

ЎЗБЕКИСТОН РЕСПУБЛИКАСИ ОЛИЙ ВА ЎРТА
МАХСУС ТАЪЛИМ ВАЗИРЛИГИ

АБУ РАЙХОН БЕРУНИЙ НОМИДАГИ
ТОШКЕНТ ДАВЛАТ ТЕХНИКА УНИВЕРСИТЕТИ

ҚАРШИ МУҲАНДИСЛИК – ИҚТИСОД ИНСТИТУТИ

**ЭЛЕКТРОМЕХАНИКА (ЭЛЕКТР МАШИНАЛАРИ)
фанидан масалалар тўплами**

ЎҚУВ ҚЎЛЛАНМА

Тошкент 2004

УДК 621.313.

Пирматов Н.Б. , Юлдашева О.Э.

“Электромеханика” (“Электр машиналари”) фанидан масалалар тўплами. Ўқув қўлланма. Тошкент. 2004. 76 бет.

Ушбу ўқув қўлланмада “Электр машиналари” курсининг ўзгармас ток машиналари, трансформаторлар, асинхрон машиналар ва синхрон машиналарга оид масалалар келтирилган.

Масалаларни ечишдан олдин қисқача назарий маълумотлар ҳам берилган.

Абу Райҳон Беруний номидаги Тошкент давлат техника университети илмий-методик кенгашининг қарорига асосан чоп этилди

Тақризчи:

Имомназаров А.Т.

© Тошкент давлат техника университети, 2004

Кириш

Кўпгина энергетика соҳасидаги йўналишлар талабалари учун тузилган ўқув дастурларида “Электромеханика“ фани бўйича амалий соатлар белгилаб қўйилган.

Шу сабабли, бу қўлланманинг ёзилиши талабалар учун жуда қўл келади. “ Электромеханика “ фанининг назарий қисмини масалалар ечиш билан биргаликда ўрганиш, талабалар билим доираларини кенгайтишига, ишлаб чиқаришнинг электромеханикага оид масалаларини ҳал этиш учун зарур билимларни эгаллашга ёрдам беради.

“ Электромеханика “ фанини мустақил ўрганувчи сиртқи бўлим талабаларига ёрдам бериш мақсадида курснинг барча бўлимлари бўйича ечимлари батафсил баён этилган намунали масалалар ҳам кўрсатилган.

1 – БОБ. ЎЗГАРМАС ТОК МАШИНАЛАРИ

1.1. ЭЮК, кучланиш ва момент тенгламаси

Ўзгармас ток машиналарининг тезлигини бошқариш текис амалга оширилади. Шу сабабли ҳам бундай машиналар кенг кўламда ишлатилади.

Ўзгармас ток машинаси генератор режимида ишлаганда кучланишлар мувозанат тенгламаси кўйидагича бўлади:

$$E = U + I_a R_a, \quad (1)$$

бу ерда: U – якордаги кучланиш; E – якордаги ЭЮК; I_a – якор токи; R_a – якор чулғамининг актив қаршилиги.

Агарда ўзгармас ток машинаси мотор режимида ишласа, унинг кучланишлар мувозанат тенгламаси кўйидагича топилади:

$$U = E + I_a R_a. \quad (2)$$

Якор чулғаидаги момент кўйидагича топилади:

$$M = C_m \Phi I_a, \quad (3)$$

бу ерда: C_m – момент доимийси; $C_m = C_e / 2\pi$; Φ – магнит оқим.

Якор чулғаидаги ЭЮК кўйидагича тенг:

$$E = z n \Phi p/a = C_e n \Phi, \quad (4)$$

бу ерда: n – машинанинг айланиш частотаси; C_e – машина чулғамини характерловчи доимий; z – якор чулғаи периметри; p – жуфт кутблар сони; a – жуфт параллел шохобчалар сони.

Ўзгармас ток машинасининг айланиш частотаси кўйидагича топилади:

$$n = U \cdot 60 / C_e \Phi - I_a \cdot R_a \cdot 60 / C_e \Phi = U \cdot 60 / C_e \Phi - R_a \cdot M \cdot 60 / C_e \cdot K_m \cdot \Phi^2 \quad (5)$$

1.2. Ўзгармас ток машиналарида кўйидаги қувват исрофлари ва ФИК

Ўзгармас ток машиналарида кўйидаги қувват исрофлари мавжуд:

Пўлатдаги исроф

$$P_{II} = k \cdot [P_{1.ог} \cdot f \cdot B^2 / 50 + P_{1.оу} \cdot (f \cdot B / 50)^2] \cdot m_{II}, \quad (6)$$

бу ерда: k – исроф ўзиш коэффициентлари ($k \approx 2 \div 2,5$); $P_{1.ог}$, $P_{1.оу}$ – пластинкалардан йиғилган ўзак учун характерли бўлган уюрма тоқлар ҳосил қилган солиштирма исроф ва гистерезис солиштирма исрофи (бунда $f = 50$ Гц ва $B = 1$ Тл); B – индукциянинг максимум қиймати; m_{II} – пўлат массаси;

Чўтқалардаги исроф

$$P_{\text{ч}} = 9,81 \vartheta_k A_k \rho \mu, \quad (7)$$

бу ерда: ϑ_k – коллекторнинг айланма тезлиги; A_k – чўтқаларнинг коллекторга тегиб турган юзаси; ρ – пружиналарнинг босими; μ – титраш коэффициенти.

Чўтка контактларидаги исроф

$$P_k = \Delta U_k I_a, \quad (8)$$

бу ерда: ΔU_k – чўтқалардаги кучланиш пасайиши (электрографит чўтқалар учун 2 В.).

Механик исроф $P_{\text{мех}}$ машинанинг айланувчи қисмида бўлади.

Якор чулғамидаги исроф

$$P_{\text{я.ч}} = I_a^2 R_a, \quad (9)$$

Кўшимча исрофлар

$$P_{\text{қўш}} = (0,005 \div 0,01) P_n, \quad (10)$$

бу ерда: P_n – машинанинг номинал қуввати.

Кўзгатиш чулғамидаги исроф

$$P_k = U_k I_k = U_k I / R_k. \quad (11)$$

Йиғинди қувват исрофи

$$\Sigma P = P_n + P_{\text{ч}} + P_k + P_{\text{мех}} + P_{\text{я.ч}} + P_{\text{қўш}} + P_k \quad (12)$$

Машинанинг ФИК

$$\eta = P_n / (P_n + \Sigma P)$$

1.3. Намунавий масалалар ечиш

1.3.1. Чиқиш клеммаларида $U = 220$ В бўлган параллел кўзгатишли ўзгармас ток генератори номинал юклама $P_n = 120$ кВт, $n = 1440$ айл / мин тезлик билан ишламоқда. Агарда генераторни мотор режимида $P = 60$ кВт юклама билан ишлатилса, моторнинг айланиш частотасини тонинг. Якор чулғамининг ички қаршилиги $R_a = 0,011$ Ом, кўзгатиш чулғамининг қаршилиги $R_k = 38$ Ом, чўтқалардаги кучланиш пасайиши $\Delta U_k = 2$ В.

Генератор режимидаги ЭЮК $E = U + I_{\text{юк}} R_a + \Delta U_k$,

бу ерда

$$I_{\text{юк}} = I_a + I_k = P_n / U + U / R_k = 120 \cdot 10^3 / 220 + 220 / 38 = 551 \text{ А.}$$

ЭЮК ни топамиз:

$$E = 220 + 551 \cdot 0,011 + 2 = 228 \text{ В} ,$$

бу ердан

$$C_e = E \cdot 60 / n = 228 \cdot 60 / 1440 = 9,5 \text{ В} \cdot \text{с}.$$

Мотор режимида ЭЮК куйидагича топилади:

$$E = U - I_a R_a - \Delta U_c ,$$

бундан

$$I_a = I_{\text{ист}} - I_k = P / U - U / R_k = 60 \cdot 10^3 / 220 - 220 / 38 = 267 \text{ А}.$$

$$E = C_e n \quad \text{тенгликдан фойдаланиб,}$$

$$n = (U - I_a R_a - \Delta U_c) \cdot 60 / C_e = (220 - 267 \cdot 0,011 - 2) \times 60 / 9,5 = 1358 \text{ айл/мин}.$$

1.2.3. Мустақил кўзгатишли генераторнинг техник маълумотлари куйидагича: номинал қуввати $P_n = 16 \text{ кВт}$, номинал кучланиши $U_n = 230 \text{ В}$, якор чулғамининг қаршилиги $R_a = 0,12 \text{ Ом}$, кўзгатиш занжирининг қаршилиги $R_k = 18 \text{ Ом}$, кўзгатиш занжирининг кучланиши $U_k = 110 \text{ В}$.

Механик ва магнит исрофлар генератор номинал қувватининг 4,5 % ни ташкил этади. Генераторнинг ЭЮК, ФИК аниқлансин.

Ечиш. Генераторнинг ЭЮК

$$E = U + I_a R_a$$

Мустақил кўзгатишли генераторда

$$I_a = I_k .$$

Генераторнинг номинал токи

$$I_n = \frac{P_n}{U_n} = \frac{16 \cdot 10^3}{230} = 69,57 \text{ А} ,$$

у ҳолда

$$E = 230 + 69,57 \cdot 0,12 = 138,35 \text{ В}.$$

Генераторнинг номинал режимдаги ФИК

$$\eta = \frac{P_n}{P_n + \sum P} .$$

Кўзгатиш чулғамидаги қувват исрофи

$$P_k = \frac{U_k^2}{R_k} = \frac{110^2}{18} = 672 \text{ Вт} = 0,672 \text{ кВт.}$$

Якор чулгамидаги қувват исрофи

$$P_{я} = I_{я}^2 R_{я} = 69,57^2 \cdot 0,12 = 581 \text{ Вт} = 0,581 \text{ кВт.}$$

Шарт бўйича

$$P_{мех} + P_{маг} = 0,045 \cdot P_{н} = 0,045 \cdot 16 \cdot 10^3 = 720 \text{ Вт} = 0,72 \text{ кВт.}$$

ФИК

$$\eta = \frac{P_{н}}{P_{н} + P_k + R_{я} + P_{мех} + P_{маг}} = \frac{16}{16 + 0,672 + 0,581 + 0,72} = 0,89.$$

1.3.3. Тўлқинсимон чулғамли ўзгармас ток машинасининг қуйидаги параметрлари берилган: якор пазлари сони $z = 25$; жуфт кутблар сони $p = 2$, секциядаги (ғалтакдаги) ўрамлар сони $\omega = 4$, битта пазга ва битта қатламга тегишли ғалтак томонлари сони $U = 3$, магнит оқим $\Phi = 0,65 \cdot 10^{-2}$ Вб, якор токи $I_{я} = 27$ А, айланиш частотаси $n = 1500$ айл/мин. Машинанинг электромагнит қуввати аниқлансин.

Ечиш. Машинанинг электромагнит қуввати $P_{эм} = EI_{я}$.

ЭЮК

$$E = z p n \Phi / a = C_e n \Phi.$$

Якор чулғамининг эффектив симларини сонини топамиз

$$Z = 2 p \omega z = 2 \cdot 3 \cdot 4 \cdot 25 = 600.$$

Машина чулғамини характерловчи доимий

$$C_e = \frac{z p}{a} = \frac{600 \cdot 2}{1} = 1200, \text{ бу ерда } a = 1.$$

ЭЮКни аниқлаймиз

$$E = C_e \Phi n / 60 = 1200 \cdot 0,0065 \cdot 1500 / 60 = 195 \text{ В.}$$

Электромагнит қувват

$$P_{эм} = EI_{я} = 195 \cdot 27 = 5265 \text{ Вт.}$$

1.3.4. Мустақил қўзғатишли генератор салт ишлаганда унинг клеммаларидаги (учларидаги) кучланиш $U_0 = 248$ В. Якорнинг айланиш частотаси $n = 1000$ айл / мин, якор чулғамининг қаршилиги $R_{я} = 0,19$ Ом. Юклама уланганда ток $I = 53$ А, кучланиш $U = 220$ В бўлди. Юклама улангандан кейинги

якорнинг айланиш частотаси аниқлансин. Магнит оқимининг ўзгариши эътиборга олинмасин.

Ечиш. Генераторнинг салт ишлагандаги ЭЮК

$$E_0 = U_0 = 248 \text{ В.}$$

Юклама билан ишлагандаги ЭЮК

$$E = U + I_{\text{я}} R_{\text{я}} = 220 + 53 \cdot 0,19 = 230 \text{ В.}$$

Салт ишлаганда ЭЮК

$$E_0 = C n_0 \Phi.$$

Юклама билан ишлаганда эса:

$$E = C n \Phi, \text{ чунки шарт бўйча } \Phi \approx \text{const.}$$

У ҳолда

$$\frac{E_0}{E} = \frac{n_0}{n},$$

бундан

$$n = \frac{E * n_0}{E_0} = \frac{230}{248} * 1000 = 927 \text{ айл / мин.}$$

1.3.5. Учларида кучланиши $U = 110 \text{ В}$ бўлган мустақил кўзғатишли ўзгармас ток генераторининг юкламаси 3 кВт дан $1,5 \text{ кВт}$ гача камайса, магнит оқимини неча фоизга камайтириш керак. Бунда кучланиш ўзгармас, яъни $U = 110 \text{ В} = \text{const}$ бўлсин. Чўтқалардаги кучланиш пасайиши $\Delta U_{\text{к}} = 2 \text{ В}$, қувват исрофлари ҳисобга олинмасин, якор реакцияси таъсири ва якор чулғамидаги қувват исрофи ҳисобга олинсин. Якор чулғами қаршилиги $R_{\text{я}} = 0,5 \text{ Ом}$.

Ечиш. Юкламанинг икки қиймати учун кучланишлар мувозанат тенгламаси

$$U = E_1 - I_{\text{я1}} R_{\text{я}} - \Delta U_{\text{к}};$$

$$U = E_2 - I_{\text{я2}} R_{\text{я}} - \Delta U_{\text{к}};$$

ва

$$E_1 = \frac{zP}{a} \Phi_1 n / 60 = C_e \Phi_1 n / 60 = k\Phi_1,$$

худди шунингдек,

$$E_2 = k\Phi_2.$$

Якор чулғамидаги тоқлар

$$I_{z1} = \frac{P_1}{U} = \frac{3000}{110} = 27,3 \text{ A} ;$$

$$I_{z2} = \frac{P_2}{U} = \frac{1500}{110} = 13,65 \text{ A} .$$

Куйидаги нисбатни ёзиш мумкин

$$\frac{E_2}{E_1} = \frac{k\phi_2}{k\phi_1} = \frac{U + I_{z2}R_{\kappa} + \Delta U_{\kappa}}{U + I_{z1}R_{\kappa} + \Delta U_{\kappa}} - 1 = \frac{110 + 13,65 * 0,5 + 2}{110 + 27,3 * 0,5 + 2} - 1 = -0,055.$$

Демак, магнит оқими 5,5 % га камайтириш керак экан.

1.3.6. Параллел кўзғатишли генераторнинг номинал кучланиши $U_n = 230 \text{ В}$, юклама токи $I = 160 \text{ А}$. Якор чулғамининг қаршилиги $R_{\kappa} = 0,11 \text{ Ом}$, кўзғатиш чулғамининг қаршилиги $R_{\kappa} = 72 \text{ Ом}$. Якор чулғамидаги ЭЮК E ва ток I_{κ} , генератор бераётган қувват P_2 ва якор чулғамидаги қувват исрофи P_{κ} аниқлансин.

Ёзиш. Кўзғатиш занжиридаги ток

$$I_{\kappa} = \frac{U}{R_{\kappa}} = \frac{230}{72} = 3,2 \text{ А}.$$

Якор чулғамидаги ток

$$I_{\kappa} = I + I_{\kappa} = 160 + 3,2 = 163,2 \text{ А}.$$

Якордаги ЭЮК

$$E = U + I_{\kappa} R_{\kappa} = 230 + 163,2 \cdot 0,11 = 248 \text{ В}.$$

Фойдали қувват

$$P_2 = U I = 230 \cdot 160 = 36800 \text{ Вт} = 36,8 \text{ кВт}.$$

Якор чулғамидаги қувват исрофи

$$P_{\kappa} = I_{\kappa}^2 R_{\kappa} = 163,2^2 \cdot 0,11 = 2930 \text{ Вт} = 2,93 \text{ кВт}.$$

1.3.7. Кучланиши $U = 110 \text{ В}$ бўлган электр тармоғига параллел кўзғатишли ўзгармас ток мотори уланган. Якор чулғамининг қаршилиги $R_{\kappa} = 0,07 \text{ Ом}$. Юкларнинг ярим қийматида моторнинг айланиш частотаси $n = 1400 \text{ айл/мин}$, якор токи $I_{\kappa} = 74 \text{ А}$. Агарда якор чулғамига ташқи қаршилиқ $R_{\tau} = 0,3 \text{ Ом}$ уланса ва юклама моменти икки мартага ошганда, моторнинг айланиш частотасини аниқланг. Бунда якор реакцияси ҳисобга олинмасин, чўткалардаги кучланиш пасайиши $\Delta U_{\kappa} = 2 \text{ В}$.

Ечиш. Бу икки ҳол учун моментлар тенгламаси

$$M_1 = C_m \Phi I_{я1} ; M_2 = 2C_m \Phi I_{я1} .$$

Бунда, $I_{я2} = 2I_{я1} = 2 \cdot 74 = 148 \text{ А}$.

Биринчи ҳол учун кучланишлар мувозанат тенгламаси

$$E_1 = U - I_{я1} R_{я} - \Delta U_{к} = 110 - 74 \cdot 0,07 - 2 = 102,8 \text{ В}.$$

бу ерда:

$$C_e \Phi = \frac{E}{n} 60 = \frac{102,8}{1400} 60 = 4,41 \text{ Вб}.$$

Иккинчи ҳол учун кучланишлар мувозанат тенгламаси

$$E_2 = U - I_{я2} (R_{я} + R_T) - \Delta U_{к} = 110 - 148 \cdot (0,07 + 0,3) - 2 = 53,2 \text{ В}.$$

Моторнинг айланиш частотаси

$$n_1 = \frac{E_2 \cdot 60}{c_e \phi} = \frac{53,2 \cdot 60}{4,41} = 724 \text{ айл / мин}.$$

1.3.8. Икки қутбли параллел кўзғатишли генераторнинг якор чулғамларини кесиб ўтаётган магнит оқими $\Phi = 0,03 \text{ Вб}$. Чулғам актив симлари сонининг жуфт параллел шохобчалар сонига нисбати $N / a = 300$. Якорнинг айланиш частотаси $p=2000 \text{ айл/мин}$.

Агар якор занжирининг қаршилиги $R_{я} = 0,2 \text{ Ом}$, юклама токи 56 А , кўзғатиш токи $I_{к} = 4 \text{ А}$ бўлса, генераторнинг электромагнит (тормозловчи) momenti ва учларидаги кучланишни топинг.

Ечиш. Генераторнинг ЭЮК

$$E = \frac{N}{a} \cdot \frac{pn}{60} \Phi = 300 \cdot \frac{1 \cdot 2000}{60} \cdot 0,03 = 300 \text{ В} ,$$

бу ерда: p – жуфт қутблар сони. Генератор икки қутбли бўлгани учун $p = 1$.

Генератор учларидаги кучланиш

$$U_T = E - I_{я} R_{я} = 300 - 60 \cdot 0,2 = 288 \text{ В} ,$$

бу ерда: $I_{я} = I + I_{к} = 56 + 4 = 60 \text{ А}$.

Генераторнинг электромагнит momenti

$$M = \frac{N}{a} \cdot \frac{p}{2\pi} \Phi I_{я} = C_m \Phi I_{я} ,$$

$$\text{бу ерда: } C_{\text{и}} = \frac{N}{a} * \frac{\rho}{2\pi} = 300 \cdot \frac{1}{2 * 3,14} = 47,8 ,$$

у ҳолда

$$M = 47,8 \cdot 0,03 \cdot 60 = 86 \text{ Н}\cdot\text{м}.$$

1.3.9. Икки кубли ўзгармас ток генераторнинг якор чулғами $z=1200$ симдан иборат. Битта симнинг чулғам тирсак қисми билан биргаликдаги узунлиги $l=0,39$ м. Симнинг кўндаланг кесим юзаси $A_{\text{си}}=2 \text{ мм}^2$. Учларидаги кучланиш $U = 110 \text{ В}$ бўлганда генератор тармоқга $P= 3,5 \text{ кВт}$ қувват беради. Генераторнинг якор чулғами қаршилиги $R_{\text{я}}$ 20°C да аниқлансин ва 75°C да якор чулғаидаги қувват исрофи топилсин. Мустақил кўзгатишли генератор якор чулғами мисдан тайёрланган бўлиб , 20°C да миснинг солиштира қаршилиги $\rho= 0,0172 \text{ мкОм}\cdot\text{м}$.

Ечиш. Битта параллел шохобчадаги якор чулғамининг қаршилиги

$$R_{\text{я}} = \frac{z}{2a} \rho \frac{l}{A_{\text{си}}} = \frac{1200}{2 * 2} \cdot 0,0172 \cdot \frac{0,39}{2} = 1 \text{ Ом}.$$

Чўткалар орасидаги якорнинг қаршилиги

$$R_{\text{я}} = \frac{1}{2a} R_{\text{я}} = \frac{1}{4} \cdot 1 = 0,25 \text{ Ом}.$$

Якор токи

$$I_{\text{я}} = \frac{P_{\text{и}}}{U} = \frac{3,5 * 10^3}{110} = 31,8 \text{ А}.$$

Якор чулғаидаги кучланиш пасайиши

$$\Delta U_{\text{я}} = I_{\text{я}} R_{\text{я}} = 31,8 \cdot 0,25 = 7,95 \text{ В}.$$

75°C даги якор қаршилиги

$$R_{\text{я},75} = R_{\text{я},20} \frac{235 + 75}{235 + 20} = 0,25 \frac{310}{225} = 0,304 \text{ Ом}.$$

75°C даги якор чулғаидаги исроф

$$P_{\text{и}} = I_{\text{я}}^2 R_{\text{я},75} = 31,8^2 \cdot 0,304 = 307 \text{ Вт}.$$

1.3.10. Айланиш частотаси $n=1000$ ай/мин бўлган ўзгармас ток мотори юксиз ишламоқда; ундаги гистерезис исрофи $P_{\text{г}}= 2500 \text{ Вт}$, уярма тоқлар ҳосил қилган қувват исрофи $P_{\text{у}}= 1000$

Вт. Магнит оқим ўзгармас $\Phi = \text{const}$ деб қабул қилинган ҳол учун, қандай айланиш частотасида пўлатдаги исрофлар икки мартага камаяди? Бунда кўзғатиш чулғамидаги ва механик исрофлар ҳисобга олинмаган.

