.
17. Горячев В.Я., Джазовский Н.Б. Электромеханика . Учеб. пособие. – Пенза : Изд-во ПГУ, 2009. –Ч. 1. - 288 с.
18. Шеховцов, В. П. Электрическое и электромеханическое оборудование. / В.П. Шеховцов. - 3-е изд. – М. : ИНФРА-М, 2020. - 407 с.
19. Мальц Э. Л., Мустафаев Ю. Н. Электротехника и электрические машины. –М.: Корона-Век, 2016. -304 с.