Ечиш. Гистерезис исрофи

$$P_{f'} = P_{1.ог} \frac{f}{50} B^2 G_{\text{нун}} = \kappa_1 f = \kappa_1^* n,$$

бундан

$$\kappa_1^* = \frac{P_{f'}}{n} = \frac{2500}{1000} * 60 = 150 \text{ Вт}\cdot\text{с}.$$

Уярма тоқлар ҳосил қилган исроф

$$P_y = P_{1.оу} \frac{f^2}{50^2} B^2 G_{\text{нун}} = \kappa_2 f^2 = \kappa_2^* n^2;$$

$$\kappa_2^* = \frac{P_y}{n^2} = \frac{1000}{1000^2} * 60^2 = 3,6 \text{ Вт}\cdot\text{с}^2.$$

Пўлатдаги исроф $n = 1000$ айл / мин

$$P_{\text{нун}} = P_{f'} + P_y = 2500 + 1000 = 3500 \text{ Вт}.$$

Қуйидаги тезликда n , пўлатдаги исроф икки мартага камаяди

$$\frac{P_{\text{нун}}}{2} = \kappa_1^* n_1 + \kappa_2^* n_1^2.$$

Бу ҳол учун иккинчи даражали тенглама

$$3,6n_1^2 + 150n_1 - 1750 = 0.$$

Бу тенглама ечими:

$$n_{1,2} = \frac{-150 \pm \sqrt{150^2 + 4 * 1750 * 3,6}}{7,2} * 60 = -1250 \pm 1820 = \begin{cases} 570 \text{ айл / мин,} \\ -3070 \text{ айл / мин.} \end{cases}$$

$n = -3070$ айл/мин физик жиҳатдан мумкин эмас, демак $n = 570$ айл /мин тўғри бўлади.

1.4. Мустақил ечиш учун масалалар

1.4.1. Ўзгармас ток моторининг кучланиш $U = 440$ В, номинал қуввати $P_n = 120$ кВт, ФИК $\eta = 92\%$ бўлса, мотор тармоқдан қандай токни истеъмол қилади?

1.4.2. Мустақил қўзғатишли генератор салт ишлаётганда кучланиш $U_0 = E_f = 150 \text{ В}$. Якорнинг айланиш частотаси $n = 1800$ айл / мин бўлиб, чулғамларни кесиб ўтаётган магнит оқими $\Phi = 2,5 \text{ Вб}$ бўлса, генераторнинг доимийси C_E аниқлансин.

1.4.3. Тўрт қутбли ўзгармас ток генераторни чулғамларини кесиб ўтаётган магнит оқими $\Phi = 1 \cdot 10^{-2} \text{ Вб}$. Якорнинг айланиш частотаси $n = 1500$ айл / мин, чулғамдаги актив симларнинг сони $N = 600$, жуфт параллел шохобчаларнинг сони $a=4$. Якор чулғамларида индуктивланган ЭЮК ни топинг.

1.4.4. Ўзгармас ток генераторнинг якор чулғамларини кесиб ўтаётган магнит оқими $\Phi = 0,02 \text{ Вб}$, машина доимийси $C_e = 10$. Якорнинг айланиш частотаси 1000, 1500 ва 2000 айл/мин бўлганда якор чулғамидаги индуктивланган ЭЮК лар аниқлансин.

1.4.5. Параллел қўзғатишли моторнинг клеммаларига берилган кучланиш $U = 220 \text{ В}$. Қўзғатиш чулғамининг қаршилиги $R_k = 40 \text{ Ом}$. Қўзғатиш токи $I_k = 2,5 \text{ А}$ дан ортмаслиги учун ростлаш реостатининг қаршилиги неча Ом га тенг бўлиши керак?

1.4.6. Параллел қўзғатишли генераторнинг номинал кучланиши $U_n = 120 \text{ В}$, якорнинг номинал айланиш частотаси $n_n = 1000$ айл/мин, номинал токи $I_{я,n} = 80 \text{ А}$ ва якор чулғамининг қаршилиги $R_я = 0,15 \text{ Ом}$. Генераторни мотор сифатида ишлатганда якор чулғамида индуктивланган тескари ЭЮК ва якорнинг айланиш частотаси топилсин. Машинанинг магнит оқими иккала режимда ҳам ўзгармас деб ҳисоблансин.

1.4.7. Ўзгармас ток генератори клеммасидаги кучланиш $U = 170 \text{ В}$, якор токи $I_я = 765 \text{ А}$. Агарда ФИК $\eta = 91 \%$ бўлса генератор ва бирламчи мотор бераётган қувватларни топинг.

1.4.8. Якор чулғами қаршилиги $R_я = 0,43 \text{ Ом}$ бўлган кетма-кет қўзғатишли ўзгармас ток мотори кучланиши $U = 110 \text{ В}$ бўлган тармоққа уланган. Маълум юкламада якор токи $I_я = 30 \text{ А}$, айланиш частотаси $n = 1500$ айл / мин. Агарда якор чулғамига кетма-кет қилиб қўшимча $R_{\text{қўш}} = 2 \text{ Ом}$ қаршилик улаб, юклама шундай танлансинки, якор токи $I_я = 30 \text{ А}$ қолиши учун, $U = 110 \text{ В}$

кучланишда моторнинг айланиш частотаси топилсин. Бунда чўткалардаги кучланиш пасайиши ҳисобга олинмасин.

1.4.9. Икки қутбли параллел қўзғатишли ўзгармас ток мотори кучланиши $U = 220$ В бўлган тармоқда уланган. Якордаги тўлқинсимон чулғам симларининг сони $z = 650$, якор чулғами қаршилиги $R_{\text{я}} = 0,8$ Ом, магнит оқим $\Phi = 0,63 \cdot 10^{-2}$ Вб, якор токи $I_{\text{я}} = 27$ А бўлганда моторнинг айланиш частотаси аниқлансин.

Чўткалардаги кучланиш пасайиши $\Delta U_{\text{к}} = 2$ В. Якор реакциясининг таъсири ҳисобга олинмасин.

1.4.10. Мустақил қўзғатишли ўзгармас ток мотори кучланиши $U = 220$ В бўлган тармоққа уланган. Моторнинг юклама momenti номинал моментга тенг, айланиш частотаси $n = 1440$ айл / мин, якор токи $I_{\text{я}} = 50$ А, якор чулғами қаршилиги $R_{\text{я}} = 0,4$ Ом. Агарда юклама momenti икки мартага камайса, моторнинг тезлиги қанча бўлади? Чўткалардаги кучланиш пасайиши $\Delta U_{\text{к}} = 2$ В.

Жавоблар

- 1.4.1. $I_{\text{я}} = 296$ А
- 1.4.2. $C_{\text{е}} = 2$
- 1.4.3. $E = 75$ В
- 1.4.4. 200 В, 300 В, 400 В
- 1.4.5. $r_{\text{р}} = 48$ Ом
- 1.4.6. $E_{\text{г}} = 108$ В, $n = 818$ В
- 1.4.7. $P_{\text{г}} = 130$ кВт, $P_{\text{м}} = 143$ кВт
- 1.4.8. $n = 573$ айл/мин
- 1.4.9. $n = 2878$ айл/мин
- 1.4.10. $n = 1513$ айл/мин

2- БОБ. ТРАНСФОРМАТОРЛАР

2.1. Трансформаторни эксплуатациялаш режимлари

Трансформаторнинг тўла қуввати қуйидагича топилади

$$S = m U I, \quad (1)$$

бу ерда: m – фазалар сони; U – кучланиш, I – ток.

Тўла қувватнинг реактив ташкил этувчиси

$$Q = m U I \sin \varphi, \quad (2)$$

бу ерда: φ – ток ва кучланиш орасидаги бурчак.

Тўла қувватнинг актив ташкил этувчиси

$$P = m U I \cos \varphi. \quad (3)$$

Маълумки магнит оқими Φ бирламчи ва иккиламчи чулғамларда ЭЮК E_1 ва E_2 ларни ҳосил қилади:

$$E_1 = 4,44 f \omega_1 \Phi$$

$$E_2 = 4,44 f \omega_2 \Phi, \quad (4)$$

бу ерда: f – тармоқ частотаси; ω_1 , ω_2 - тегишлича бирламчи ва иккиламчи чулғамларнинг ўрамлиқ сони; Φ – магнит оқимнинг максимал қиймати.

Трансформаторнинг трансформациялаш коэффициентлари

$$k_T = \frac{E_1}{E_2} = \frac{\omega_1}{\omega_2} = \frac{U_1}{U_2} = \frac{I_2}{I_1}. \quad (5)$$

Бирламчи ва иккиламчи чулғамдаги МЮК лар

$$F_1 = I_1 \omega_1; \quad F_2 = I_2 \omega_2 \quad (6)$$

Иккиламчи чулғам параметларини бирламчи чулғам параметларига келтирилган қийматлари:

Келтирилган ток

$$I_2' = I_2 / k_T; \quad (7)$$

Келтирилган кучланиш

$$U_2' = k_T U_2; \quad (8)$$

Келтирилган актив ва индуктив қаршилиқлар

$$R_2' = k_T^2 R_2; \quad x_2' = k_T^2 x_2. \quad (9)$$

2.2. Трансформатор кучланишларининг мувозанат тенгламаси

Салт ишлаётган трансформатор кучланишларининг мувозанат тенгламаси:

$$\dot{U}_1 = -\dot{E} + \dot{I}_x R_1 + j\dot{I}_x x_1 = -\dot{E} + \dot{I}_x (R_1 + jx_1), \quad (10)$$

бу ерда: \dot{I}_x - салт ишлаш токи вектори.

Юклама билан ишлаётган трансформатор кучланишларининг мувозанат тенгламаси

$$\dot{U}_1 = -\dot{E} + \dot{I}_1 R_1 + j\dot{I}_1 x_1 = -\dot{E} + \dot{I}_1 (R_1 + jx_1). \quad (11)$$

$$-\dot{E} = \dot{U}_2' - \dot{I}_2' R_2' - j\dot{I}_2' x_2' = \dot{U}_2' - \dot{I}_2' (R_2' + jx_2') \quad (12)$$

$$\dot{I}_1 + \dot{I}_2' = \dot{I}_x. \quad (13)$$

Трансформаторнинг қувват коэффициенти

$$\cos \varphi = P / \sqrt{3}UI \quad (14)$$

Қисқа туташув кучланиши

$$U_{KT} = \frac{U_{КТН}}{U_{ИН}} * 100. \quad (15)$$

Қисқа туташув кучланишининг абсолют қиймати

$$U_{KT} = \sqrt{U_a^2 + U_p^2} \quad (16)$$

Қисқа туташув режимидаги қувват коэффициенти

$$\cos \varphi_{KT} = \frac{R}{Z} = \frac{R}{\sqrt{R^2 + X^2}} = \frac{U_a}{U_p} = \frac{U_a}{\sqrt{U_a^2 + U_p^2}}. \quad (17)$$

2.3. Трансформаторнинг ФИК ва қувват исрофлари

Трансформаторларда асосан чулғамлардаги қувват исрофи P_ψ ва пўлатдаги исроф P_n лар бўлади.

Пўлатдаги исроф

$$P_n \approx k_{tr} P_{1.0} (B_m)^2 m_n, \quad (18)$$

бу ерда: $P_{1.0}$ - индукция 1 Тл бўлган 1 кг пўлатдаги солиштирма қувват исрофи; m_n - магнит ўтказгичнинг (пўлатнинг) массаси; k_{tr} - магнит ўтказгичнинг конструкциясига ва унга ишлов

беришга боғлиқ бўлган доимий. Бу доимийнинг ўртача қиймати $k_{rr}=1,2$ га тенг.

Чулғамлардаги электр исрофлар

$$P_{\text{ч}} = m_1 I_{1\phi}^2 R_1 + m_2 I_{2\phi}^2 R_2, \quad (19)$$

бу ерда: m_1, m_2 - бирламчи ва иккиламчи чулғамларнинг фазалар сони; $I_{1\phi}, I_{2\phi}$ - тегишлича чулғамларнинг фаза тоқлари; R_1, R_2 - тегишлича чулғамларнинг актив қаршилиги.

Трансформаторнинг ФИК

$$\eta = \frac{P_2}{P_2 + P_n + P_r} * 100 = \frac{P_1 - P_n - P_r}{P_1} * 100, \quad (20)$$

ёки тўла қувват орқали ФИК ни ёзсак, у ҳолда

$$\eta = \frac{S_2 \cos \varphi_2}{S_2 \cos \varphi_2 + P_n + P_r} * 100 \quad (21)$$

(21) тенгламанинг сурати ва махражини $S_2 \cos \varphi_2$ га бўлиб,

ҳамда $P_{\text{ч}} = P_{\text{чн}} \left(\frac{S_2}{S_{\text{н}}} \right) = P_{\text{чн}} x^2$ ни киритиб

$$\eta = \frac{1}{1 + \frac{P_n + P_{\text{ч}}}{S_2 \cos \varphi_2}} * 100 = \frac{1}{1 + \frac{P_n + x^2 P_{\text{чн}}}{S_2 \cos \varphi_2}} * 100 \quad (22)$$

2.4. Трансформаторнинг иккиламчи чулғамдаги кучланишини ўзгартириш

Агарда трансформаторнинг бирламчи чулғамидаги кучланиш $U_1 = \text{const}$ деб ҳисобласак, у ҳолда иккиламчи чулғамнинг кучланиш U_2 юклама характериға қараб ўзгаради.

Кучланиш пасайиши

$$\Delta U = U_1 - U_2 \approx IR \cos \varphi_2 + Ix \sin \varphi_2 = I(R \cos \varphi_2 + x \sin \varphi_2). \quad (23)$$

(23) дан U_2' ни топсак

$$U_2' = U_1 - I(R \cos \varphi_2 + x \sin \varphi_2). \quad (24)$$

(24) дан иккинчи ташкил этувчини U_{1H} га бўлиб, қуйидагига эга бўламиз

$$U_{KT} = U_a \cos \varphi_2 + U_p \sin \varphi_2. \quad (25)$$

(25) тенглама $\cos \varphi_2 \leq 0,04$ да жуда яхши натижа беради, агарда $\cos \varphi_2 > 0,05$ бўлса, у ҳолда қуйидаги формулани қўллаш лозим

$$U_{KT} = (U_a \cos \varphi_2 + U_p \sin \varphi_2) + \frac{1}{200} (U_p \cos \varphi_2 - U_a \sin \varphi_2). \quad (26)$$

2.5. Намунавий масалалар ечиш

2.5.1. Қуввати $S_H = 100$ кВт ва кучланишлари $U_1 / U_2 = 5000 / 400$ В бўлган бир фазали магнит ўтказгичи бронли бўлган трансформатор берилган. Битта ўрамга таъсир этувчи кучланиш $U_y = 4,26$ В, частота $f = 50$ Гц бўлса, трансформаторнинг иккала чулғамларининг ўрамлари сони ω_1 ва ω_2 лар аниқлансин; ток зичлиги $j = 3,2$ А / мм² бўлганда чулғам симларининг кесим юзалари A_1 ва A_2 лар аниқлансин, индукция $B_m = 1,4$ Тл бўлганда магнит ўтказгичнинг кўндаланг кесим юзаси аниқлансин.

Ечиш. Ўрамлар сони

$$\omega_1 = \frac{U_1}{U_y} = \frac{5000}{4,26} = 1173 ,$$

$$\omega_2 = \frac{U_2}{U_y} = \frac{400}{4,26} = 94 .$$

Номинал тоқлар

$$I_{1H} = \frac{S_H}{U_1} = \frac{100 * 10^3}{5 * 10^3} = 20 \text{ А} ,$$

$$I_{2H} = \frac{S_H}{U_2} = \frac{100 * 10^3}{0,4 * 10^3} = 250 \text{ А} .$$

Чулғам симларининг кесим юзаси

$$A_1 = \frac{I_{1H}}{j} = \frac{20}{3,2} = 6,25 \text{ мм}^2,$$

$$A_2 = \frac{I_{2H}}{j} = \frac{250}{3,2} = 78,12 \text{ мм}^2.$$

Магнит оқим

$$\Phi = \frac{U_v}{B_m} = \frac{0,01918}{1,4} = 0,0137 \text{ м}^2 = 137 \text{ см}^2.$$

2.5.2. 2.5.1 – масалада келтирилган трансформаторнинг салт ишлаш ва қисқа тугашув тажрибаси ўтказилган. Тажрибадан олинган натижалар:

Салт ишлаш қувват исрофи $P_0 = 900$ Вт;

Салт ишлашдаги кучланиши $U_0 = 320$ В;

Салт ишлаш токи $I_0 = 16,5$ А;

Қисқа тугашув қувват исрофи $P_{KT} = 1250$ Вт;

Қисқа тугашув кучланиши $U_{KT} = 240$ В;

Қисқа тугашув токи $I_{KT} = 13$ А.

Трансформаторнинг пўлатидаги қувват исрофи P_n , чулғамидаги қувват исрофи P_q , салт ишлашдаги қувват коэффициенти $\cos\varphi_0$, қисқа тугашувдаги қувват коэффициенти $\cos\varphi_{KT}$ ва қисқа тугашув кучланишининг фоиздаги қиймати топилсин.

Ечиш. Пўлатдаги исроф

$$P_n = \left(\frac{U_H}{U_0}\right)^2 P_0 = \left(\frac{400}{320}\right)^2 * 900 = 1406 \text{ Вт.}$$

Чулғамдаги қувват исрофи

$$P_q = \left(\frac{I_H}{I_{KT}}\right)^2 P_{KT} = \left(\frac{20}{13}\right)^2 * 1250 = 2956 \text{ Вт.}$$

Қувват коэффициентлари

$$\cos \varphi_0 = \frac{P_0}{U_0 I_0} = \frac{900}{320 * 16,5} = 0,1704$$

$$\cos \varphi_{KT} = \frac{P_{KT}}{U_{KT} I_{KT}} = \frac{1250}{240 * 13} = 0,4006$$

Номинал токдаги қисқа туташув кучланиши

$$U_{K.T.H} = U_H \frac{I_H}{I_{KT}} = 240 * \frac{20}{13} = 369,2B.$$

$$U_{KT} = \frac{U_H}{U_1} * 100 = \frac{369,2}{5000} * 100 = 7,38\%$$

бу ерда: $U_1 = 5000$ В (2.5.1 – масалага қаранг).

2.5.3. 2.5.1 – масалада келтирилган трансформаторнинг паст кучланиш чулғами тўла қаршилик $z_{\text{юк}} = 1,2 + j1,5$ Ом юклама билан юкланган.

а) Трансформаторнинг ФИК ўша юклама учун аниқлансин.

б) Қаршилик $R_{\text{юк}} = 1,2$ Ом трансформаторни номинал ток билан юклаган вақтдаги индуктив қаршилик $x_{\text{юк}1\text{min}}$ ва қувват коэффициентини $\cos \varphi_{\text{max}}$ топилсин.

в) б) пунктдаги асосан ФИК η , аниқлансин.

г) Иккала юклама учун трансформаторнинг иккиламчи чулғамидаги кучланиш топилсин.

Ечиш. а) Берилган юклама учун трансформаторнинг токи:

$$\dot{I}_{\text{юк}} = \frac{\dot{U}_2}{z_{\text{юк}}} = \frac{400}{1,2 + j1,5} = 130 - j162,6A$$

$$I_{\text{юк}} = \sqrt{130^2 + 162,2^2} = 208A$$

$$\cos \varphi = \frac{R_{\text{юк}}}{z_{\text{юк}}} = \frac{1,2}{\sqrt{1,2^2 + 1,5^2}} = 0,625.$$

Истеъмол қилинаётган ва чулғамлардаги қувват исрофи

$$P_2 = I_{\text{юк}}^2 R_{\text{юк}} = 208^2 * 1,2 = 51920 \text{ Вт} = 51,92 \text{ кВт}.$$

$$P_r = P_{r.H} \left(\frac{I_{\text{юк}}}{I_H} \right)^2 = 2956 * \left(\frac{208}{250} \right)^2 = 2046 \text{ Вт} = 2,046 \text{ кВт},$$

бу ерда: $P_{\text{цн}} = 2956 \text{ В}; I_{2\text{н}} = 250 \text{ А}$ (2.5.1 ва 2.5.2-масалаларга қаралсин).

Берилган юкламадаги ФИК

$$\eta = \frac{P_2}{P_2 + P_n + P_r} * 100 = \frac{51,92}{51,92 + 1,406 + 2,046} * 100 = 93,72\%.$$

б) Юкламанинг минимум реактив қаршилиги

$$I_{2\text{н}} = \frac{U_2}{z_{\text{юк}}^*}, \text{ бундан } z_{\text{юк}}^* = \frac{U_2}{I_{2\text{н}}} = \frac{400}{250} = 1,6 \text{ Ом.}$$

$$z_{\text{юк}}^* = \sqrt{R_{\text{юк}}^2 + x_{\text{юк1 мин}}^2}, \text{ бундан}$$

$$x_{\text{юк, мин}} = \sqrt{z_{\text{юк}}^{*2} - R_{\text{юк}}^2} = \sqrt{2,56 - 1,44} = 1,061 \text{ Ом.}$$

Номинал токдаги кувват коэффициенти

$$\cos \varphi_{\text{max}} = \frac{R_{\text{юк}}}{z_{\text{юк}}^*} = \frac{1,2}{1,6} = 0,75.$$

в) Номинал токдаги ФИК

$$\eta_1 = \frac{P_2^*}{P_2^* + P_n + P_{r,н}} * 100 = 94,5\%,$$

бу ерда: $P_2^* = I_{2\text{н}}^2 R_{\text{юк}} = 250^2 * 1,2 = 75000 \text{ Вт} = 75 \text{ кВт.}$

г) Иккиламчи чулғамдаги кучланишни ҳисоблашда уловчи шохобчаларни ҳисобга олмаймиз

$$U_2' = U_1 - I_{\text{юк}}' (R \cos \varphi + x \sin \varphi).$$

Электр занжирининг қисқа туташув режимидаги тўла қаршилиги

$$z = \frac{U_{\text{КТН}}}{I_{1\text{н}}} = \frac{369,2}{20} = 18,46 \text{ Ом;}$$

$$R = z \cos \varphi_{\text{КТ}} = 18,46 * 0,4006 = 7,395 \text{ Ом;}$$

$$x = z \sin \varphi_{\text{КТ}} = 18,46 * 0,9164 = 16,92 \text{ Ом;}$$

$$U_2' = 5000 - \frac{208}{12,5} (7,395 * 0,625 + 16,92 * 0,7804) = 4704 \text{ В;}$$

$$U_{21} = \frac{U_{KT1}}{n} = \frac{4704}{12,5} = 376,32 \text{ В};$$

$$U'_{22} = 5000 - \frac{250}{12,5} (7,395 * 0,74 + 16,92 * 0,6613) = 4665 \text{ В}.$$

$$U_{22} = \frac{U'_{KT2}}{n} = \frac{4665}{12,5} = 373,2 \text{ В}.$$

2.5.4. Бир фазали трансформаторнинг қуввати $S_{II} = 16$ кВ·А, кучланишлари $U = 380/110$ В, қисқа туташув кучланиши 8,5 %. Номинал ток ва номинал кучланишда чулғамлардаги қувват исрофи $P_{\text{ин}} = 0,048 \cdot S_{II}$, пўлатдаги қувват исрофи $P_{\text{п}} = 0,036 \cdot S_{II}$. Трансформаторнинг магнит ўтказгичи қалинлиги 0,5 мм бўлган пўлат пластинкалардан йиғилиб, солиштирма қувват исрофи $P_{1,0} = 2,3$ Вт/кг.

Қуйидагилар аниқлансин:

а) Агар стержен ва ярмода индукциянинг максимал қиймати 1,4 Тл бўлса магнит ўтказгичнинг массаси $m_{\text{п}}$;

б) Агарда пўлат тўлдириш коэффициентлари $k_p = 0,94$ ва паст кучланиш чулғамининг ўрамлар сони $\omega_2 = 31$ бўлса, стерженнинг кўндаланг кесим юзаси;

в) Қувват коэффициентлари $\cos \varphi_2 = 1; 0,8$ ва $0,6$ учун актив – индуктив юкламада максимал ФИК лари $\eta_{\text{max } 1,0}; \eta_{\text{max } 0,8}$ ва $\eta_{\text{max } 0,6}$;

г) Қисқа туташув қувват коэффициентлари $\cos \varphi_{KT}$, актив R ва индуктив x қаршиликлари;

д) Қисқа туташув режимида 75% номинал ток билан юкланган вақтдаги сиғим характериға эга бўлган тўла қаршилик $Z_{\text{юк}}$ ва унинг силжиш бурчаги $\varphi_{\text{юк}}$ лар аниқлансин.

Ечиш. а) Магнит ўтказгичнинг массасини ҳисоблаш мумкин, агарда пўлатдаги тўла ва солиштирма исрофлар аниқ бўлса.

Берилган индукцияда солиштирма исроф

$$P = P_{1,0} B_m^2 = 2,3 * 1,48^2 = 5,037 \text{ Вт/кг}.$$

Пўлатдаги тўла исроф

$$P_{\text{п}} = 0,036 * S_{II} = 0,036 * 16000 = 576 \text{ Вт},$$

$$r_n = \frac{P_n}{P} = \frac{576}{5,037} = 114 \text{ кг.}$$

б) Стерженнинг кўндаланг кесим юзасини ҳисоблаш учун, магнит оқимини битта ўрамдаги кучланиши орқали топиш мумкин:

$$U_y = \frac{U_2}{\omega_2} = \frac{110}{31} = 3,548 \text{ В/у;}$$

$$U_y = 4,44 f \phi, \text{ бундан}$$

$$\phi = \frac{U_y}{4,44 f} = \frac{3,548}{4,44 * 50} = 0,01589 \text{ Вб;}$$

$$A_n = \frac{\phi}{B} = \frac{0,01589}{1,48} = 0,0107 \text{ м}^2 = 107 \text{ см}^2;$$

$$A_{om} = \frac{A_n}{k_s} = \frac{107}{0,94} = 113,8 \text{ см}^2.$$

в) Трансформаторнинг актив қаршилигини номинал электр исрофлар орқали топиш мумкин:

$$R = \frac{P_{r.n}}{I_{1n}^2} = \frac{0,048 * S_{11}}{\left(\frac{S_{11}}{U_1}\right)^2} = \frac{0,048 * 16000}{\left(\frac{16000}{380}\right)^2} = 0,4334 \text{ Ом.}$$

$$P_n = P_1 = I^2 R, \text{ бундан}$$

$$I = \sqrt{\frac{P_n}{R}} = \sqrt{\frac{576}{0,4334}} = 36,4 \text{ А.}$$

$$n = \frac{U_1}{U_2} = \frac{380}{110} = 3,454;$$

$$\eta_{\max 1,0} = \frac{U_2 n I \cos \varphi}{U_2 n I \cos \varphi + 2 P_n} * 100 = \frac{110 * 3,454 * 36,4 * 1}{110 * 3,454 * 36,4 * 1 + 2 * 576} *$$

$$* 100 = 92,31\%;$$

$$\eta_{\max 0,8} = \frac{U_2 n I \cos \varphi}{U_2 n I \cos \varphi + 2 P_n} * 100 = \frac{110 * 3,454 * 36,4 * 0,8}{110 * 3,454 * 36,4 * 0,8 + 2 * 576} *$$

$$* 100 = 90,56\%;$$

$$\eta_{\max 0,6} = \frac{U_2 n I \cos \varphi}{U_2 n I \cos \varphi + 2P_n} * 100 = \frac{110 * 3,454 * 36,4 * 0,6}{110 * 3,454 * 36,4 * 0,6 + 2 * 576} * 100 = 87,8\%.$$

г) Қисқа туташув режимидаги электр занжирининг тўла қаршилиги

$$z = \frac{U_{KT}}{I_{1H}} = \frac{U_{KT} U_1 / 100}{S_H / U_1} = \frac{8,5 * 380 / 100}{16000 / 380} = 0,7672 \text{ Ом};$$

$$\cos \varphi_{KT} = R / z = 0,4334 / 0,7672 = 0,5649.$$

$$x = \sqrt{z^2 - R^2} = \sqrt{0,7672^2 - 0,4334^2} = 0,632 \text{ Ом}.$$

д) Иккиламчи чулғамдаги кучланиш

$$U_2' = U_1 - I_1 (R \cos \varphi_{\text{юк}} + x \sin \varphi_{\text{юк}}).$$

$U_2' = U_1$ шартнинг бажарилиши учун

$$I_1 (R \cos \varphi_{\text{юк}} + x \sin \varphi_{\text{юк}}) = 0 \text{ бўлиши керак}.$$

Юклама сизим характерида, яъни $\varphi_{\text{юк}} < 0$ бўлганлиги сабабли $I_1 (R \cos \varphi_{\text{юк}} - x \sin \varphi_{\text{юк}}) = 0$, бундан $R \cos \varphi_{\text{юк}} = x \sin \varphi_{\text{юк}}$;

$$\frac{R}{x} = \frac{\sin \varphi_{\text{юк}}}{\cos \varphi_{\text{юк}}} = \operatorname{tg} \varphi_{\text{юк}} = \frac{0,4334}{0,632} = 0,6857.$$

$$\varphi_{\text{юк}} = \arctg 0,6857 = 34,35^\circ.$$

Тўла юклама қаршилик модули

$$z_{\text{юк}} = \frac{U_2}{0,75 I_{2H}} = \frac{110}{0,75 * 16000 / 110} = 1,01 \text{ Ом}.$$

$$R_{\text{юк}} = z_{\text{юк}} \cos \varphi_{\text{юк}} = 1,01 * 0,8258 = 0,834 \text{ Ом}$$

$$x_{\text{юк}} = z_{\text{юк}} \sin \varphi_{\text{юк}} = 1,01 * 0,5642 = 0,5698 \text{ Ом}$$

$$Z_{\text{юк}} = R_{\text{юк}} - jx_{\text{юк}} = 0,834 - j0,5698 \text{ Ом}.$$

2.5.5. Уланиш схемаси ва гуруҳи Δ/Y -11 бўлган уч фазали трансформаторнинг номинал қуввати $S_n = 40$ кВт, номинал кучланиши $U_1/U_2 = 10/0,4$ кВ, салт ишлаш токи $I_0 = 0,04 I_n$,

қисқа туташув қувват исрофи $P_{KT}=1,1$ кВт, қисқа туташув кучланиши $U_{KT}=4,5\%$, стержендаги индукция $B_m = 1,67$ Тл.

Қуйидагилар топилин:

а) салт ишлаш ва қисқа туташув режимларидаги қувват коэффициентлари, яъни $\cos\varphi_0$ ва $\cos\varphi_{KT}$;

б) Чулғамнинг актив R ва индуктив x қаршиликлари;

в) агарда пўлат стерженнинг кесим юзаси $A_n = 654$ см² бўлса, битга ўрамдаги кучланиш U_{ϕ} ;

г) чулғамларнинг ўрамлар сони ω_1 ва ω_2 ;

д) агарда ўрамнинг ўртача узунлиги $l_1=0,567$ м, ўтказгичнинг (симнинг) кесим юзаси $A_1=0,503$ мм², солиштирма қаршилик $\rho=0,024$ мкОм·м бўлса, бирламчи чулғамнинг актив қаршилиги R_1 ;

е) трансформаторнинг иккала чулғамларининг ток зичликлари бир хил бўлса, иккиламчи чулғамнинг симини кесим юзаси A_2 аниқлансин.

Ечиш. Номинал тоқлар

$$I_{1H} = S_H / \sqrt{3}U_1 = 40 * 10^3 / \sqrt{3} * 10 * 10^3 = 2,312A$$

$$I_{1H,\phi} = I_{1H} / \sqrt{3} = 2,312 / \sqrt{3} = 1,336A$$

$$I_{2H} = S_H / \sqrt{3}U_2 = 40 * 10^3 / \sqrt{3} * 400 = 57,8A.$$

Қувват коэффициентлари

$$\cos\varphi_0 = \frac{P_0}{\sqrt{3}I_0U_0} = \frac{195}{\sqrt{3} * 0,04 * 57,8 * 400} = 0,1218.$$

$$U_{КТH} = \frac{U_K U_t}{100} = \frac{4,5 * 10 * 10^3}{100} = 450В$$

$$\cos\varphi_{КТ} = \frac{P_{КТ}}{\sqrt{3}I_{КТ}U_{КТ}} = \frac{1100}{\sqrt{3} * 450 * 2,312} = 0,6111.$$

б) актив қаршиликни қисқа туташув қувват исрофи орқали ҳисоблаш мумкин

$$P_{КТ} = \frac{P}{3I_{1H,\phi}^2} = \frac{1100}{3 * 1,336^2} = 205,4 \text{ Ом};$$

$$\operatorname{tg}\varphi_{KT} = \frac{x}{R}, \text{ бундан}$$

$$x = R \operatorname{tg}\varphi_{KT} = 205,4 * 1,294 = 265,8 \text{ Ом.}$$

$$\varphi_{KT} = \arccos 0,6111 = 52,3^\circ$$

в,г) ўрамдаги кучланиш ва чулғамлардаги ўрамлар сони

$$U_y = 4,44 f B_m A_n = 4,44 * 50 * 1,67 * 65,4 * 10^{-4} = 2,425 \text{ В/у}$$

$$\omega_1 = U_1 / U_y = 10 * 10^3 / 2,425 = 4124$$

$$\omega_2 = U_2 / \sqrt{3} U_y = 400 / \sqrt{3} * 2,425 = 95,3 = 95$$

д) бирламчи чулғам фазасининг актив қаршилиги

$$R_1 = \rho_{20} \omega_1 l_1 / A_1 = 0,024 * 4124 * 0,567 / 0,503 = 111,6 \text{ Ом.}$$

е,ж) симнинг кўндаланг кесим юзаси ва паст кучланиш чулғамининг актив қаршилиги

$$A_2 = I_{2H} / j = I_{2H} / (I_{H,\Phi} / A_1) = A_1 I_{2H} / I_{H,\Phi} =$$

$$= 0,503 * 57,8 / 1,336 = 21,76 \text{ мм}^2.$$

$$R_2' = R - R_1 = 205,4 - 111,6 = 93,8 \text{ Ом.}$$

$$R_2' = n^2 R_2, \text{ бундан}$$

$$R_2 = R_2' / n^2 = R_2' / (\omega_1 / \omega_2)^2 = \frac{93,8}{(4124/95)^2} = 0,05009$$

2.5.6. Уч фазали трансформаторнинг номинал қуввати $S_n = 300$ кВт, кучланишлари $U_1 / U_2 = 5/1$ кВ; чулғамларининг уланиши ва гуруҳи $\Delta/Y - 5$; қисқа туташув кучланишнинг қиймати $U_{KT} = 4,8$ %, актив ташкил этувчиси $U_a = 1,8$ %. Трансформаторнинг иккиламчи чулғами қувват коэффициенти $\cos\varphi = 0,9$ бўлган индуктив юклама билан $1,2 I_{2H}$ юкланган.

Куйидагилар топилсин :

а) ўрамдаги кучланиш $U_y = 6,8$ В/ў бўлганда бирламчи ва иккиламчи чулғамларнинг ўрамлар сони ω_1 ва ω_2 лар;

б) $f = 50$ Гц да магнит оқимининг максимал қиймати Φ ;

в) номинал тоқлар I_{1H} , I_{2H} ва трансформациялаш коэффициенти;

г) пўлатдаги исроф $P_n = 0,026 \cdot S_n$ ва R_1, R_2 (бунда $R_1 = R_2$);

д) қисқа туташув режимида чулғамлардаги номинал қувват исрофи P_r ва қувват коэффициенти $\cos \varphi_{KT}$.

Ечиш. а,б) ўрамлар сони ва максимал магнит оқими

$$\omega_1 = U_1 / U_y = 5000 / 6,8 = 735;$$

$$\omega_2 = U_2 / \sqrt{3} U_y = 1000 / \sqrt{3} * 6,8 = 85;$$

$$\Phi = U_y / 4,44f = 6,8 / 4,44 * 50 = 0,03063 \text{ Вб.}$$

в) номинал тоқлар ва трансформациялаш коэффициенти

$$I_{1H} = S_H / \sqrt{3} U_1 = 300 * 10^3 / \sqrt{3} * 5 * 10^1 = 34,68 \text{ А}$$

$$I_{1H,\phi} = I_{1H} / \sqrt{3} = 34,68 / \sqrt{3} = 20,04 \text{ А}$$

$$I_{2H} = S_H / \sqrt{3} U_2 = 300 * 10^3 / \sqrt{3} * 1 * 10^1 = 173,4 \text{ А}$$

$$n = \omega_1 / \omega_2 = 735 / 85 = 8,65.$$

г) қисқа туташув кучланишининг актив ташкил этувчиси U_a орқали йиғинди актив қаршиликни топамиз

$$U_a = I_{1H,\phi} R / U_1 * 100, \text{ бундан}$$

$$R = U_1 U_a / I_{1H,\phi} * 100 = 5000 * 1,8 / 20,04 * 100 = 4,491 \text{ Ом.}$$

1,2. $I_{1H,\phi}$ юклама учун чулғамдаги қувват исрофи ва ФИК.

$$P_r = 3(1,2 I_{1H,\phi})^2 R_1 = 3(1,2 * 20,04)^2 * 4,491 = 7,791 \text{ кВт};$$

$$\eta = \frac{\sqrt{3} U_2 * 1,2 I_{2H} \cos \varphi}{\sqrt{3} U_2 * 1,2 I_{2H} \cos \varphi + P_r + P_n} * 100 =$$

$$= \frac{\sqrt{3} * 1000 * 1,2 * 173,4 * 0,9}{\sqrt{3} * 1000 * 1,2 * 173,4 * 0,9 + 7,791 + 0,026 * 300 * 10^3} * 100 =$$

$$= 95,4\%$$

$R_1 = R_2$ бўлгани учун

$$R_2 = R_1 = R/2 = 4,491/2 = 2,25 \text{ Ом}$$

$$R_2 = R_2 / n^2 = 2,25 / 8,65^2 = 0,03 \text{ Ом.}$$

д) номинал юклама учун чулғамдаги қувват исрофи ва қисқа туташув режимидаги қувват коэффициентлари $\cos\varphi_{KT}$

$$R_{r.H} = 3I_{1H,\Phi}^2 R = 3 * 20,04^2 * 4,491 = 5410 \text{ Вт} = 5,41 \text{ кВт.}$$

$$\cos\varphi_{KT} = \frac{R}{z} = \frac{R}{U_{K.TH} / I_{KT}} = \frac{RI_{1H\Phi}}{U_{KT} U_1 / 100} = \frac{4,491 * 20,04}{4,8 * 5000 / 100} = 0,375.$$

$$x = \sqrt{z^2 - R^2} = \sqrt{11,47^2 - 4,491^2} = 11,10 \text{ Ом,}$$

бу ерда:

$$z = U_{KT} / I_{1H\Phi} = \frac{(4,8 * 5000 / 100)}{20,04} = 11,47 \text{ Ом.}$$

2.5.7. Уч фазали трансформаторнинг тўла қуввати $S_n = 63$ кВА, кучланишлари $U_1 / U_2 = 21 / 0,4$ кВ; салт ишлаш токи $I_0 = 0,035 \cdot I_n$, салт ишлаш қувват исрофи $P_0 = 0,29$ кВт, қисқа туташув режимидаги исроф $P_{r.H} = 1,65$ кВт, қисқа туташув кучланиши $U_{KT} = 4,5\%$, ураниши ва гуруҳи $Y/Z-11$.

Куйидагилар топилсин.

а) салт ишлаш ва қисқа туташув режимларидаги қувват коэффициентлари $\cos\varphi_0$, $\cos\varphi_{KT}$;

б) йиғинди актив R ва индуктив x қаршиликлар;

в) номинал юкламада ФИК лар η_1 ва $\eta_{0,8}$, $\cos\varphi = 1$ ва $\cos\varphi = 0,8$ учун;

г) иккиламчи чулғам учун актив қувват (ФИК η , $\cos\varphi = 0,8$ да максимум бўлган ҳол учун);

д) $\cos\varphi = 1$ ва $\cos\varphi = 0,8$ да актив – индуктив характердаги номинал юклама учун иккиламчи чулғамдаги кучланиш $U_{2(1)}$, $U_{2(0,8)}$.

Ечиш.

а) номинал ток ва қувват коэффициентлари

$$I_{1H} = \frac{S_H}{\sqrt{3}U_1} = \frac{63 \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot 21 \cdot 10^3} = 1,734 \text{ A};$$

$$I_{2H} = \frac{U_1}{U_2} \cdot I_{1H} = \frac{21 \cdot 10^3}{400} \cdot 1,734 = 91,03 \text{ A};$$

$$\cos \varphi_0 = \frac{P_0}{\sqrt{3}I_0 U_0} = \frac{290}{\sqrt{3} \cdot (0,035 \cdot 1,734) \cdot 21 \cdot 10^3} = 0,1315;$$

$$\begin{aligned} \cos \varphi_{KT} &= \frac{P_{r,n}}{\sqrt{3}U_{KT}I_{r,n}} = \frac{P_{r,n}}{\sqrt{3} \frac{U_{KT}U_1}{100} I_{r,n}} = \frac{1650}{\sqrt{3} \cdot \frac{4,5 \cdot 21 \cdot 10^3}{100} \cdot 1,734} = \\ &= 0,592. \end{aligned}$$

б) йиғинди актив ва индуктив қаршиликлар

$$P_{r,n} = 3I_{r,n}^2 R, \text{ бундан}$$

$$R = \frac{P_{r,n}}{3I_{r,n}^2} = \frac{1650}{3 \cdot 1,734^2} = 183 \text{ Ом}.$$

$$x = \frac{U_{p\phi}}{I_{1H}} = \frac{U_p U_{1H}}{\sqrt{3} \cdot 100 I_{1H}} = \frac{\sqrt{U_k^2 - U_a^2} \cdot U_{1H}}{\sqrt{3} \cdot 100 I_{1H}} = \frac{\sqrt{4,5^2 - 2,54^2} \cdot 21 \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot 100 \cdot 1,734} = 260$$

в) номинал юкламадаги ФИК

$$\eta_1 = \frac{S_H \cos \varphi}{S_H \cos \varphi + P_0 + P_{KT}} \cdot 100 = \frac{63 \cdot 1}{63 \cdot 1 + 0,29 + 1,65} \cdot 100 = 97,01\%$$

$$\eta_{0,8} = \frac{63 \cdot 0,8}{63 \cdot 0,8 + 0,29 + 1,65} \cdot 100 = 96,29\%$$

г) ток максимум η учун ток

$$3I_1^2 R = P_0, \text{ бундан}$$

$$I_1 = \sqrt{\frac{P_0}{3R}} = \sqrt{\frac{290}{3 * 183}} = 0,727 A$$

$$I_2 = nI_1 = \frac{21}{0,4} * 0,727 = 38,17 A$$

$$P = \sqrt{3}U_2 I_2 \cos \varphi = \sqrt{3} * 400 * 38,17 = 21,1 \text{ кВт.}$$

д) номинал юклама учун иккиламчи чулғамдаги кучланиш

$$U'_{2\phi} = U_{1\phi} - I(R \cos \varphi \pm x \sin \varphi)$$

$$\cos \varphi = 1 \text{ учун } (\sin \varphi = 0)$$

$$U'_{1\phi(1)} = \frac{21 * 10^3}{\sqrt{3}} - 1,734 * 183 = 11,82 * 10^3 B$$

$$U_{2(1)} = \frac{\sqrt{3}U'_{2\phi(1)}}{U_1 / U_2} = \frac{\sqrt{3} * 11,82 * 10^3}{21 / 0,4} = 389,5 B$$

$$\cos \varphi = 0,8 \text{ учун } (\sin \varphi = 0,6)$$

$$U'_{2\phi(0,8)} = \frac{21 * 10^3}{\sqrt{3}} - 1,734 * (183 * 0,8 + 260 * 0,6) = 11,63 * 10^3 B;$$

$$U_{2(0,8)} = \frac{\sqrt{3}U'_{2\phi(0,8)}}{U_1 / U_2} = \frac{\sqrt{3} * 11,63 * 10^3}{21 / 0,4} = 383,2 B.$$

2.5.8. Актив – индуктив юклама характеридаги қуввати $P=50$ кВт бўлган истеъмолчи уч фазали электр тармоғига трансформатор орқали уланиши керак. Қуйидаги учта трансформатордан биттаси (тежамлиси) танлансин:

	I	II	III
Номинал қувват, кВт	63	100	160
Чулғамдаги исроф, кВт	1,65	2,6	3,9
Салт ишлаш қувват исрофи, кВт	0,29	0,375	0,55
Топиш керак:			

а) Учта трансформаторнинг ҳам максимум ФИК η учун тўла қувватлари;

б) $\cos \varphi = 1$ ва $\cos \varphi = 0,8$ учун максимум ФИК η ;

в) Берилган юклама учун ФИК η ;

г) бир йиллик (8760 соат) қувват исрофлари учун харажатлар k_{63} , k_{100} , k_{160} , агарда электр энергияси нархи $e=16,5$ сўм / (кВт·с) бўлса;

д) Энг тежамли трансформаторни ишлатиш жараёнидаги электр энергияси исрофи учун тежалган йиллик харажатлар.

Ечиш.

а) Трансформаторнинг нисбий юкламасини $x = S_2 / S_n$ билан белгилаймиз, у ҳолда чулғамдаги қувват исрофи $P_r = x^2 P_{r,n}$ бўлади. Энг катта ФИК

$$P_{0,x} = P_r = x^2 P_{r,n}. \text{ Бундан } x = \sqrt{P_0 / P_{r,n}}.$$

Тўла қувватни топамиз:

$$x_1 = \sqrt{\frac{P_{01}}{P_{r,n1}}} = \sqrt{\frac{0,29}{1,65}} = 0,417$$

$$S_1 = x_1 S_{H1} = 0,417 * 63 = 26,3 \text{ кВА};$$

$$x_{11} = \sqrt{\frac{P_{011}}{P_{r,n11}}} = \sqrt{\frac{0,375}{2,6}} = 0,378$$

$$S_{11} = x_{11} S_{H11} = 0,378 * 100 = 37,8 \text{ кВА};$$

$$x_{111} = \sqrt{\frac{P_{0111}}{P_{r,n111}}} = \sqrt{\frac{0,55}{3,9}} = 0,375;$$

$$S_{111} = x_{111} S_{H111} = 0,375 * 160 = 60 \text{ кВА}.$$

б) максимум ФИК η

$$\eta_{1\max(1)} = \frac{S_1 \cos \varphi}{S_1 \cos \varphi + 2P_{01}} * 100 = \frac{26,3 * 1}{26,3 * 1 + 2 * 0,29} = 97,58\%;$$

$$\eta_{1\max(0,8)} = \frac{S_1 \cos \varphi}{S_1 \cos \varphi + 2P_{01}} * 100 = \frac{26,3 * 0,8}{26,3 * 0,8 + 2 * 0,29} * 100 = 97,4\%;$$

$$\eta_{11\max(1)} = \frac{S_{11} \cos \varphi}{S_{11} \cos \varphi + 2P_{011}} * 100 = \frac{37,8 * 1}{37,8 * 1 + 2 * 0,375} * 100 = 98\%;$$

$$\eta_{11\max(0,8)} = \frac{37,8 * 0,8}{37,8 * 0,8 + 2 * 0,375} * 100 = 97,5\%;$$

$$\eta_{111(1)} = \frac{60 * 1}{60 * 1 + 2 * 0,55} * 100 = 98,19\%;$$

$$\eta_{111(0,8)} = \frac{60 * 0,8}{60 * 0,8 + 2 * 0,55} * 100 = 97,75\%.$$

в) берилган юкламада ФИК ни топиш учун тўла қувват топилади

$$S = \frac{P}{\cos \varphi} = \frac{50}{0,8} = 62,5 \text{ кВт, бундан}$$

$$\eta_{63} = \frac{P}{P + P_{01} + P_{\text{тн}} \left(\frac{S}{S_{\text{нл}}} \right)^2} * 100 = \frac{50}{50 + 0,29 + 1,65 \left(\frac{62,5}{63} \right)^2} *$$

$$* 100 = 96,32\%;$$

$$\eta_{100} = \frac{50}{50 + 0,375 + 2,6 \left(\frac{62,5}{100} \right)^2} * 100 = 97,29\%;$$

$$\eta_{160} = \frac{50}{50 + 0,55 + 3,9 \left(\frac{62,5}{160} \right)^2} * 100 = 97,76\%.$$

г) йиллик исроф харажатлари

$$k_{63} = 8760 e P_1 = 8760 * 16,5 \left[0,29 + 1,65 \left(\frac{62,2}{63} \right)^2 \right] =$$

$$= 274389 \text{ сўм}$$

$$k_{100} = 8760 e P_{11} = 8760 * 16,5 \left[0,375 + 2,6 \left(\frac{62,5}{100} \right)^2 \right] =$$

$$= 201001 \text{ сўм}$$

$$k_{160} = 8760eP_{111} = 8760 * 16,5 \left[0,55 + 3,9 \left(\frac{62,5}{160} \right)^2 \right] =$$

$$= 101552 \text{ сўм}$$

д) III трансформаторни ишлатиш тежамли I трансформаторни ишлатиш эса тежамсиз экан. Исрофларга кетадиган харажатларнинг йиллик иқтисоди

$$k = k_{63} - k_{160} = 274389 - 101552 = 17284 \text{ сўм}$$

2.5.9. Подстанцияда қувват $S_H = 100$ кВА бўлган трансформатор ишлатилмоқда. Бир йилда (8760 соат) берилган электр энергияси $W_{\text{ишл}} = 165000$ кВт·с, актив – индуктив юкламада ($\cos\varphi=0,8$) энг катта қувват $P_{\text{max}} = 71,5$ кВт. Трансформаторнинг салт ишлаш қувват исрофи $P_0 = 1000$ Вт, номинал юкламада чулғамдаги исроф $P_{r,H} = 3300$ Вт. Қуйидагилар топилсин:

- трансформаторнинг йиллик ФИК $\eta_{\text{ишл}}$;
- йиллик энергия исрофи $W_{\text{ишл}}$;
- агарда электр энергияси нархи $\epsilon=12$ сўм / (кВт·с) бўлса, исроф учун йиллик харажатлар.

Ечиш.

- йиллик ФИК $\eta_{\text{ишл}}$

$$\eta_{\text{ишл}} = \frac{W_{\text{ишл}}}{W_{\text{ишл}} + 8760P_0 + x^2 a * 8760P_{r,H}} * 100 =$$

$$\frac{165000}{165000 + 8760 * 1 + 0,8937^2 * 0,145 * 8760 * 3,3} * 100 = 93,16\%$$

$$\text{бу ерда } x = \frac{S_t}{S_H} = \frac{P_{\text{max}}}{S_H \cos\varphi} = \frac{71,5}{100 * 0,8} = 0,8937;$$

$$k = \frac{W_{\text{ишл}}}{P_{\text{max}} * 8760} = \frac{165000}{71,5 * 8760} = 0,263$$

(1.10–расмдаги [2] диаграммадан) фойдаланиш коэффициентлари $k=0,263$ учун исроф коэффициентлари $a=0,145$ тўғри келади.

б) Энергия исрофи

$$W_{\text{йил}} = x^2 P_{r,н} a * 8760 + 8760 P_0 = 0,8937^2 * 3,3 * 0,145 * 8760 + 8760 * 1 = 12108 \text{ кВт} \cdot \text{с}.$$

в) исроф учун йиллик харажатлар

$$k = W_{\text{йил}} e = 12108 * 16,5 = 199782 \text{ сўм}.$$

2.5.10. 2.5.9 – масаладаги трансформатор ўрнида замонавий трансформатор ишлатилган бўлиб, унинг параметлари қуйидагича: $S_H = 100 \text{ кВА}$; $P_0 = 400 \text{ Вт}$; $P_{r,н} = 2600 \text{ Вт}$.

Қуйидагилар топилсин:

а) трансформаторнинг йиллик ФИК $\eta_{\text{йил}}$ (2.5.9 – масаладаги қийматлардан фойдаланиб);

б) йиллик энергия исрофи $W_{\text{йил}}$;

в) йиллик исроф харажатлари, агарда электр энергияси нархи

$$e = 16,5 \text{ сўм} / (\text{кВт} \cdot \text{с});$$

г) замонавий трансформаторни қўллагандаги энергия исрофи харажатларини тежаш;

д) эски трансформатор нархи 18000000 сўм, замонавий трансформатор нархи 23000000 сўм, ҳақиқий иқтисоди (фойдаси), қўшимча капитал қўйилма (инвестиция) ҳисобига йиллик харажатлар 20%.

Ечиш.

а) юклама ўзгармас бўлганда x , k ва a параметрлар ҳам ўзгармас ҳолда қолади. Шуларни ҳисобга олган ҳолда йиллик ФИК $\eta_{\text{йил}}$

$$\begin{aligned} \eta_{\text{йил}} &= \frac{W_{\text{йил}}}{W_{\text{йил}} + 8760 P_0 + x^2 a * 8760 P_{r,н}} * 100 = \\ &= \frac{165000}{165000 + 8760 * 0,4 + 0,8937^2 * 0,145 * 8760 * 2,6} * 100 = 96,41\% \end{aligned}$$

б) энергия исрофи

$$W_{\text{йил}} = 8760 P_0 + x^2 a * 8760 P_{r,н} = 8760 * 0,4 + 0,8937^2 * 0,145 * 8760 * 2,6 = 6142 \text{ кВт} \cdot \text{с}$$

в) исроф харажатлари ва иқтисод (фойда)

$$k = W_{\text{йил}} e = 6142 * 16,5 = 101343 \text{ сўм}$$

$$\Delta k = k_9 - k_{10} = 199782 - 101343 = 98439 \text{ сўм}$$

г) замонавий трансформаторни қўллаганда ортиқча капитал қўйилма (инвестиция)

$$\Delta k_{13} = 23000000 - 18000000 = 5000000 \text{ сўм,}$$

20% ортиқча капитал қўйилма (инвестиция) коэффициентини ҳисобга олганда

$$\frac{5000000}{100} * 20 = 1000000 \text{ сўм}$$

д) ҳақиқий иқтисод (фойда)

$$\Delta k' = \Delta k - 1000000 = 5000000 - 1000000 = 4000000 \text{ сўм.}$$

2.6. Мустақил ечиш учун масалалар

2.6.1. Чулғамларининг уланиш схемаси Y/Y бўлган уч фазали трансформатор бирламчи чулғамининг линия кучланиши $U_{2л} = 220 \text{ В}$. трансформатор чулғамларининг уланиш схемалари Δ/Δ , Y/ Δ ва Δ/Y бўлганда, иккиламчи чулғамнинг линия кучланишлари аниқлансин.

2.6.2. Кўп чулғамли трансформаторнинг 220 В га мўлжалланган бирламчи чулғамининг ўрамлар сони $\omega_1 = 1100$. Иккиламчи чулғамлардан тегишлича 6 В, 24 В ва 120 В кучланишлар олинади. Шу чулғамларнинг ўрамлар сони аниқлансин.

2.6.3. Тармоқ кучланиши иккита трансформатор ёрдамида 3000 В дан 400 В гача, сўнгра 400 В дан 40 В гача пасайтирилди. Трансформаторларнинг ФИК лари тегишлича $\eta_1 = 0,85$ ва $\eta_2 = 0,6$. Иккинчи трансформатордан истеъмол қилинаётган актив қувват $P = 5,1 \text{ кВт}$ бўлса, биринчи трансформаторнинг кириш томонидаги актив қувват аниқлансин.

2.6.4. Чулғамларининг уланиш схемаси ва гуруҳи Δ/Y - 11 бўлган уч фазали трансформаторнинг кучланишлари $U_1 / U_2 = 21000 / 400 \text{ В}$; битта ўрамдаги кучланиш $U_y = 9,62 \text{ В/ў}$; чулғамнинг ўртача узунлиги ва чулғам симларининг кесим юзаси: юқори кучланиш томонида $l_{y1} = 1,022 \text{ м}, A_1 = 4,9 \text{ мм}^2$; паст кучланиш томонида $l_{y2} = 0,734 \text{ м}, A_2 = 404,5 \text{ мм}^2$; номинал қувват

$S_H = 630$ кВА; салт ишлаш токи $I_0 = 0,02I_H$; салт ишлаш қувват исрофи $P_0 = 1,49$ кВт; қисқа туташув қувват исрофи $P_{KT} = 9,25$ кВт; қисқа туташув кучланиши $U_{KT} = 4,5\%$.

Куйидагилар топилсин:

а) трансформаторнинг иккала чулғамининг актив қаршилиқлари R_1, R_2 (75°C , $\rho_{75} = 0,0346$ мкОм·м);

б) чулғамлардаги исрофни (салт ишлаш режимида) ҳисобга олган ҳолда пўлатдаги исроф P_n ;

в) бирламчи ва иккиламчи чулғамларнинг номинал тоқлари I_{1n}, I_{2n} ;

г) магнит оқимнинг максимал қиймати Φ ;

д) қисқа туташув ва салт ишлаш режимларидаги қувват коэффициентлари $\cos\varphi_0, \cos\varphi_{KT}$;

е) барча индуктив сочилма қаршилиқлар x_s .

2.6.5. Кучланишлари $U_1/U_2 = 550/380$ В бўлган учта параллел ишлаётган трансформатордан бир фазали истеъмолчи кучланиш олмақда. Трансформаторнинг куйидаги параметлари берилган :

$S_{H1} = 15$ кВА; $S_{H11} = 20$ кВА; $S_{H111} = 18$ кВА; $U_{K1} = 4,2\%$; $U_{K11} = 4,8\%$; $U_{K111} = 5,2\%$.

Юкламанинг параметрлари:

$U_{юк} = U_2 = 380$ В; $P_{юк} = 50$ кВт; $\cos\varphi_{юк} = 0,8$ (инд.)

Куйидагилар аниқлансин

а) ҳар бир трансформаторнинг номинал тоқлари: $I_{21H}; I_{211H}; I_{2111H}; I_{1.1H}; I_{1.11H}; I_{1.111H}$.

б) юклама тоқи $I_{юк}$;

в) берилган юклама учун ҳамма трансформаторнинг тоқлари $I_1; I_{11}; I_{111}$;

г) трансформаторларнинг юкланиш коэффициентлари

$\frac{I_1}{I_{21H}} * 100; \frac{I_{11}}{I_{211H}} * 100; \frac{I_{111}}{I_{2111H}} * 100$.

д) $U_{KT1} = U_{KT11} = U_{KT111} = 6\%$ бўлса трансформаторнинг юкланиш коэффициентлари

$$\frac{I_1^*}{I_{21H}} * 100; \frac{I_{11}^*}{I_{211H}} * 100; \frac{I_{111}^*}{I_{2111H}} * 100.$$

2.6.6. Чулғамлари Y/Y- 0 уланган трансформаторнинг номинал қуввати $S_n = 63$ кВт, номинал кучланиши $U_1/U_2 = 5500/400$ В, $U_{КТ} = 6\%$, $U_{КТа} = 2,38\%$.

Куйидагилар аниқлансин:

а) номинал юклама учун чулғамдаги тоқлар I_{1H}, I_{2H} ва қувват исрофи $P_{r,n}$;

б) актив R ва индуктив x қаршилиқлар;

в) номинал юкламада ($\cos\phi=0,85$ ва $\eta = 94,5 \%$) трансформаторнинг пўлатдаги қувват исрофи P_n .

2.6.7. Чулғамлари $\Delta/Y-11$ уланган трансформаторнинг номинал қуввати $S_n = 250$ кВт, кучланиш $U_1/U_2 = 21/0,4$ кВ. Номинал юкламада чулғамдаги исроф $P_{r,n} = 4,6$ кВт, пўлатдаги исроф $P_n = 0,75$ кВт. Бир йиллик узатиладиган электр энергияси $W_{йил} = 185000$ кВт·с. Энг катта қувват $P_{max} = 120$ кВт, $\cos\phi = 0,68$ (актив – индуктив юклама).

Куйидагилар топилсин:

а) трансформаторнинг йиллик ФИК $\eta_{й}$;

б) агарда электр энергияси нархи $e=0,02$ сўм / (кВт·с) бўлса трансформатордаги исрофларга кетган йиллик харажатлар к;

в) $U_{КТ} = 4,5\%$ бўлса, максимал юклама учун U_2 .

2.6.8. Чулғамлари Y/Z-11 уланган трансформаторнинг номинал қуввати $S_n = 160$ кВт, кучланишлари $U_1/U_2 = 35000/400$ В, битта ўрамдаги кучланиши $U_y = 8,75$ В/ў.

Куйидагилар аниқлансин:

а) номинал тоқлар I_{1n}, I_{2n} ;

б) иккала чулғамдаги ўрамлар сони $\omega_1, \omega_2 = 2\omega_1'$;

в) $U_{КТ} = 6\%$, $U_{КТа} = 2,4\%$ бўлса, актив R, индуктив x ва тўла қисқа туташув қаршилиқлари;

г) номинал юкламада чулғамдаги исроф $P_{r,n}$ ва қисқа туташув ҳолатидаги, қувват коэффициентини $\cos\varphi_{KT}$;

д) $R_1 = R_2'$ шарт учун иккиламчи чулғамнинг актив қаршилиги R_2 ;

е) агарда $\rho_{75} = 0,216$ мкОм·м ва ток зичлиги $j = 3,8$ А/мм² бўлса, чулғам симларининг узунлиги l_1, l_2 ;

ж) индукциянинг максимал қиймати 1,62 Тл бўлса, магнит ўтказгичнинг (пўлатнинг) кўндаланг кесим юзаси A_n .

2.6.9. Чулғамлари Y/Z-11 уланган, кучланишлари $U_1/U_2 = 21000/400$ В, ўрамдаги кучланиш $U_y = 7,48$ В/ў, номинал қуввати $S_n = 160$ кВА, қисқа туташув исрофи $P_{KT} = 3,9$ кВт, салт ишлаш токи $i_0 = 3\%$, салт ишлашдаги қувват исрофи $P_0 = 550$ Вт, $U_{KT} = 4,5\%$.

Қуйидагилар топилсин:

а) трансформаторнинг иккала чулғамининг актив R_1, R_2' ва индуктив x_1, x_2' қаршиликлари (бунда $R_1 = R_2'$ ва $x_1 = 1,1x_2'$);

б) салт ишлаш токининг актив $I_{oa}(I_n)$ ва реактив (I_μ) ташкил этувчилари;

в) асосий магнит оқимиغا мос келувчи индуктив қаршилик x_μ ва пўлатдаги исрофларга тўғри келувчи актив қаршилик R_n ;

г) индукция $B = 1,5$ Тл бўлса, магнит ўтказгичнинг кесим юзаси A_n ;

д) стержен атрофига чизилган айлананинг диаметри D_0 (кесим юзасини тўлдириш коэффициентини $k_{TMI} = 0,86$).

2.6.10. Бир фазага трансформаторнинг параметлари қуйидагича:

$$S_n = 6,3 \text{ кВм}, U_1 / U_2 = 1000 / 230 \text{ В},$$

$$U_{KT} = 5,2\%, \cos \varphi_{KT} = 0,423;$$

$$P_0 = 132 \text{ Вт}, i_0 = 8,35\%.$$

Қуйидагилар аниқлансин:

а) актив R ва индуктив x қаршилиқлар.

Жавоблар

2.6.1. ҳамма ҳолда 380/220 В бўлади.

2.6.2. $\omega_2 = 30; \omega_3 = 600$.

2.6.3. $P_1 = 10 \text{ кВт}$.

2.6.4.

а) $R_1 = 15,75 \text{ Ом}, R_2 = 0,0015 \text{ Ом}; б) P_n = 1488 \text{ Вт}; в) I_{II} = 17,34 \text{ А}, I_{2II} = 910 \text{ А};$

г) $\Phi = 4,33 \cdot 10^{-2} \text{ Вб}; д) \cos \varphi_0 = 0,1126, \cos \varphi_{KT} = 0,3263; е) x_s = 89,4 \text{ Ом}.$

2.6.5.

а) $I_{2II} = 39,47 \text{ А}, I_{21II} = 52,63 \text{ А}, I_{211II} = 47,37 \text{ А}; I_{III} = 27,28 \text{ А}, I_{11II} = 36,37 \text{ А}, I_{111II} = 32,74$

б) $I_{\text{юк}} = 164,5 \text{ А}; в) I_1 = 52,48 \text{ А}; I_{11} = 61,22 \text{ А}; I_{111} = 50,88 \text{ А};$

г) $(I_1 / I_{2II}) \cdot 100 = 133\%; (I_{11} / I_{211II}) \cdot 100 = 116\%; (I_{111} / I_{2111II}) \cdot 100 = 107\%$

д) $(I_1^* / I_{2II}) \cdot 100 = (I_{11}^* / I_{211II}) \cdot 100 = (I_{111}^* / I_{2111II}) \cdot 100 = 118\%.$

2.6.6.

а) $I_{III} = 6,621 \text{ А}; I_{2II} = 91,04 \text{ А}; P_{r_n} = 1500 \text{ Вт}$

б) $R = 11,54 \text{ Ом}; x_s = 26,7 \text{ Ом}; P_n = 1610 \text{ Вт}.$

2.6.7. а) $\eta_n = 95,63\%; б) \kappa = 43 \text{ сум}; в) U_2 = 388 \text{ В}.$

2.6.8.

а) $I_{III} = 2,664 \text{ А}; I_{2II} = 231 \text{ А}; б) \omega_1 = 2312; \omega_2 = 2\omega_2' = 2 \cdot 15 = 30;$

в) $R = 184 \text{ Ом}; z_k = 457 \text{ Ом}; x_s = 419 \text{ Ом}; г) P_{r_n} = 3850 \text{ Вт}; \cos \varphi_{KT} = 0,4;$

д) $R_2 = 0,0117 \text{ Ом}; е) l_1 = 294 \text{ м}; l_2 = 32,75 \text{ м}; ж) A_n = 243 \text{ см}^2.$

2.6.9.

а) $R_1 = 33,6 \text{ Ом}; R_2' = 33,6 \text{ Ом}; x_s = 54,5 \text{ Ом}; x_{s2} = 49,5 \text{ Ом}; \delta) I_{\mu} = 0,1304 \text{ А}; I_n = 0,01505 \text{ А};$

в) $x_{\mu} = 93 \text{ кОм}; R_n = 806 \text{ кОм}; \text{г) } A_n = 213,2 \text{ см}^2; \text{д) } D_0 = 177 \text{ мм}$

2.6.10. а) $R = 3,492 \text{ Ом}; x_s = 7,45 \text{ Ом}.$

3– боб. АСИНХРОН МАШИНАЛАР

3.1. Асинхрон машинанинг тенгламалари ва параметрларини келтириш

Асинхрон машина статор чулғамида ҳосил бўлган ЭЮК

$$E_1 = 4,44 f \omega_1 k_{r1} \Phi, \quad (3.1)$$

бу ерда: f – частота ; ω_1 - статор чулғамининг ўрамлар сони, k_{r1} - статор чулғамининг чулғам коэффициентини; Φ – магнит оқим.

Ротор чулғамида ҳосил бўлган ЭЮК

$$E_2 = 4,44 f_1 \omega_2 k_{r2} \Phi, \quad (3.2)$$

бу ерда: $S = \frac{n_1 - n}{n_1}$ сирпаниш; ω_2 - ротор чулғамининг ўрамлар

сони; k_{r2} - ротор чулғамининг чулғам коэффициентини.

Асинхрон машинанинг трансформация коэффициентини

$$k_{TP} = \frac{E_1}{E_2} = \frac{\omega_1 k_{r1}}{\omega_2 k_{r2}}. \quad (3.3)$$

ЭЮК нинг келтирилган қиймати

$$E_2' = k_{TP} E_2 = \frac{\omega_1 k_{r1}}{\omega_2 k_{r2}} \cdot 4,44 f_1 \omega_2 k_{r2} \Phi = 4,44 f_1 \omega_1 k_{r1} \Phi = E_1 = E. \quad (3.4)$$

Токнинг келтирилган қиймати

$$I_2' = \frac{m_2}{m_1} \frac{I_2}{k_{TP}}, \quad (3.5)$$

бу ерда: m_1 , m_2 - статор ва роторнинг фазалар сони.

Келтирилган актив қаршилиқ

$$R_2' = \frac{m_1}{m_2} k_{TP}^2 R_2. \quad (3.6)$$

Келтирилган индуктив қаршилик

$$x_2' = \frac{m_1}{m_2} k_{TP}^2 x_2. \quad (3.7)$$

Келтирилган тўла қаршилик

$$z_2' = \frac{m_1}{m_2} k_{TP}^2 z_2. \quad (3.8)$$

3.2. Асинхрон машинадаги қувват ва исрофлар

Уч фазали асинхрон мотори тармоқдан P_1 қувватни истеъмол қилади

$$P_1 = 3U_1 I_1 \cos \varphi_1. \quad (3.9)$$

Статор пўлат ўзагидаги исроф P_{n1} , чулғамдаги исроф P_{r1} .

Пўлатдаги исроф

$$P_{n1} = P_{\text{я1}} + P_{T1}, \quad (3.10)$$

бу ерда: $P_{\text{я1}}, P_{T1}$ - статор ярмосидаги ва тишларидаги исроф.

Ярмодаги исроф

$$P_{\text{я1}} = 2P_{1,0} B_{\text{я1}}^2 m_{\text{я1}}; \quad (3.11)$$

Тишлардаги исроф

$$P_{T1} = 3P_{1,0} (B_{T1} k_{\delta})^2 m_{T1}, \quad (3.12)$$

бу ерда: $P_{1,0}$ - статор пўлатидаги солиштирма исроф, Вт/кг; $B_{\text{я1}}$ - ярмодаги ўртача индукция, Тл; $m_{\text{я1}}$ - якорнинг массаси, кг; m_{T1} - тишларнинг массаси, кг; B_{T1} - тишлардаги ўртача индукция, Тл; k_{δ} - ҳаво бўшлиғи (зазор) коэффициенти.

Статор чулғамдаги исроф

$$P_{r1} = 3I_1^2 R_1, \quad (3.13)$$

бу ерда: I_1 - статор фазасидаги ток; R_1 - статор фазаси чулғамининг 75°C даги актив қаршилиги.

$$R_1 = \rho_{75} \frac{l_1 2\omega_1}{a_1 c_1 A_1}, \quad (3.14)$$

бу ерда: l_1 - ўтказгичнинг (симнинг) ўртача узунлиги; a_1 - параллел шохобчалар сони; c_1 - паздаги элементар ўтказгичлар сони. Статор чулғамидаги бу исрофни мис симлар массаси ва ундаги ток зичлиги орқали ҳам топиш мумкин.

$$P_{r1} = 2,42J_1^2 m_{r1}. \quad (3.15)$$

Электромагнит кувват

$$P_{\Sigma} = P_1 - (P_{nl} + P_{r1}) = P_1 - P_{ист1}, \quad (3.16)$$

бу ерда: $P_{ист1}$ - статор чулғами истеъмол қилаётган кувват.

Ротордаги исроф пўлатдаги P_{r2} ва чулғадаги P_{r2} исрофлардан иборат

$$P_{ист2} = P_{r2} + P_{r2}.$$

Фаза роторли асинхрон машинада механик исроф

$$P_{мех} = P_{\Sigma} - (P_{r2} + P_{r2} + P_{юк}), \quad (3.17)$$

бу ерда: $P_{юк}$ - юклама куввати.

Валдаги кувват

$$P = P_{мех} - P_{Т,В}, \quad (3.18)$$

бу ерда: $P_{Т,В}$ - титраш ва вентиляция исрофи.

Номинал сирпанишда ротор пўлатидаги кувват исрофи жуда кичик бўлади шу сабабли уни ҳисобга олмасам ҳам бўлади.

Ротордаги электр исрофи

$$P_{r2} = m_2 I_2^2 R_2 = m_1 (I_2')^2 R_2'. \quad (3.19)$$

Бу кувват исрофини худди (3.15) формула сингари ёзиш мумкин

$$P_{r2} = 2,42J_2^2 m_{r2}. \quad (3.20)$$

Қисқа туташган роторли асинхрон моторларда стержен ва контакт ҳалқадаги исрофлар

$$\left. \begin{aligned} P_{стерж} &= z_2 I_{стерж}^2 \rho \frac{l_{стерж}}{A_{стерж}} \\ P_{хал} &= 2I_{хал}^2 \rho \frac{D_{хал} \pi}{A_{хал}} \end{aligned} \right\} \quad (3.21)$$

Ротордаги исроф

$$P_{r2} = P_{\text{стерж}} + P_{\text{хал}}.$$

Агарда стержен ва ҳалқалар бир хил материалдан тайёрланган бўлса, у ҳолда

$$P_{r2} = \frac{\rho}{\rho'} (m_{\text{стерж}} S_{\text{стерж}}^2 + m_{\text{хал}} S_{\text{хал}}^2), \quad (3.22)$$

бу ерда: ρ – чулғам материалынинг солиқтирма қаршилиги; ρ' – чулғам материалынинг зичлиги.

Тўла механик қувват

$$P_{\text{мех}} = P_{\text{э}} (1 - S). \quad (3.23)$$

Чулғамдаги исроф

$$P_r \approx P_{\text{э}} S. \quad (3.24)$$

3.3. Асинхрон машина моменти

Асинхрон машинанинг электромагнит қуввати момент билан қуйидагича боғланган

$$P_{\text{э}} = M \cdot 2\pi n. \quad (3.25)$$

(3.19) ва (3.24) формулалардан фойдаланиб, моментни тахминий қуйидагича ёзиш мумкин

$$M = 9,55 \frac{3}{n} U_1^2 \frac{R_2' / S}{(R_1 + R_2' / S)^2 + x^2}, \quad (3.26)$$

бу ерда: $x = x_1 + x_2'$; n – синхрон айланиш частотаси, айл / мин; U_1 – кучланиш, В; R , x – актив ва индуктив қаршилиқлар, Ом.

Юргизиш моменти ($S = 1$)

$$M_{\text{юр}} = 9,55 \frac{3}{n} I_{2К.Т}^2 R_2', \quad (3.27)$$

бу ерда: $I_{1К.Т}'$ – ротордаги келтирилган қисқа туташув токи.

Моторнинг тахминий максимал моменти

$$M_{\text{max}} = 9,55 \frac{3}{n} U_1^2 \frac{1}{2(R_1 + \sqrt{R_1^2 + x^2})}. \quad (3.28)$$

Критик сирпаниш

$$S_{\text{КР}} \approx R_2' / x. \quad (3.29)$$

(3.26) ва (3.28) формулалардан фойдаланиб, M/M_{max} нисбатни топамиз

$$\frac{M}{M_{\text{max}}} = \frac{2}{\frac{S_{\text{КР}}}{S} + \frac{S}{S_{\text{КР}}}}. \quad (3.30)$$

3.4. Намунавий масалалар ечиш

Статор чулғами Y уланган уч фазали тўрт қутбли асинхрон моторнинг қуйидаги параметлари берилган:

$$U_H = 380\text{В}, I_H = 5,6\text{А}, P_H = 2,8\text{кВт}, f = 50\text{Гц}, \eta_H = 84\%,$$

$$R_1 = 1,8\text{Ом}, R_2 = 2,9\text{Ом}, x_1 = 2,9\text{Ом}, x_2 = 3,6\text{Ом}, x_\mu = 102\text{Ом}.$$

Қуйидагилар аниқлансин:

а) ротор пўлатдаги исроф ҳисобга олинмасдан, $P_{\text{Т.Р}} = 0,01 P_H$ учун номинал айланиш частотаси:

б) моторнинг қисқа туташув токи ва юргизиш моменти.

Ечиш.

а) мотор истеъмол қилаётган қувват

$$P_{\text{ИН}} = P_H / \eta = 2,8 / 0,84 = 3,33\text{кВт}.$$

Статордаги қувват коэффициенти

$$\cos \varphi_1 = \frac{P_{\text{ИН}}}{\sqrt{3} U_H I_H} = \frac{3330}{\sqrt{3} * 380 * 5,6} = 0,905.$$

Статор токининг вектор кўриниши

$$\dot{I}_1 = I_1 \cos \varphi_1 + j I_1 \sin \varphi_1 = 5,6 * 0,905 + j 5,6 * 0,436 = 5,07 + j 2,44\text{А}$$

Тахминий салт ишлаш токи

$$\dot{I}_0 = j \frac{U_1}{x_1 + x_\mu} = j \frac{220}{2,9 + 102} = j 2,1\text{А}$$

Ротор токининг келтирилган қиймати

$$\dot{I}'_2 = \dot{I}_0 - \dot{I}_1 = j 2,1 - 5,07 - j 2,44 = -5,07 - j 0,34\text{А}$$

$$I'_2 = 5,08\text{А}$$

Ротор чулғамидаги исроф

$$P_{\text{r}_2} = 3 I_2'^2 R_2' = 3 * 5,08^2 * 2,9 = 224,5 \text{ Вт}$$

Механик қувват

$$P_{\text{мех}} = P_H + P_{\text{Т.В}} = P_H + 0,01P_H = 2,8 + 0,01 \cdot 2,8 = 2,83 \text{ кВт}$$

Номинал сирпаниш

$$S_H = \frac{P_{\text{г2Н}}}{P_{\text{Э,Н}}} = \frac{P_{\text{г2Н}}}{P_{\text{г2Н}} + P_{\text{мех}}} = \frac{224,5}{224,5 + 2830} = 0,0735 = 7,35\%$$

б) гўла қаршилиқ

$$z_k = \sqrt{R^2 + X^2} = \sqrt{(1,8 + 2,9)^2 + (2,9 + 3,6)^2} = \text{Ом.}$$
$$\sqrt{22,1 + 42,25} = 8,02 \text{ Ом}$$

Қисқа туташув токи

$$I_{\text{К.Т}} = I'_{\text{2К.Т}} = \frac{U_1}{z_k} = \frac{380/\sqrt{3}}{8,02} = 27,4 \text{ А.}$$

Синхрон айланиш частотаси

$$n = \frac{60f}{p} = \frac{60 \cdot 50}{2} = 1500 \text{ айл / мин.}$$

Юргишиш momenti

$$M_{\text{юр}} = 9,55 \frac{3}{n} I_{\text{2К.Т}}^2 R_2' = 9,55 \frac{3}{n} (27,4)^2 \cdot 2,9 = 41,6 \text{ Н·м.}$$

3.4.2. Статор чулғами Δ уланган уч фазали тўрт қутбли асинхрон моторнинг қуйидаги номинал қийматлари берилган:
 $U_H = 380 \text{ В}$, $f = 50 \text{ Гц}$, $P_H = 3,7 \text{ кВт}$, $\cos \varphi_H = 0,7$

$$\eta_H = 0,85; n_H = 1460 \text{ айл/мин.}$$

Қуйидагилар топилин:

а) статорнинг ички диаметри $D = 135 \text{ мм}$, пўлат ўзак узунлиги $l = 175 \text{ мм}$, статор пазлари сони $z_1 = 36$, пазлардаги симлар сони $z_1 = 36$, статор чулғамининг чулғам коэффициенти $k_{\text{с1}} = 0,831$ бўлса, ҳаво бўшлиғидаги ўртача индукция;

б) ҳаво бўшлиғи $\delta = 0,5 \text{ мм}$, ҳаво бўшлиғи коэффициенти $k_{\delta} = 1,128$, тишларнинг ўлчамлари: $v_1 = 4,9 \text{ мм}$, $L_{\text{T1}} = 18,5 \text{ мм}$, $v_2 = 5,8 \text{ мм}$, $L_{\text{T2}} = 25 \text{ мм}$, ротор пазлари сони $z_2 = 30$, пакетларни пўлат билан тўлдириш коэффициенти $k_n = 0,93$ бўлса, ҳаво бўшлиғидаги ва тишлардаги магнит кучланишлар;

в) $h_{\text{а1}} = 35 \text{ мм}$, $h_{\text{а2}} = 14,4 \text{ мм}$ бўлса, ярмодаги индукция;

г) чулғам иккита параллел мис симдан тайёрланган бўлса ($c_1 = 2$, $d = 0,9$ мм), ток зичлиги.

Ечиш.

а) кутб ва фазага тўғри келувчи пазлар сони

$$q_1 = \frac{z_1}{2pm_1} = \frac{36}{2 \cdot 2 \cdot 3} = 3.$$

Статор чулғами фазасидаги ўрамлар сони

$$\omega_1 = pq_1z_1 = 2 \cdot 3 \cdot 36 = 216.$$

Магнит оқим

$$\Phi \approx \frac{U_1}{4,44f_1\omega_1k_{r1}} = \frac{380}{4,44 \cdot 50 \cdot 216 \cdot 0,831} = 0,954 \cdot 10^{-2} \text{ Вб.}$$

Кутб бўлинмасы

$$\tau = \frac{\pi D}{2p} = \frac{0,135 \cdot 3,14}{2 \cdot 2} = 0,106 \text{ м.}$$

Хаво бўшлиғидаги ўртача индукция

$$B_\delta = \frac{\Phi}{\tau \cdot l} = \frac{0,954 \cdot 10^{-2}}{0,106 \cdot 0,175} = 0,5143 \text{ Тл.}$$

б) $\alpha'_i = 0,77$ деб қабул қиламиз ва хаво бўшлиғидаги максимал индукцияни топамиз

$$B_{\delta m} = \frac{B_\delta}{\alpha'_i} = \frac{0,5143}{0,77} = 0,668 \text{ Тл.}$$

Хаво бўшлиғининг магнит кучланиши

$$F_{m\delta} = \frac{k_\delta \cdot \delta}{\mu_0} B_{\delta m} = \frac{1,128 \cdot 0,5 \cdot 10^{-3} \cdot 0,668}{1,257 \cdot 10^{-6}} = 299 \text{ А.}$$

Тишлардаги индукцияни топиш учун пазлар бўлинмасини топиш лозим

$$\tau_{n1} = \frac{\pi D}{z_1} = \frac{135 \cdot 3,14}{36} = 11,8 \text{ мм;}$$

$$\tau_{n2} = \frac{\pi D}{z_2} = \frac{135 \cdot 3,14}{30} = 14,13 \text{ мм.}$$

Тишлардаги индукция

$$B_{T1} = \frac{\tau_{n1} l}{B_1 l_{\text{ст}}} B_{\delta\tau} = \frac{11,8 \cdot 175}{4,9 \cdot 0,93 \cdot 175} \cdot 0,668 = 1,725 \text{ Тл};$$

$$B_{T2} = 0,95 \frac{\tau_{n2} l}{B_2 l_{\text{ст}}} B_{\delta\tau} = 0,95 \cdot \frac{14,13 \cdot 174}{5,8 \cdot 0,93 \cdot 175} \cdot 0,668 = 1,66 \text{ Тл}.$$

Шу индукцияларга мос келувчи

Майдон кучланганликлари

$$H_{T1} = 110 \text{ А/см}; H_{T2} = 75 \text{ А/см}.$$

Магнит кучланишлар

$$F_{mT1} = H_{T1} L_{T1} = 110 \cdot 1,85 = 204 \text{ А}.$$

$$F_{mT2} = H_{T2} L_{T2} = 75 \cdot 2,5 = 188 \text{ А}.$$

Тўйиниш коэффициенти

$$k_T = \frac{F_{mT1} + F_{mT2}}{F_{m\delta}} = \frac{204 + 188}{299} = 1,31. ;$$

в) ярмодаги индукция

$$B_{\text{я1}} = \frac{\Phi}{2h_{\text{я1}} l_{\text{кн}}} = \frac{0,954 \cdot 10^{-2}}{2 \cdot 0,035 \cdot 0,39 \cdot 0,175} = 0,837 \text{ Тл}$$

$$B_{\text{я2}} = 0,95 \frac{\Phi}{2h_{\text{я2}} l_{\text{кн}}} = 0,95 \cdot \frac{0,954 \cdot 10^{-2}}{2 \cdot 0,0144 \cdot 0,93 \cdot 0,175} = 2,035 \text{ Тл}.$$

г) моторнинг тўла қуввати

$$S_H = \frac{P_H}{\eta_H \cos \varphi_H} = \frac{3,7}{0,85 \cdot 0,7} = 6,22 \text{ кВА}.$$

Номинал линия токи

$$I_{\text{лн}} = \frac{S_H}{\sqrt{3} U_{\text{лн}}} = \frac{6,22 \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot 380} = 9,5 \text{ А}$$

Фаза токи $I_{\text{1Н}} = I_{\text{лн}} / \sqrt{3} = 9,5 / \sqrt{3} = 5,5 \text{ А}$ (Δ уланишда)

Ток зичлиги

$$J_1 = I_{\text{1Н}} / c_1 a_1 A_1 = \frac{5,5}{2 \cdot 1 \cdot 0,636} = 4,32 \text{ А/мм}^2.$$

Параллел шохобчалар сони ва кесим $a_1 = 1$;

$$A_1 = d^2 \pi / 4 = 0,9^2 \cdot 3,14 / 4 = 0,636 \text{ мм}^2.$$

3.4.3. Уч фазали қисқа туташган роторли асинхрон моторнинг куйидаги параметлари берилган:

$$U_{\text{нл}} = 380\text{В}, I_{\text{н}} = 20,3\text{А}, P_{\text{н}} = 10\text{кВт}, f = 50\text{Гц}, 2p = 4, \eta_{\text{н}} = 87\%,$$

$$P_{\text{н}} = 382\text{Вт}, R_1 = 1,135\text{Ом}, R_2' = 1,28\text{Ом}, x_{\mu} = 79\text{Ом}, x_1 =$$

$$= 2,7\text{Ом}, x_2' = 3,8\text{Ом}.$$

Топиш керак:

а) юргизиш токи;

б) айланма диаграммани куриш учун керак бўлган қийматлар;

в) ишчи ва критик сирпаниш;

г) номинал, юргизиш ва максимал моментлар.

Ечиш.

а) қисқа туташув тўла қаршилиги

$$z_{\text{к.т}} = \sqrt{(R_1 + R_2')^2 + (x_1 + x_2')^2} = \sqrt{(1,135 + 1,28)^2 + (2,7 + 3,8)^2} = 6,93\text{Ом}$$

Номинал кучланишдаги қисқа туташув токи

$$I_{\text{к.тн}} = \frac{U_1}{z_{\text{к}}} = \frac{380}{6,93} = 54,83 \text{ А}.$$

Номинал фаза токи

$$I_{\text{нф}} = I_{\text{н}} / \sqrt{3} = 20,3 / \sqrt{3} = 11,73 \text{ А} \quad (\Delta \text{ уланганда})$$

Юргизиш токининг карралиги

$$\frac{I_{\text{к.тн}}}{I_{\text{нф}}} = \frac{54,83}{11,73} = 4,67 ;$$

б) айланма диаграммада қисқа туташув нуктаси маълум:

$$I_{\text{к.тн}} = 54,83\text{А}.$$

Қисқа туташувдаги қувват коэффиценти

$$\cos \varphi_{\text{к.т}} = \frac{R}{z_{\text{к.т}}} = \frac{R_1 + R_2'}{z_{\text{к.т}}} = \frac{1,35 + 1,28}{6,93} = 0,348.$$

$S = \infty$ нуктадаги қийматлар

$$I_{\infty} = \frac{U_1}{z_{\infty}} = \frac{U_1}{\sqrt{R_1^2 + (x_1 + x_2')^2}} = \frac{380}{\sqrt{1,135^2 + (2,7 + 3,8)^2}} = 57,6 \text{ A.}$$

$$\cos \varphi_{\infty} = \frac{R_1}{z_{\infty}} = \frac{1,135}{\sqrt{1,135^2 + (2,7 + 3,8)^2}} = 0,172.$$

$S = 0$ нуқтадаги қийматлар

$$I_0 \approx \frac{U_1}{x_{\mu} + x_1} = \frac{380}{79 + 2,7} = 4,65 \text{ A}$$

$$\cos \varphi_0 = \frac{P_0}{3U_1 I_0};$$

$$P_0 = P_{r,0} + P_n + P_{Т.В}$$

$$P_{r,0} = 3I_0^2 R_1 = 3 * 4,65^2 * 1,135 = 73,7 \text{ Bm};$$

$$P_n = 382 \text{ Bm},$$

$$P_{Т.В} = 0,01 P_H = 0,01 * 10 * 10^3 = 100 \text{ Bm},$$

$$P_0 = 73,7 + 382 + 100 = 555,7 \text{ Bm}$$

$$\cos \varphi_0 = \frac{555,7}{3 * 380 * 4,65} = 0,105.$$

в) истеъмол қилинаётган қувват

$$P_1 = P_H / \eta_H = 10 / 0,87 = 11,5 \text{ кВт}$$

Статор чулғамидаги исроф

$$P_{r1} = 3I_{rH}^2 R_1 = 3 * 11,73^2 * 1,135 = 468,5 \text{ Вт}$$

Электромагнит қувват

$$P_{\Sigma} = P_1 - P_{иср} = P_1 - (P_{n1} + P_{r1}) = 11500 - (382 + 468,5) = 10650$$

Вт

Ротор пўлатдаги исрофни ҳисобга олмасак ротор чулға-мидаги исроф

$$P_{r1} = P_{\Sigma} - (P + P_{Т.В}) = 10650 - (10000 + 100) = 550 \text{ Вт.}$$

Номинал сирпаниш

$$S_H = \frac{P_{r,2H}}{P_{\Sigma,H}} = \frac{550}{10650} = 0,0516 = 5,16\%$$

Критик сирпаниш

$$S_{кр} = \frac{R_2'}{\sqrt{R_1^2 + (x_1 + x_2')^2}} = \frac{1,28}{\sqrt{1,135^2 + (2,7 + 3,8)^2}} = \frac{1,28}{6,6} = 0,194 = 19,4\%.$$

г) номинал моменти

$$M_H = 9,55 \frac{P_{\Omega}}{b} = 9,55 \frac{10650}{1500} = 67,8 \text{ Н} \cdot \text{м},$$

$$n = \frac{60f}{p} = \frac{3000}{2} = 1500 \text{ айл/мин}$$

Текширамиз:

$$M_{II} = 9,55 \frac{P_H}{n_H} = 9,55 \frac{P_H}{(1-S)n} = 9,55 \frac{10000}{(1-0,0516) \cdot 1500} = 67,1 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

фарк 0,7 Н·м, яъни 1% га яқин.

Юргизиш моменти

$$M_{юр} = 9,55 \frac{3I_{2К.Т}^2 R_2'}{n} \approx 9,55 \frac{3I_{К.ТН}^2 R_2}{n} \text{ Н} \cdot \text{м} = 9,55 \frac{3 \cdot 54,83^2 \cdot 1,28}{1500} = 73,6$$

Юргизиш моментининг номинал моментга нисбати

$$\frac{M_{юр}}{M_H} = \frac{73,6}{67,8} = 1,08 > 1.$$

Максимал момент

$$M_{\max} = \frac{9,55}{n} 3U_1^2 \frac{1}{2(R_1 + \sqrt{R_1^2 + x^2})} = \frac{9,55}{1500} \cdot 3 \cdot 380^2 \cdot \frac{1}{2(1,135 + \sqrt{1,135^2 + 6,5^2})} = 166,8 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

$$x = (x_1 + x_2) = (2,7 + 3,8) = 6,5 \text{ Ом}.$$

Максимал моментнинг номинал моментга нисбати

$$\frac{M_{\max}}{M_H} = \frac{166,8}{67,8} = 2,46.$$

3.4.4. 3.4.2 – масаладан ротор чулғами узунлигининг ярми $l_1 = 342$ мм. Ротор чулғами қисқа туташтирилган, стерженнинг узунлиги $l_{\text{стер}} = 190$ мм, кўндаланг кесим юзаси $A_{\text{стер}} = 72$ мм², қисқа туташтирувчи ҳалқанинг диаметри $D_{\text{хал}} = 103$ мм, унинг кўндаланг кесим юзаси $A_{\text{хал}} = 310$ мм. Стержен ва ҳалқа бир хил материалдан (AlSi12) тайёрланган бўлиб, солиштирма қаршилиги $\rho_{75} = 0,05$ мкОм·м.

Қуйидагилар топилсин:

а) статор ва ротор чулғамларининг келтирилган қаршиликлари;

б) агарда $m_{r1} = 5,05$ кг, $m_{\text{стер}} = 1,12$ кг, $m_{\text{хал}} = 0,25$ кг, ток зичлиги $J_1 = 4,32$ А/мм²,

$J_{\text{стер}} = 1,92$ А/мм², $J_{\text{хал}} = 1,06$ А/мм² бўлса, чулғамлардаги исроф;

Ечиш.

а) 3.4.2 масаладаги параметрлардан фойдаланиб

$$R_1 = \rho_{75} \frac{l_1 2\omega_1}{a_1 c_1 A_1} = 0,0216 \frac{0,342 * 2 * 216}{1 * 2 * 0,636} = 2,51 \text{ Ом}.$$

Ротор чулғамининг келтирилган қаршилиги

$$R_2 = \frac{4m_1(\omega_1 k_{r1})^2}{z_2} \left(\rho_{\text{стер}} \frac{l_{\text{стер}}}{A_{\text{стер}}} + \frac{z^2}{4\rho^2\pi^2} * 2 * \frac{D_{\text{хал}}\pi}{A_{\text{хал}}} \rho_{\text{стер}} \right) =$$

$$= \frac{43(216 * 0,831)^2}{30} \left(0,05 \frac{0,19}{72} + \frac{30}{4 * 2^2 * 3,14^2} \frac{2 * 0,103}{310} * 0,05 \right) =$$

$$= 1,71 + 0,26 = 1,97 \text{ Ом}.$$

б) статор чулғамдаги исроф

$$P_{r1} = 2,47 J_r^2 m_2 = 2,47 * 4,32^2 * 5,05 = 228,1 \text{ Вт}$$

Ротор чулғамидаги исроф

$$P_2 = 18,2(m_{\text{стер}} J_{\text{стер}}^2 + \Gamma_{\text{хал}} J_{\text{хал}}^2) = 18,2(1,12 * 1,92^2 + 0,25 * 1,06^2) = 80,2 \text{ Вт.}$$

3.4.5. 3.4.2 – масаладаги параметрларга асосан асосий магнит оқимига тўғри келувчи индуктив қаршилик ҳисоблансин. Узунлик бирлигидаги солиштирма магнит ўтказувчанликлар:

$$\lambda_{\text{п1}} = 2,2 * 10^{-8} \text{ Гн}, \lambda_{\text{п2}} = 0,75 * 10^{-8} \text{ Гн}, \lambda_{\text{тпр}} = 0,56 * 10^{-8} \text{ Гн}, \lambda_{\text{кнй}} = 0,54 * 10^{-8} \text{ Гн.}$$

Ҳаво бўшлиғидаги сочилма коэффициентлари $\delta_{\delta 1} = 1,11 * 10^{-2}$, $\delta_{\delta 2} = 1,32 * 10^{-2}$. Демпфирловчи коэффициент $\Delta = 0,985$.

Ечиш.

Ҳаво бўшлиғидаги асосий магнит оқимга мос келувчи индуктив қаршилик

$$x_{\mu} = \frac{4}{\pi} \mu_0 f_1 m_1 \omega_1^2 k_{r1}^2 \frac{\tau l_n}{\rho k_{\delta} \delta (k_T + 1)} = \frac{4}{\pi} * 1,257 * 10^{-6} * 50 * 3 * (216 * 0,831)^2 * x \frac{0,106 * 0,175}{2 * 1,128 * 0,5 * 10^{-3} (1,31 + 1)} = 55,10 \text{ Ом.}$$

Паздаги сочилма индуктив қаршилик

$$x_{\text{sn1}} = 4 f_1 \pi \frac{\omega_1^2}{\rho} \left(\frac{k_{r1}}{k_{r2}} \right)^2 l_p \frac{\lambda_{\text{тпр}}^2}{q_2} = 4 * 3,14 * 50 * \frac{216^2}{2} \left(\frac{0,831}{1} \right)^2 * x 17,5 * \frac{0,75 * 10^{-8}}{2,5} = 0,53 \text{ Ом.}$$

Чулғамнинг тирсак қисмидаги сочилма индуктив қаршилик ($l_1 = 34,2 \text{ см}$)

$$x_{\text{стт1}} = 4 \pi f_1 \frac{\omega_1^2}{\rho} l_p \frac{\lambda_{\text{тпр}}}{q_1} = 4 * 3,14 * 50 * \frac{216^2}{2} * 17,5 * x \frac{0,56 * 10^{-8}}{3} = 0,48 \text{ Ом.}$$

Хаво бўшлиғидаги сочилма индуктив қаршилик

$$x_{\delta 1} = \Delta \sigma_{\delta 1} x_{\mu} = 0,985 * 1,11 * 10^{-2} * 55,1 = 0,6 \text{ Ом}$$

$$x'_{\delta 2} = \sigma_{\delta 2} x_{\mu} = 1,32 * 10^{-2} * 55,1 = 0,73 \text{ Ом.}$$

Паз қийшиқлигидаги сочилма индуктив қаршилик

$$x'_{\text{Сккн}} = 4 \pi f_1 \frac{\omega_1^2}{\rho} l_p \frac{\lambda_{\text{квн}}}{q_1} = 4 * 3,14 * 50 * \frac{216^2}{2} * 17,5 \times$$

$$x \frac{0,54 * 10^{-8}}{3} = 0,46 \text{ Ом.}$$

Машинанинг йиғинди индуктив қаршилиги

$$x_s = x_{\text{ст1}} + x'_{\text{ст1}} + x_{\text{сттн}} + x_{\delta 1} + x'_{\delta 2} + x'_{\text{Сккн}} = 1,88 + 0,53 +$$
$$+ 0,48 + 0,6 + 0,73 + 0,46 = 4,68 \text{ Ом.}$$

3.4.6. 8 қутбли уч фазали асинхрон моторнинг номинал кучланиши

$$U_{\text{н}} = 380 \text{ В}; I_{\text{н}} = 51 \text{ А}; n_{\text{н}} = 725 \text{ айл / мин}; \frac{M_{\text{max}}}{M_{\text{н}}} = 3,3; \text{ ротор}$$

занжирининг актив қаршилиги $R_2 = 0,07 \text{ Ом}$ (статор занжиридаги актив қаршилик ҳисобга олинмасин).

Куйидагилар топилсин:

- критик сирланиш;
- бир хил юкламада кучланишни 350 В гача камайтириб, ишчи сирланиш;

Ечиш.

- синхрон айланиш частотаси $n_1 = 750 \text{ айл/мин}$.

Номинал сирланиш

$$S_{\text{н}} = \frac{n_1 - n}{n_1} = \frac{750 - 725}{750} = 0,033.$$

$$\frac{M_{\text{н}}}{M_{\text{max}}} = \frac{2}{\frac{S_{\text{н}}}{S_{\text{кр}}} + \frac{S_{\text{кр}}}{S_{\text{н}}}} = \frac{1}{3,3}.$$

бундан $S_{\text{кр}}$ ни топиб, $S_{\text{н}}$ ўрнига қўйсақ $S_{\text{кр}}^2 - 0,22 S_{\text{кр}} + 0,0011 = 0$ кўринишдаги иккинчи даражали тенгламага эга бўламиз. Унинг ечими $S_{\text{кр}1} = 0,21; S_{\text{кр}2} = 0,005.$

$S_{KР2} = 0,005$ S_H дан кичик, шу сабабли у тўғри келмайди.
 Демак, $S_{KР} = 0,21$ максимум моментга тўғри келади.

б) момент

$$\frac{M_H}{M_{KР}} = \left(\frac{U}{U_H} \right)^2 \frac{2}{\frac{S}{S_{KР}} + \frac{S_{KР}}{S}}$$

$M_H / M_{\max} = 1/3,3$ ни ҳисобга олсак,

$$\frac{S}{S_{KР}} + \frac{S_{KР}}{S} = 6,6 \left(\frac{U}{U_H} \right)^2 \text{ га эга бўламиз.}$$

Бу тенгламага U ва $S_{KР}$ нинг қийматини қўйиб,
 $S^2 - 1,18S + 0,044 = 0$ тенгламага эга бўламиз. Унинг ечими
 $S_1 = 1,14$ ва $S_2 = 0,038$ бўлади. $S_1 = 1,14$ моторнинг тормоз иш
 ҳолатига тўғри келади. Шу сабабли қучланиш пасайгандаги ишчи
 сирланиш $S_2 = 0,038$ ҳисобланади.

3.4.7. Қучланиши 380 В бўлган уч фазали қисқа
 туташтирилган роторли асинхрон моторни қисқа туташув
 тажрибаси натижасидан $Z_{КТ} = 6,2 \text{ Ом}$, $\cos \varphi_{КТ} = 0,42$, $I_{КТ} = 65 \text{ А}$..
 Моторнинг статор чулғами Y уланган.

Моторни юргизишда қуйидаги иккита талаб бажарилиши
 керак:

Юргизиш токи 40 А дан ошмасин;

Юргизиш моменти қисқа туташув моментидан 0,34 кичик
 бўлмасин ($M_{\text{юр}} \geq 0,34 M_{\text{юр}}$). Мотор трансформатор ёки индук-
 тивлик орқали юргизилсин.

Қуйидагилар топилсин:

а) трансформатор билан юргизилгандаги трансформациялаш
 коэффициентини ва тармоқ токининг сакраши ($k_{ТР}, I'_{\text{юр}}$);

б) индуктивлик ёрдамида юргизилгандаги индуктив қар-
 шилик $X_{\text{юр}}$.

Ечиш.

а) $I'_{\text{юр}} < 40 \text{ А}$ ва $m'_{\text{юр}} \geq 0,34 m_{\text{юр}}$ икки шартдан, моментлар
 бўйича шарт муҳим ҳисобланади.

$$M'_{юр} = 0,34M_{юр}, \text{ ёки } M'_{юр} \geq M_{юр} / k_{ТР}^2.$$

Икки тенгламадан $k_{ТР}$ ни топамиз

$$k'_{ТР} = 2,94 \text{ ва } k_{ТР} = \sqrt{2,94} = 1,72.$$

$k_{ТР} = 1,7$ деб қабул қиламиз.

Зарбий ток

$$I'_{юр} = \frac{I_{1КТ}}{k_{ТР}^2} = \frac{65}{1,7^2} = 22,5 \text{ А.}$$

б) статор чулғамига кетма-кет уланган индуктивлик зарбий токни k мартага камайтиради ($I'_{юр} = kI_{1КТ}$).

$$M'_{юр} = k^2 M_{юр}; M'_{юр} \geq 0,34 M_{юр}.$$

Бу икки тенгламадан

$$M'_{юр} \geq 0,34 M_{юр} / k^2,$$

бундан

$$k^2 \geq 0,34 \text{ ёки } k \geq \sqrt{0,34} = 0,585.$$

$k = 0,59$ деб қабул қиламиз.

Зарбий ток

$$I'_{юр} = kI_{1КТ} = 0,59 * 65 = 38,4 \text{ А}$$

Тўла юргизиш қаршилиги

$$z_{юр} = jx + z_{КТ} = R + j(x_s + x)$$

$$z_{юр} = z_{КТ} / k.$$

Икки тенгламадан x ни топамиз

$$x = \sqrt{\left(\frac{z_{КТ}}{k}\right)^2 - R^2 - x_s}.$$

$$R = z_{КТ} \cos \varphi_{КТ} = 6,2 * 0,42 = 2,6 \text{ Ом};$$

$$x_s = z_{КТ} \sin \varphi_{КТ} = 6,2 * 0,912 = 5,65 \text{ Ом};$$

$$x = \sqrt{\left(\frac{6,2}{0,59}\right)^2 - 2,6^2 - 5,65} = 4,53 \text{ Ом.}$$

3.4.8. Қисқа туташган роторли уч фазали моторнинг статор чулғами Δ уланган. Моторнинг номинал параметрлари қуйидагича:

$$P_H = 37\text{kВт}, U_H = 380\text{В}, \cos \varphi_H = 0,86, n_H = 1450\text{айл/мин}, I_H = 73\text{А}$$

Моторни тармоққа тўғридан тўғри улашдаги шартлар:

$$I_{\text{юр}} / I_H = 6; M_{\text{юр}} / M_H = 2.$$

Қуйидагилар аниқлансин:

а) Y дан Δ га улагандаги юргизиш токи $I_{\text{юр}Y}$ ва momenti $M_{\text{юр}Y}$;

б) трансформатор ёрдамида юргизилгандаги трансформациялаш коэффициенти.

Ечиш.

а) номинал момент

$$M_H = \frac{P_H}{\omega_H} = \frac{37000}{2\pi * 1450 / 60} = 243,3\text{Н} * \text{м}.$$

Юргизиш momenti ва токи (берилган шартга асосан)

$$M_{\text{юр}} = 2M_H = 2 * 243,3 = 486,6\text{Н} * \text{м};$$

$$I_{\text{юр}} = 6I_H = 6 * 73 = 438\text{А}.$$

Y дан Δ улаб юргизилган ток ва момент 3 марта камаяди

$$I_{\text{юр}Y} = \frac{I_{\text{юр}}}{3} = \frac{438}{3} = 146\text{А}.$$

$$M_{\text{юр}Y} = \frac{M_{\text{юр}}}{3} = \frac{486,6}{3} = 162,2\text{Н} * \text{м}.$$

б) трансформатор билан юргизилганда $M'_{\text{юр}} = M_{\text{юр}} / 3$ шарт бажарилиши лозим.

$M'_{\text{юр}} = M_{\text{юр}} / k_{\text{ТР}}^2$. Бу икки тенгламадан $k_{\text{ТР}}$ ни топамиз

$$M_{\text{юр}} / 3 = M'_{\text{юр}} / k_{\text{ТР}}^2 \text{ бундан}$$

$$k_{\text{ТР}}^2 = 3; k_{\text{ТР}} = \sqrt{3} = 1,73.$$

Зарбий ток

$$I_{\text{юр}}^2 = \frac{I_{\text{юр}}}{k_{\text{ТР}}^2} = \frac{438}{3} = 146\text{А}.$$

3.4.9. 4A180S4У3 типдаги уч фазали қисқа туташган асинхрон моторнинг статор чулғамлари Y схемада уланган бўлиб, $f = 50$ Гц, линия кучланиши $U_{\text{д}} = 380$ В бўлган уч фазали ток тармоғига уланган.

Моторнинг паспортида қуйидаги номинал маълумотлар берилган:

$$P_{\text{H}} = 22 \text{ кВт}, n = 1470 \text{ айл/мин}, \eta_{\text{H}} = 0,9; \cos \varphi_{\text{H}} = 0,9;$$

$$2p = 4, M_{\text{max}} / M_{\text{H}} = 2,3; M_{\text{юр}} / M_{\text{H}} = 1,4; I_{\text{юр}} / I_{\text{H}} = 6,5$$

Қуйидагилар топилсин:

- роторнинг номинал сирпаниши;
- моторнинг номинал, юргизиш ва максимал моментлари;
- моторнинг тармоқдан истеъмол қиладиган қуввати;
- моторнинг номинал ва юргизиш токлари;
- тармоқ кучланиши 10 ва 20 % га пасайгандаги юргизиш

моменти ва токи.

Ечиш.

а) Моторнинг кутблар сони

$$p = \frac{60f}{n_1} = \frac{60 \cdot 50}{1500} = 2,$$

n_1 - синхрон тезлик.

Роторнинг номинал сирпаниши

$$s = \frac{n_1 - n}{n_1} = \frac{1500 - 1470}{1500} = 0,02 ;$$

б) Номинал айлантурувчи момент

$$M_{\text{H}} = 9550 \frac{P_{\text{H}}}{n} = 9550 \frac{22}{1470} = 143 \text{ Н·м}$$

Юргизиш momenti

$$M_{\text{юр}} = 1,4M_{\text{H}} = 1,4 \cdot 143 = 200,2 \text{ Н·м}$$

Максимал айлантурувчи момент

$$M_{\text{max}} = 2,3M_{\text{H}} = 2,3 \cdot 143 = 328,9 \text{ Н·м};$$

в) Моторнинг электр тармоғидан истеъмол қиладиган қувват

$$P_1 = \frac{P_{\text{H}}}{\eta_{\text{H}}} = \frac{22}{0,9} = 24,44 \text{ кВт};$$

в) Электр тармоғидан қабул қиладиган номинал ток

$$I_H = \frac{P_H}{\sqrt{3}U_H \eta_H \cos \varphi_H} = \frac{22}{\sqrt{3} * 0,22 * 0,9 * 0,9} = 71,43 \text{ A}$$

Юргизиш токи

$$I_{\text{юр}} = 6,5 I_H = 6,5 * 71,43 = 464,3 \text{ A.}$$

г) Асинхрон моторнинг айлантурувчи моменти тармоқ кучланишининг квадратагига пропорционал (мутаносиб). Агар тармоқ кучланиши 10% га пасайса, у $0,9U_{1H}$ га тенг бўлади. У ҳолда айлантурувчи момент номиналга нисбатан $(0,9)^2 = 0,81$ ни ташкил этади. Шу кучланишдаги юргизиш моменти

$$M'_{\text{юр}} = 0,81 M_{\text{юр}} = 0,81 * 200,2 = 162,1 \text{ Н·м}$$

Юргизиш токи

$$I'_{\text{юр}} = 0,9 I_{\text{юр}} = 0,9 * 464,3 = 418 \text{ A.}$$

Агар тармоқ кучланиши 20% га камайса, у $0,8U_{1H}$ га тенг бўлади. Айлантурувчи момент номинал моментнинг $(0,8)^2 = 0,64$ ни ташкил этади. Шу кучланишдаги юргизиш моменти

$$M''_{\text{юр}} = 0,64 M_{\text{юр}} = 0,64 * 200,2 = 128 \text{ Н·м.}$$

Юргизиш токи

$$I''_{\text{юр}} = 0,8 I_{\text{юр}} = 0,8 * 464,3 = 371,5 \text{ A.}$$

3.4.10. Цехда ўрнатилган уч фазали асинхрон моторнинг истеъмол қиладиган умумий актив қуввати $P_M = 300$ кВт, кучланиши $U_H = 380$ В ва қувват коэффициентининг ўртача қиймати $\cos \varphi_{\text{ур}} = 0,7$. Ёритгич чироқларининг истеъмол қиладиган умумий қуввати $P_{\text{ер}} = 20$ кВт. Цехнинг қувват коэффициентини $\cos \varphi_2 = 0,95$ гача ошириш учун конденсаторлар батареясида фойдаланиш тавсия этилади.

Куйидагилар аниқлансин:

а) Конденсаторлар ўрнатилмасдан аввалги цех юкламаларининг умумий қуввати P_1 ;

б) Конденсатор батареясининг сизими C ;

в) Конденсатор батареяси ўрнатилмасдан аввал ва ўрнатилгандан сўнг линия симларидаги I_1 ва I_2 тоқлар.

Ечиш.

а) конденсаторлар батареяси ўрнатилмасдан аввалги умумий актив қувват

$$P_1 = P_M + P_{ep} = 300 + 20 = 320 \text{ кВт.}$$

Реактив қувват

$$Q_1 = P_M \operatorname{tg} \varphi_{yp} = 300 * 1 = 300 \text{ кВт} \quad (\operatorname{tg} \varphi_{yp} = 1)$$

$\cos \varphi_1$ ни топиш учун, $\operatorname{tg} \varphi_1$ ни топамиз

$$\operatorname{tg} \varphi_1 = Q_1 / P_1 = 300 / 320 = 0,938$$

У ҳолда $\cos \varphi_1 = 0,734$; $\cos \varphi_2 = 0,95$ бўлганда $\operatorname{tg} \varphi_2 = 0,328$

б) Конденсаторлар батареясининг сизими

$$C = \frac{P(\operatorname{tg} \varphi_1 - \operatorname{tg} \varphi_2)}{\omega U^2} = \frac{300(0,938 - 0,328) * 10^3}{314 * 380^2} = 4 * 10^3 \text{ ф. ;}$$

в) Линия симларидаги тоқлар

$$I_1 = \frac{P_1}{\sqrt{3} U_H \cos \varphi_1} = \frac{320 * 10^3}{\sqrt{3} * 380 * 0,734} = 663,17 \text{ А}$$

$$I_2 = \frac{P_1}{\sqrt{3} U_H \cos \varphi_2} = \frac{320 * 10^3}{\sqrt{3} * 380 * 0,95} = 512,4 \text{ А.}$$

3.5. Мустақил ечиш учун масалалар.

3.5.1. Статор чулғамлари $2p=6$ кутбли бўлган асинхрон мотор роторнинг сирпаниши $S = 0,04$, кучланиш частотаси $f = 50$ Гц. Роторнинг айланиш частотаси аниқлансин.

3.5.2. Асинхрон мотор статор чулғамидаги айланувчи магнит майдонининг айланиш частотаси $n_1 = 1000$ айл / мин. Сирпанишлар қиймати $S = 1; 0; -0,5; -1$ бўлганда роторнинг тезлигини аниқланг ва олинган қийматларнинг физик маъносини тушунтириб беринг.

3.5.3. Уч фазали қисқа туташган роторли асинхрон моторнинг статор чулғамидан ўтаётган ток $10,6$ А, тармоқнинг фаза кучланиши $U_\phi = 220$ В бўлганда истеъмол қиладиган қуввати $P_1 = 3,55$ кВт. Агар моторнинг фойдали қуввати $P_2 = 3$ кВт бўлса, моторнинг ФИК ва қувват коэффициенти нимага тенг?

3.5.4. Асинхрон машинанинг чулғам коэффициентлари ва магнит оқимини ҳисобланг. Машинанинг қуйидаги параметрлари берилган:

$$U_H = 380 / 220\text{В}; 2p = 4; f = 50\text{Гц};$$

кутб ва фазага тўғри келувчи пазлар сони $q_1 = 3$; $y / \tau = 7 / 9$ ва ҳар бир паздаги симлар сони $z_{\text{п}} = 38$.

3.5.5. Уч фазали асинхрон моторнинг номинал кучланиши $U_H = 380\text{В}$, статор чулғами Δ улангандаги номинал ток $I_H = 14,5\text{А}$. Чулғам параметрлари:

$\omega_1 = 320$ ва $k_{r1} = 0,92$; $F_H = 716\text{А}$. Салт ишлаш токининг реактив ташкил этувчиси номинал токнинг неча фоизини ташкил қилади?

3.5.6. Роторнинг айланиш частоталари: 2945; 1480; 985; 735 ва 600 айл / мин дан бўлган уч фазали қисқа туташган роторли асинхрон моторларнинг номинал айлантирувчи моментлари мос ҳолда: 178,43; 355; 533,7; 715; 875,8 Н·м. Моторларнинг қуввати аниқлансин.

3.5.7. 4А200М6У3 типдаги уч фазали қисқа туташган роторли асинхрон моторнинг ротори номинал юкламада $n_H = 975$ айл / мин тезлик билан айланмоқда. Манба кучланишининг частотаси $f_1 = 50$ Гц. Моторнинг жуфт кутблар сони p , синхрон тезлиги n , ва номинал сирпаниши S_H топилсин. Шунингдек $S = 5\%$ бўлганда мотор роторида ҳосил бўлган ЭЮК нинг частотаси f_2 аниқлансин.

3.5.8. 4А160S2У3 типдаги уч фазали қисқа туташган роторли асинхрон мотор уч фазали ток тармоғига уланган. Роторнинг сирпаниши 2 % ва 6 % га тенг бўлганда, роторнинг айланиш бурчак тезлиги ω_2 аниқлансин.

3.5.9. Кўп тезликли асинхрон моторнинг статор чулғамларини қайта уланган, унинг жуфт кутблар сони 2 мартага ортди. Айланувчи магнит майдонининг ва роторнинг айланиш частотаси қандай ўзгаради?

3.5.10. Номинал қувватлари $P'_{2H} = 0,5\text{кВт}$, $P''_{2H} = 1\text{кВт}$ бўлган бир фазали асинхрон моторлар частотаси $f = 50$ Гц, фаза кучланиши $U_{\phi} = 220$ В бўлган ўзгарувчи ток тармоғига уланган.

Моторларнинг қувват коэффициентлари тегишлича $\cos\varphi'_{2H} = 0,7$;
 $\cos\varphi''_{2H} = 0,9$.

Моторлар чулғамидан оқётган тоқлар, реактив ва тўла қувватлари аниқлансин.

Жавоблар.

3.5.1. $n = 960$ айл / мин

3.5.2. $0; 1000$ айл / мин; 1500 айл / мин; 2000 айл / мин

3.5.3. $\eta = 0,845$; $\cos\varphi = 0,88$.

3.5.4. $\kappa_{r1} = 0,902$; $\Phi = 0,482 \cdot 10^{-2}$ Вб

3.5.5. $I_{\mu} = 1,8$ А (21,4%)

3.5.6. 55 кВт

3.5.7. $p=3$; $n_H = 1000$ айл / мин; $S_H = 2,5$ %; $f_2 = 2,5$ Гц

3.5.8. $\omega_2 = 308$ рад/с; $\omega'_2 = 295$ рад/с

3.5.9. 2 марта камаяди.

$I_{III} = 3,25$ А; $I_{2H} = 5,05$ А; $Q_1 = Q_2 = 0,5$ кВАр; $S_1 = 0,7$ кВА; $S_2 = 1,1$ кВА

4- боб. СИНХРОН МАШИНАЛАР

4.1. Салт ишлаш режимида синхрон машинада бўладиган электромагнит жараёнлар

Салт ишлаш режимида синхрон машинанинг статор (якор) токи нолга тенг бўлади. Магнит майдон кўзгатиш чулғами томонидан ҳосил қилинади.

Кўзгатиш чулғами икки хил бўлади: тарқалган чулғам (ноаён қутбди роторда) ва йиғилган чулғам (аён қутбди роторда).

Тарқалган чулғамнинг МЮК

$$F_{fm} = I_f W_f,$$

бу ерда: $W_f = W_k q / 2$ - кўзгатиш чулғамининг ўрамлар сони; q - қутбдаги ўралган пазлар сони; W_k - паздаги ғалтак ўрамларининг сони; I_f - кўзгатиш чулғамининг токи.

Асосий гармоника МЮК нинг амплитудаси

$$F_{f1m} = \frac{4 \sin(\rho\pi/2)}{\pi \rho\pi/2} F_{fm} ,$$

бу ерда: $\rho = v/\tau$ - кутбнинг чулғам ўралган қисмини нисбий узунлиги;

v – кутб бўлинмасининг чулғам ўралган қисми узунлиги.

Йиғилган чулғамнинг МЮК

$$F_{fm} = I_f W_f .$$

Салт ишлаш режимида қўзғатиш чулғами ҳосил қилган магнит майдонининг шакли қуйидаги коэффицентларга боғлиқ бўлади:

Кўзғатиш чулғами майдони шаклининг коэффиценти

$$k_f = B_{\delta 1m} / B_{\delta} ,$$

бу ерда: $B_{\delta 1m}$ - ҳаво бўшлиғидаги индукциянинг асосий гармоника

амплитудаси; $B_{\delta} = \mu_0 \frac{F_f}{\sigma}$ - кутб ўқидаги индукциянинг радиал

ташқил этувчиси.

Ноаён кутбли машина учун (тўйиниш ҳисобга олинмаган)

$$k_f = 8 \sin\left(\frac{\rho\pi}{2}\right) / (\pi^2 \rho).$$

Аён кутбли машина учун (тўйиниш ҳисобга олинмаган)

$$k_f = f(\alpha, \gamma, \epsilon),$$

бу ерда: $\alpha = v_p/\tau$ - нисбий кутб ёйи; $\gamma = \delta_m / \delta'$ - кутб чеккаларидаги нисбий ҳаво бўшлиғи; $\epsilon = \delta' / \tau$ - кутб ўқидаги нисбий ҳаво бўшлиғи. Бу ерда $\delta' = k_{\delta} \delta$ - эквивалент ҳаво бўшлиғи, δ_m - максимал, δ - минимум ҳаво бўшлиғи, k_{δ} - ҳаво бўшлиғи коэффиценти.

Кўзғатиш оқими коэффиценти

$$k_{\phi} = \Phi_{fm} / \Phi_{f1m} ,$$

бу ерда $\Phi_{fm} = \tau I_{\delta} B_{\delta ypr}$ - тўла (реал) ўзаро индукция оқими;

$\Phi_{f1m} = \left(\frac{2}{\pi}\right) \tau I_{\delta} B_{\delta 1m}$ - индукция асосий гармоникасининг оқими;

$B_{\delta ypr}$ - ҳаво бўшлиғидаги ўртача индукция.

Кутб беркилиш ҳисобий коэффиценти

$$\alpha_{\delta} = B_{\delta_{\text{дп}}} / B_{\delta}.$$

ЭДС шаклининг коэффиценти (тўйиниш ҳисобга олинмаган)

$$k_{\text{в}} = B_{\delta_{\text{Г1}}} / B_{\delta_{\text{дп}}} = \pi / 2 \sqrt{2k_{\phi}},$$

бу ерда $B_{\delta_{\text{Г1}}} = B_{\delta_{\text{Г1}}} / \sqrt{2}$ - индукция асосий гармоникасининг таъсир этувчи қиймати.

Ўзаро индукция тўла қаршилиги

$$\Phi_{\tau} = \Phi_{\text{fm}} = k_{\phi} \Phi_{\text{f1m}} = E_f / (4k_{\text{в}} f_1 \omega_1 k_{r1}),$$

Кўзгатиш чулғамидаги МЮК

$$F_{\text{fm}} = F_1 + F_2,$$

бу ерда: $F_1 = F_{\delta} + F_{Z1} + F_{\alpha1}$; F_{δ} - ҳаво бўшлиғининг магнит кучланиши; F_{Z1} - статор тишининг магнит кучланиши; $F_{\alpha1}$ - статор ярмосининг кучланиши; F_2 - роторнинг магнит кучланиши.

Статор магнит ўтказгичининг тўйиниш коэффиценти

$$k_{Za} = (F_{\delta} + F_{Z1} + F_{\alpha1}) / F_{\delta}.$$

4.2. Якор чулғамининг магнит юритувчи кучи, магнит майдони, ЭЮК ва параметлари

Якор (статор) чулғами асосий гармоникасининг амплитудаси

$$F_{am} = (\sqrt{2} / \pi) m_1 (I \omega_1 k_{r1} / p).$$

Якор чулғами МЮК ни бўйлама ташкил этувчисининг амплитудаси

$$F_{dm} = (\sqrt{2} / \pi) m_1 (I_d \omega_1 k_{r1} / p).$$

Якор чулғами МЮК ни кўндаланг ташкил этувчисининг амплитудаси

$$F_{qm} = (\sqrt{2} / \pi) m_1 (I_q \omega_1 k_{r1} / p).$$

Бу ерда: $I_d = I \sin \beta$ ва $I_q = I \cos \beta$, β - ЭЮК \vec{E}_f ва ток \vec{I} (ёки МЮК F_{am}) орасидаги бурчак.

Ноён кутбли синхрон машина учун:

Ҳаво бўшлиғидаги якор майдони индукциясининг асосий гармоникаси амплитудаси

$$B_{a1r} = \mu_0 F_{am} / (\delta k_\delta) ;$$

Якор чулғами билан илашган ўзаро индукция магнит оқими

$$\Phi_T = (2/\pi) \tau l_\delta B_{a1m} ,$$

Ўзаро индукция оқимининг магнит илашимлиги

$$\Psi_{am} = \omega_1 k_{oi} \Phi_T ,$$

Якор чулғами фазасида ўзаро индукция оқими таъсирида ҳосил бўлган ЭЮК

$$E_a = 4,44 f_1 \Phi_T \omega_1 k_{r1} .$$

Аён кутбли синхрон машина учун:

Бўйлама ва кўндаланг МЮК ҳосил қилган индукцияларнинг асосий гармоникалари амплитудаси

$$B_{adm} = k_d B_{adm} ; B_{aqm} = k_q B_{aqm} ,$$

бу ерда: k_d ва k_q - бўйлама ва кўндаланг ўқлар бўйича майдон

шаклининг коэффициентлари; $B_{adm} = \mu_0 F_{dm} / \delta k_\delta$ ва

$B_{aqm} = \mu_0 F_{qm} / \delta k_\delta$ - бўйлама ва кўндаланг якор МЮК лари ҳосил қилган индукцияларнинг амплитудаси.

Токнинг бўйлама ташкил этувчиси I_d га мос келувчи ўзаро индукция магнит оқими, оқим илашимлиги ва ЭЮК:

$$\Phi_{adm} = (2/\pi) \tau l_\delta k_d B_{adm} ;$$

$$\Psi_{adm} = \omega_1 k_{oi} \Phi_{adm} ;$$

$$E_{ad} = 4,44 \omega_1 k_{r1} f \Phi_{adm} .$$

Якор тоқининг кўндаланг ташкил этувчисига мос келувчи ўзаро индукция магнит оқими, оқим илашимлиги ва ЭЮК:

$$\Phi_{aqm} = (2/\pi) \tau l_\delta k_q B_{aqm} ;$$

$$\Psi_{aqm} = \omega_1 k_{oi} \Phi_{aqm} ;$$

$$E_{aq} = 4,44 \omega_1 k_{r1} f \Phi_{aqm} .$$

Тўйинмаган ноаён кутбли синхрон машинада кўзғатиш чулғами МЮК якор чулғами МЮК га эквивалент бўлади:

$$F_{afm} = k_a F_{am} ,$$

бу ерда: $k_a = 1/k_r$ - якор реакцияси коэффициентлари.

Тўйинмаган аён кутбли синхрон машинанинг кўзғатиш чулғами МЮК якорнинг бўйлама ва кўндаланг МЮК ларига эквивалент бўлади:

$$F_{adm} = k_{ad} F_{dm}; F_{aqm} = k_{aq} F_{qm},$$

бу ерда: $k_{ad} = k_d / k_f$ - бўйлама ўк бўйича якор реакцияси коэффициенти; $k_{aq} = k_q / k_f$ - кўндаланг ўк бўйича якор реакцияси коэффициенти.

Якор чулғами параметрлари:

Якор чулғами фазасидаги сочилма (тарқок) индуктив қаршилиқ

$$x_\delta = 4\pi\mu_0 f W_1^2 (l_\delta / p q_1) \lambda_{\delta 1},$$

бу ерда: $\lambda_{\delta 1} = \lambda_{n1} + \lambda_{r1} + \lambda_{T1} + \lambda_{d1}$ - сочилма оқим илашимлиги учун ўтказувчанлик коэффициенти.

Ноаён қутбли синхрон машина якор чулғамининг асосий индуктив қаршилиги

$$x_a = 4\mu_0 m_1 f (\omega_1 k_{r1})^2 \lambda_\delta / (\pi r),$$

бу ерда: $\lambda_\delta = \tau l_\delta / (k_\delta \delta)$ - бир қутбга тўғри келувчи ҳаво бўшлиғининг ўтказувчанлик коэффициенти. Бўйлама ва кўндаланг ўқлар бўйича якор чулғамининг асосий индуктив қаршилиқлари

$$x_{ad} = \frac{4\mu_0}{\pi r} m_1 f (\omega_1 k_{r1})^2 \lambda_{ad};$$

$$x_{aq} = \frac{4\mu_0}{\pi r} m_1 f (\omega_1 k_{r1})^2 \lambda_{aq},$$

бу ерда: $\lambda_{ad} = k_d \tau l_\delta / (k_\delta \delta)$ ва $\lambda_{aq} = k_q \tau l_\delta / (k_\delta \delta)$ - бўйлама ва кўндаланг ўқлар бўйича ҳаво бўшлиғининг ўтказувчанлик коэффициентлари.

Ноаён қутбли синхрон машина якор чулғамининг индуктив қаршилиги

$$x_1 = x_\delta + x_a.$$

Аён қутбли синхрон машина якор чулғамининг бўйлама ва кўндаланг ўқлар бўйича индуктив қаршилиқлари

$$x_d = x_\delta + x_{ad}; x_q = x_\delta + x_{aq}.$$

4.3. Синхрон машина қуввати ва фойдали иш коэффициенти (ФИК)

Бирламчи мотордан генераторга берилаётган механик қувват

$$P_1 = M_1 \Omega ,$$

бу ерда: M_1 - мотор айланаётган томонга йўналган айлантирувчи момент ; Ω - бурчак тезлик.

Генератор роторига берилаётган механик қувват

$$P_B = P_1 - P_f / \eta_f = M_{\text{мех}} \Omega ,$$

бу ерда: P_f / η_f - қўзғатгични айлантиришга сарф бўладиган механик қувват; $P_f = R_f I_f^2$ - қўзғатиш чулғамидаги қувват исрофи; R_f - қўзғатиш чулғамининг актив қаршилиги; η_f - қўзғатгичнинг ФИК; $M_B = M_1 - P_f / (\eta_f \Omega)$ - машина роторига таъсир этувчи момент.

Электромагнит қувватга айланувчи механик қувват

$$P_{\text{мех}} = P_B - P_T - P_{\text{м.к}} = M \Omega = P_{\text{эм}} ,$$

бу ерда: P_T - механик исроф, $P_{\text{м.к}}$ - магнит ўтказгичдаги қўшимча исроф; M - электромагнит момент.

Якор чулғамига бериладиган электр қувват

$$P_{\text{эл1}} = P_{\text{эм}} - P_m ,$$

бу ерда: P_m - статор магнит ўтказгичидаги магнит исроф.

Юкламага генератор томонидан берилаётган актив қувват

$$P = m_1 U I \cos \varphi = P_{\text{эл}} - P_{\text{эл1}} ,$$

бу ерда: $P_{\text{эл1}} = m R I^2$ - якор чулғамидаги электр исрофи; якор чулғамининг актив қаршилиги.

Синхрон генераторнинг ФИК

$$\eta = P / P_1 = 1 - \sum P / (P + \sum P) ,$$

бу ерда: $\sum P = P_f / \eta_f + P_T + P_{\text{м.к}} + P_m + P_{\text{эл1}}$ - йигинди исроф.

Электромагнит қувват

$$P_{\text{эм}} = T_1 E_v I' \cos \beta_v' ,$$

бу ерда: E_v - ўзаро индукция ЭЮК;

$I' = \sqrt{(I_M + I \cos \beta_v')^2 + (I \sin \beta_v')^2}$ - қўшимча ток $I_M = P_m / (m_1 E_v)$ ни ҳисобга олгандаги якор токи;

$\cos \beta'_v = (I \cos \beta_v + I_M) / I'$; $\beta_v - E_v$ ва I орасидаги бурчак.

4.4. Синхрон машиналарнинг параллел ишлаши

Ноаён қутбли синхрон машинанинг актив ва реактив қуввати

$$P = \frac{m_1 U E_f \sin \theta}{x_1};$$

$$Q = \frac{m_1 U E_f \cos \theta}{x_1}.$$

Аён қутбли синхрон машинанинг актив ва реактив қуввати

$$P = \frac{m_1 U E_f \sin \theta}{x_d} + \frac{m_1 U^2}{2} \left(\frac{1}{x_q} - \frac{1}{x_d} \right) \sin 2\theta,$$

$$Q = \frac{m_1 U E_f \cos \theta}{x_d} - \frac{m_1 (U \cos \theta)^2}{x_d} - \frac{m_1 (U \sin \theta)^2}{x_q}.$$

Ноаён ва аён қутбли синхрон машинанинг максимал қуввати

$$P_m = m_1 E_f U / x_1;$$

$$P_m = P' \sin \theta_m + P'' \sin 2\theta_m = P' \sin \theta_m \left(1 + \frac{2}{n} \cos \theta_m \right),$$

бу ерда: $\theta_m = \pm \arccos(\sqrt{n^2 + 32} - n) / 8$;

$$n = P' / P'' = 2E_f x_q / [U(x_d - x_q)]$$

$$P' = \frac{m_1 U E_f}{x_d}; P'' = (m_1 U^2 / 2)(1/x_q - 1/x_d).$$

Ноаён қутбли синхрон генераторнинг статик юкланиш қобилияти

$$k_{ю} = P_{тн} / P_n = E_{фн}^* / (x_d^* \cos \varphi_n).$$

Аён қутбли синхрон машинанинг солиштирма синхронловчи моменти

$$m_c = \frac{\partial M}{\partial \theta} = \frac{m_1 U E_f}{\Omega x_d} \cos \theta + m_1 U^2 \left(\frac{1}{x_q} - \frac{1}{x_d} \right) \cos 2\theta.$$

Аён қутбли синхрон машинанинг максимал моментининг карралиги (статик юкланиш қобиляти)

$$M_{\text{тн}} / M_{\text{н}} = E_{\text{н}}^* / (x_{\text{д}}^* \cos \varphi_{\text{н}}).$$

4.5. Намунавий масалалар ечиш

4.5.1. Икки қутбли ноаён қутбли синхрон машинанинг ички диаметри $D_i = 1$ м. Ҳаво бўшлиғида майдоннинг тарқалишини синусоида шаклида бўлишини таъминлаш учун, ротор қутб бўлинмасининг чулғам ўралган қисмини узунлигини аниқланг.

Ечиш. Қутб бўлинмаси

$$\tau = \frac{\pi D_i}{2\rho} = \frac{\pi * 1}{2} = 1,57 \text{ м.}$$

Қутб бўлинмасининг чулғам ўралган қисми узунлиги

$$v = \rho\tau = 3,67 * 1,57 = 1,052 \text{ м,}$$

бу ерда: $\rho = 0,6 \div 0,75$ ўзгаради.

4.5.2. Ноаён қутбли синхрон машинанинг қутби ўқидаги индукция $B_{\delta} = 0,85$ Тл.

$v = 110$ см, $D_i = 98$ см, $2\rho = 2$ бўлса, ҳаво бўшлиғидаги ўргача индукция топилсин.

Ечиш. Қутб бўлинмаси

$$\tau = \frac{\pi D_i}{2\rho} = \frac{\pi * 98}{2} = 153,86 \text{ см}$$

Қутбнинг чулғам ўралган қисмининг нисбий узунлиги

$$\rho = v / \tau = 110 / 153,86 = 0,7149$$

Қутб беркилиш ҳисобий коэффициенти

$$\alpha_{\delta} = 1 - 0,5\rho = 1 - 0,5 * 0,7149 = 0,643$$

Ўргача индукция

$$B_{\text{ўр}} = B_{\delta} \alpha_{\delta} = 0,85 * 0,643 = 0,546 \text{ Тл.}$$

4.5.3. Синхрон машина кўзғатиш чулғами майдони шаклининг коэффициенти $k_r = 1,05$, қутб ўқидаги индукциянинг радиал ташкил этувчиси $B_{\delta} = 0,75$ Тл бўлса, ҳаво бўшлиғидаги кўзғатиш майдони индукцияси $B_{\delta_{\text{тн}}}$ аниқлансин.

Ечиш. Кўзғатиш майдони индукцияси

$$B_{\delta 1m} = k_f B_\delta = 1,05 * 0,75 = 0,79 \text{ Тл.}$$

4.5.4. Аён кутбли синхрон машина кутб бўлинмаси $\tau = 17,7\text{см}$, ҳисобий узунлиги $l_\delta = 11,5\text{см}$, ҳаво бўшлиғидаги индукциянинг асосий гармоникаси амплитудаси $B_{\delta 1m} = 0,68 \text{ Тл}$ бўлса, кўзгатиш майдони оқимининг асосий гармоникаси аниқлансин.

Ечиш. Кўзгатиш майдони оқимининг асосий гармоникаси

$$\Phi_{f1m} = (2/\pi)\tau l_\delta B_{\delta 1m} = (2/\pi) * 17,7 * 11,5 * 0,68 = 0,88 * 10^{-2} \text{ Вб.}$$

4.5.5. Аён кутбли синхрон машина кутб бўлинмаси $\tau = 23\text{см}$, ҳисобий узунлиги $l_\delta = 12\text{см}$, кўзгатиш майдони шаклининг коэффициенти $k_f = 1,07$, кутб ўқидаги индукциянинг радиал ташкил этувчиси $B_\delta = 0,72 \text{ Тл}$ бўлса, кўзгатиш майдони оқимининг асосий гармоникаси топилсин.

Ечиш. Ҳаво бўшлиғидаги индукциянинг асосий гармоникаси амплитудаси

$$B_{\delta 1m} = k_f B_\delta = 1,07 * 0,72 = 0,77 \text{ Тл}$$

Кўзгатиш майдони оқимининг асосий гармоникаси

$$\Phi_{f1m} = (2/\pi)\tau l_\delta B_{\delta 1m} = (2/\pi) * 23 * 12 * 0,77 = 1,35 * 10^{-2} \text{ Вб.}$$

4.5.6. Аён кутбли синхрон машинанинг ўзаро индукция тўла оқими $\Phi_{m1} = 1,3 * 10^{-2} \text{ Вб}$, кутб бўлинмаси $\tau = 16,5\text{см}$, ҳисобий узунлиги $l_\delta = 14\text{см}$, кутб беркилиш ҳисобий коэффициенти аниқлансин.

Ечиш. Ҳаво бўшлиғидаги ўртача индукция

$$B_{\text{оyp}} = \frac{\Phi_{m1}}{\tau l_\delta} = \frac{1,3 * 10^{-2}}{16,5 * 10^{-2} * 14 * 10^{-2}} = 0,563 \text{ Тл.}$$

Кутб беркилиш ҳисобий коэффициенти

$$\alpha_\delta = B_{\text{оyp}} / B_\delta = 0,563 / 0,68 = 0,83.$$

4.5.7. Икки кутбли турбогенераторнинг ички диаметри $D = 100 \text{ см}$, кутбнинг чулғам ўралган қисмининг узунлиги $b = 110 \text{ см}$, фазадаги ўрамлар сони $\omega_f = 16$, чулғам коэффициенти $k_{r1} = 0,92$ бўлса, $I = 1500 \text{ А}$ учун якорнинг МЮК га эквивалент бўлган кўзгатиш МЮК топилсин.

Ечиш. Кутб бўлинмаси

$$\tau = \frac{\pi D}{2p} = \frac{\pi * 100}{2} = 157 \text{ см.}$$

Кутбнинг чулғам ўралган нисбий узунлиги

$$\rho = \sigma / \tau = 110 / 157 = 0,7.$$

Кўзгатиш майдони шаклининг коэффициентини

$$k_f = 8 \sin(\rho \pi / 2) / (\pi^2 \rho) = 8 \sin(0,7 * \pi / 2) / (\pi^2 * 0,7) = \\ = 8 \sin 0,159 = 1,03$$

Якор реакцияси коэффициентини

$$k_a = 1 / k_f = 1 / 1,03 = 0,97$$

Якор чулғами МЮК нинг асосий гармоникаси амплитудаси

$$F_{am} = (\sqrt{2} / \pi) m_1 (I \omega_1 k_{r1} / p) = (\sqrt{2} / \pi) * 3 * (1500 * 16 * \\ * 0,92 / 1) = 29744,7 \text{ А}$$

Якорнинг МЮК га эквивалент бўлган, кўзгатиш чулғами МЮК

$$F_{afm} = k_a F_{am} = 0,97 * 29744,7 = 28950 \text{ А.}$$

4.5.8. $2p = 4$ кутбли аён кутбли синхрон генераторнинг ички диаметри $D = 340$ мм, ҳисобий узунлиги $l_\delta = 185$ мм, ҳисобий ҳаво бўшлиғи $\delta' = 1,6$ мм, фазадаги ўрамлар сони $\omega_1 = 40$, чулғам коэффициентини $k_{r1} = 0,966$, майдон шакли коэффициентлари $k_d = 0,96$ ва $k_q = 0,5$ бўлса, якорнинг асосий индуктив қаршиликлари топилсин.

Ечиш. Кутб бўлинмаси

$$\tau = \frac{\pi D}{2p} = \frac{\pi * 340}{2 * 2} = 266,9 \text{ мм,}$$

Бўйлама ўқ бўйича ҳаво бўшлиғининг ўтказувчанлик коэффициентини

$$\lambda_{ad} = k_d \tau l_\delta / (k_\delta \delta) = 0,96 * 266,9 * 185 / 1,6 = 29,6.$$

Бўйлама ўқ бўйича якорнинг асосий (бош) индуктив қаршилиги

$$x_{ad} = \frac{4\mu_0}{\pi p} m_1 f(\omega_1 k_{r1})^2 \lambda_{ad} = \frac{4 * 4 * \pi * 10^{-7}}{\pi * 2} * 3 * 50 (40 * 0,966)^2 * \\ * 29,6 = 5,37 \text{ Ом}$$

Кўндаланг ўқ бўйича ҳаво бўшлиғининг ўтказувчанлик коэффициентини

$$\lambda_{\text{ақ}} = k_q \tau l_{\delta} / k_{\delta} \delta = 0,5 * 0,2669 * 0,185 / 1,6 * 10^{-3} = 15,43$$

Кўндаланг ўқ бўйича якорнинг асосий (бош) индуктив қаршилиги

$$x_{\text{ақ}} = \frac{4\mu_0}{\pi r} m_1 f (\omega_1 k_{rl})^2 \lambda_{\text{ақ}} = \frac{4 * 4 * \pi * 10^{-7}}{\pi * 2} * 3 * 50 (40 *$$

$$* 0,966)^2 * 15,43 = 2,79 \text{ Ом.}$$

4.5.9. Синхрон генераторнинг фаза кучланиши $U_{\phi} = 230 \text{ В}$, фаза токи $I_1 = 54 \text{ А}$, қувват коэффициентини $\cos \varphi = 0,8$. Тўла магнит исрофи $P_M + P_{\text{мк}} = 800 \text{ Вт}$, тўла электр исрофи $P_{\Sigma 1} = 1500 \text{ Вт}$, механик $P_{\text{мех}}$ ва P_{Σ} / η_f исрофлар электр исрофининг $\frac{2}{3}$

қисмини ташкил қилса, генераторнинг ФИК топилсин.

Ечиш. Тўла қувват исрофи

$$\sum P = \left(\frac{P_f}{\eta_f} + P_{\text{мех}} \right) = \frac{2}{3} P_{\Sigma 1} = \frac{2}{3} * 1500 = 1000 \text{ Вт.}$$

Генераторнинг актив қуввати

$$P = m_1 U I \cos \varphi = 3 * 230 * 54 * 0,8 = 29808 \text{ Вт}$$

Генераторнинг ФИК

$$\eta = 1 - \sum P / (P + \sum P) = 1 - 3300 / (29808 + 3300) = 0,9.$$

4.5.10. Турбогенераторнинг номинал линия кучланиши $U_{\text{нл}} = 10,5 \text{ кВ}$, якор чулғамининг индуктив қаршилиги $x_1 = 23 \text{ Ом}$ бўлиб электр тизими билан параллел ишламоқда.

Номинал кўзгатиш токида генераторнинг салт ишлаш кучланиши $U_{\text{л}} = 24,2 \text{ кВ}$ бўлса, ЭЮК ва кучланиш орасидаги бурчак $\theta_{\text{н}}$ номинал юклама $P_{\text{н}} = 6 \text{ мВт}$ да топилсин.

Генераторнинг статик юкланиш қобилияти нимага тенг?

Ечиш. Максимал қувват

$$P_{\text{нл}} = E_f U / x_1 = \frac{24200 * 10500}{23} = 11,05 \text{ мВт}$$

$$\sin \theta_{\text{н}} = \frac{P_{\text{н}} x_1}{U E_f} = \frac{6 * 23}{10,5 * 24,2} = 0,54$$

бундан $\theta_H = 32,7^\circ$.

Генераторнинг статик юкланиш кобилияти

$$k_n = P_{\text{тн}} / P_n = 11,05 / 6 = 1,84$$

4.6. Мустақил ечиш учун масалалар

4.6.1. Тўрт кутбли синхрон машинанинг куйидаги параметрлари берилган: фазадаги ўрамлар сони $\omega = 105$, қисқартиш коэффиценти $k_x = 0,951$, тарқалиш коэффиценти $k_{\text{Т1}} = 0,954$, якор чулғами токи $I = 18$ А. Уч фазали якор чулғами МЮК нинг асосий гармоникаси амплитудаси аниқлансин.

4.6.2. Икки кутбли турбогенераторнинг қуввати $S_H = 31250$ кВА. фаза кучланиши $U_{\text{н.ф}} = 6060$ В бўлиб, якор чулғами фазасидаги ўрамлар сони $\omega_1 = 16$, қисқартиш коэффиценти $k_{\text{к1}} = 0,966$, тарқалиш коэффиценти $k_{\text{ТК}} = 0,956$. Якор чулғами МЮК нинг асосий гармоникаси амплитудаси топилсин.

4.6.3. Аён кутбли синхрон машинанинг куйидаги параметрлари берилган: майдони шакли коэффицентлари: бўйлама ўк бўйича $k_d = 0,9$ кўндаланг ўк бўйича $k_q = 0,58$, бўйлама ўк бўйича якор магнит майдони индукцияси $B_{\text{adm}} = 0,51$ Тл, кўндаланг ўк бўйича якор магнит майдони индукцияси $B_{\text{aqm}} = 0,38$ Тл. Якор МЮК нинг бўйлама ва кўндаланг ташкил этувчилари ҳосил қилган индукциянинг асосий гармоникалари топилсин.

4.6.4. Гидрогенератор якор чулғамидаги магнит оқимининг бўйлама ва кўндаланг ўқлар бўйича ташкил этувчилари $\Phi_{\text{adm}} = 0,265$ Вб ва $\Phi_{\text{aqm}} = 0,05$ Вб. Жуфт кутблар сони $2p = 24$, фазадаги ўрамлар сони $\omega_1 = 130$, чулғам коэффиценти $k_{\text{н1}} = 0,94$, генераторнинг айланиш частотаси $n = 125$ айл/мин. Магнит оқим Φ_{adm} ва Φ_{aqm} лар ҳосил қилган ЭЮК лар топилсин.

4.6.5. Номинал юкламада турбогенераторнинг фаза кучланиши $U_{\text{н.ф}} = 230$ В, номинал токи $I_H = 1800$ А, $\cos \varphi_H = 0,8$.

Якор чулғами фазасининг актив қаршилиги $R = 0,00162 \text{ Ом}$, гўла индуктив қаршилиги $x_l = 0,211 \text{ Ом}$ бўлса, қўзғатиш ЭЮК ни топинг.

4.6.6. Турбогенератор қўзғатилган бўлиб, юкламада ток $I = 2150 \text{ А}$, $\cos \varphi = 0,8$, $U_{н.п} = 0,4 \text{ кВ}$. Якор чулғамининг актив ва асосий (бош) индуктив қаршилиги: $R = 0,0015 \text{ Ом}$, $x_a = 0,17 \text{ Ом}$, индуктив сочилма қаршилиги $x_\delta = 0,015 \text{ Ом}$. Қўзғатиш ЭЮК ни аниқланг.

4.6.7. Гидрогенераторнинг тўла қуввати $S_H = 26 \text{ МВ} \cdot \text{А}$, $\cos \varphi_H = 0,8$. Механик исроф $P_{\text{мех}} = 88 \text{ кВт}$, якор чулғамидаги электр исрофи $P_{\text{эл}} = 185 \text{ кВт}$, магнит исрофлар $P_m + P_{\text{мк}} = 138,5 \text{ кВт}$, қўзғатгични ҳаракатга келтиришга сарфланаётган қувват $P_f / \eta_f = 167 \text{ кВт}$. Генераторнинг тўла қуввати ва ФИК топилсин.

4.6.8. Уч фазали синхрон генератордан юклама $P_H = 26 \text{ МВт}$ қувватни олмоқда, генераторнинг электромагнит қуввати $P_{\text{эм}} = 26,2 \text{ МВт}$, статор пўлат ўзагидаги магнит исроф $P_m = 150 \text{ кВт}$, фаза токи $I = 1790 \text{ А}$.

Якор чулғамининг актив қаршилиги топилсин.

4.6.9. Турбогенераторнинг юкламаси камайган вақтдаги номинал қўзғатиш токи $I_f^* = 1,5$. Генератор нормал салт ишлаш тавсифига эга. Кучланишнинг ўзгариши аниқлансин.

4.6.10. Аён қутбли синхрон генератори нормал салт ишлаш тавсифига эга бўлиб, номинал фаза кучланиши $U_{н.ф} = 6060 \text{ В}$, фаза токи $I = 2750 \text{ А}$, якор чулғамининг бўйлама ўқи бўйича индуктив қаршилиги $x_d = 2,5 \text{ Ом}$. Салт ишлаш режимида (номинал кучланиш) МЮК га мос келувчи қисқа тугашув токи ва қисқа тугашув нисбати (КТН) аниқлансин.

Жавоблар

4.6.1. $F_{\text{ам}} = 1155 \text{ А}$

4.6.2. $F_{\text{ам}} = 3428 \text{ А}$

4.6.3. $B_{\text{ад1м}} = 0,459 \text{ Тл}; B_{\text{ақ1м}} = 0,227 \text{ Тл}$

- 4.6.4. $E_{ad} = 7189\text{В}; E_{aq} = 1356,4\text{В}$
4.6.5. $E_f = 550,5\text{В}$
4.6.6. $E_r = 622,3\text{В}$
4.6.7. $\sum P = 578,5\text{кВт}; \eta = 0,973$
4.6.8. $R = 0,0052\text{Ом}$
4.6.9. $\Delta U = 0,2$
4.6.10. $\text{ОКЗ} = 0,934; I_{к.0} = 2569\text{А}$

ФЙДАЛАНИЛГАН АДАБИЁТЛАР

1. Читечян В.И. Электрические машины: Сборник задач. – М.: Высшая школа, 1988. – 231 с.
2. Данку А., Фаркаш А., Надь Л. Электрические машины: Сборник задач и упражнений. – М.: Энергоатомиздат, 1984. – 360 с.
3. Каримов А.С., Мирхайдаров М.М., Блейхман С.Г., Попов В.А. Электротехника масалалар тўплами ва лаборатория ишлари. – Т.: Ўқитувчи, 1989. – 248 б.

МУНДАРИЖА

	Кириш	3
1 – боб.	Ўзгармас ток машиналари	
1.1.	ЭЮК, кучланиш ва момент тенгламаси	4
1.2.	Ўзгармас ток машиналарида қувват исрофлари ва ФИК	4
1.3.	Намунавий масалалар ечиш... .. .	5
1.4.	Мустақил ечиш учун масалалар	12
	Жавоблар	14
2– боб.	Трансформаторлар	
2.1.	Трансформаторни эксплуатациялаш режимлари ...	15
2.2.	Трансформатор кучланишларининг мувозанат тенгламаси	16
2.3.	Трансформаторнинг ФИК ва қувват исрофлари	16
2.4.	Трансформаторнинг иккиламчи чулғамидаги кучланишни ўзгартириш	17
2.5.	Намунавий масалалар ечиш	18
2.6.	Мустақил ечиш учун масалалар	35
	Жавоблар	39
3 – боб.	Асинхрон машиналар	
3.1.	Асинхрон машинанинг тенгламалари ва параметр- ларини келтириш	40
3.2.	Асинхрон машинадаги қувват ва исрофлар	41
3.3.	Асинхрон машина моменти	43
3.4.	Намунавий масалалар ечиш	44
3.5.	Мустақил ечиш учун масалалар	59
	Жавоблар	61
4– боб.	Синхрон машиналар	
4.1.	Салт ишлаш режимида синхрон машинада бўла- диган электромагнит жараёнлар	61
4.2.	Якор чулғамининг МЮК, магнит майдони, ЭЮК ва параметрлари	63
4.3.	Синхрон машина қуввати ва ФИК	66
4.4.	Синхрон машиналарнинг параллел ишлаши	67
4.5.	Намунавий масалалар ечиш	68
4.6.	Мустақил ечиш учун масалалар	72
	Жавоблар	74
	Фойдаланилган адабиётлар	74

Мухаррир М. Ҳасанова

Босишга рухсат этилди 10.05.2004 й. Бичими 60x84 1/16.
Шартли босма табағи 5. Нусхаси 50 дона. Буюртма № 246.
ТДТУ босмахонасида чоп этилди. Тошкент ш, Талабалар кўчаси 54.