

М. М. КАЦМАН

ЭЛЕКТР МАШИНАЛАРЫ БОЙЫНША ТАПСЫРМАЛАР ЖИНАҒЫ

*«Білім беруді дамыту
федералдық институты» федералдық
мемлекеттік дербес мекемесімен орта кәсіптік
білім беру бағдарламасын жүзеге асыратын
білім беру мекемелерінде оқыту барысында оқу
құралы ретінде қолдануға ұсынылған.*

*Пікірдің тіркеу нөмірі 754
26 желтоқсан 2012 ж.*

8-басылым, стереотиптік



Мәскеу
«Академия» баспа орталығы
2014

Бұл кітап Қазақстан Республикасының Білім және ғылым министрлігі және «Кәсіпқор» холдингі» КЕАҚ арасында жасалған шартқа сәйкес «ТЖКБ жүйесі үшін шетел әдебиетін сатып алуды және аударуды ұйымдастыру жөніндегі қызметтер» мемлекеттік тапсырмасын орындау аясында қазақ тіліне аударылды.

Аталған кітаптың орыс тіліндегі нұсқасы Ресей Федерациясының білім беру үдерісіне қойылатын талаптардың ескерілуімен жасалды.

Қазақстан Республикасының техникалық және кәсіптік білім беру жүйесіндегі білім беру ұйымдарының осы жағдайды ескеруі және оқу үдерісінде мазмұнды бөлімді (технология, материалдар және қажетті ақпарат) қолдануы қажет.

Аударманы «Delta Consulting Group» ЖШС жүзеге асырды, заңды мекенжайы: Астана қ., Иманов көш., 19, «Алма-Ата» БО, 809С, телефоны: 8 (7172) 78 79 29, эл. поштасы: info@dgcg.kz

Пікір берушілер:

Ю.М.Келим, техн. ғыл. канд., Мәскеу байланыс және информатика техникалық университетінің «Автоматтандыру және ақпараттандыру» кафедра доценті;

И. С. Туревский, салалық автомобильдік колледж оқытушысы.

Кацман М. М.

К30 Электр машиналары бойынша тапсырмалар жинағы: орта кәсіптік білім беру мекемелеріне арналған оқу құралы / М. М. Кацман. – 8-басылым, стер. – М.: «Академия» баспа орталығы, 2014. – 160 б.

ISBN 978-601-333-397-7 (каз)

ISBN 978-5-4468-1279-0 (рус)

Жинақта «Электр машиналары» пәнінің барлық тақырыптары бойынша есептер мен оларды шешу үлгілері көрсетілген. Есептер бес-он нұсқада берілген, бұл оларды бақылау жұмыстары мен үй жұмысын орындау кезінде қолдануды жеңілдетеді. Әрбір есепте нұсқалардың біреуінің толық шешуі көрсетіледі. Кітапта студенттердің өзіндік жұмысына қажетті анықтамалық материал бар.

Оқу құралы «Электр және электрмеханикалық жабдықтарды техникалық пайдалану мен қызмет көрсету» мамандығы бойынша ПМ.01 «Электр және электрмеханикалық жабдықтарды жөндеу мен техникалық қызмет көрсетуді ұйымдастыру (МДК.01.01)» кәсіптік модульді меңгеру кезінде қолданыла алады.

Орта кәсіптік білім беру мекемелерінің студенттеріне арналған.

ӘОЖ 621.313

КБЖ 31.26

ISBN 978-601-333-397-7 (каз)

ISBN 978-5-4468-1279-0 (рус)

© Светова Т.И. Кацман М.М. мұрагері, 2012

© «Академия» оқу-баспа орталығы, 2012

© Көркем безендірілуі. «Академия» баспа орталығы, 2012

АЛҒЫ СӨЗ

Кітап «Электр машиналары» пәнін оқытатын мамандықтар бойынша орта кәсіптік білім беру мекемелерінің студенттеріне арналған оқу құралы болып табылады.

Кітаптың негізгі міндеті – студенттерге электр машиналары мен трансформаторлардың өлшемдері мен жұмыс режимдері бойынша есептерді шешу кезінде теориялық білімдерін іс жүзінде қолдануға көмектесу. Кітапта «Электр машиналары» пәнінің бүкіл курсы бойынша қолданыстағы оқу бағдарламаларына сәйкес типтік есептер жүйеленген. Есептер нағыз электр машиналары мен трансформаторлардың қазіргі топтамалары негізінде құрастырылған, бұл оларға белгілі бір практикалық бағыт береді.

Кітаптың әрбір бөлімінің басында пәннің сәйкес тарауының негізгі түсініктері, есептеу формулалары мен теңдеулері көрсетілген.

Әрбір есеп бірнеше (әдетте он) нұсқада құралған. Сонымен бірге, нұсқалардың біреуі бойынша ұсыныстар мен өлшемдерді таңдау, соның ішінде қажетті сызба, кестелерді, векторлық диаграммаларды, графиктерді орындау бойынша нұсқаулықтар бар толық шешімі көрсетіледі.

Оқу құралын пайдалану барысында оқулық есептерді дұрыс шешуге арналған әдебиеттерді алмастырмайтынын және «Электр машиналары» [2] негізгі оқулығы бойынша жүйелі түрде оқу қажет екенін есте сақтау керек. Әрбір бөлімдегі есептер қиындығы бойынша өсу ретімен орналасқан. Кітап – пәннің оқу материалын өз бетімен меңгеремін деушілерге таптырмайтын зат.

Студенттер оқу құралын бақылау жұмысын, сондай-ақ үй жұмысын орындау кезінде де қолдана алады.

Автор кітапты рецензиялау кезінде берген пайдалы кеңестері үшін техн. ғылымдарының кандидаты Ю. М. Келим мен И. С. Туревскийге алғысын білдіреді.

КІТАПТА ҚОЛДАНЫЛАТЫН НЕГІЗГІ ӨРІПТІК БЕЛГІЛЕР

- A – тұрақты ток машинасының желілік жүктемесі
 a – тұрақты ток машинасының зәкірінің орамасындағы параллель тармақ жұптарының саны; айнымалы ток машинасының орамасындағы параллель тармақтар саны
 $2a$ – тұрақты ток машинасының зәкірінің орамасындағы параллель тармақтар саны
 $B; B_\delta$ – магниттік индукция; ауалық саңылаудағы магниттік индукция
 C – электр сыйымдылығы
 $D; D_1; D_2$ – диаметр; статор мен ротордың диаметрлері
 E – электр қозғаушы күш (ЭҚК)
 E_a – тұрақты ток машинасы зәкірінің ЭҚК
 $E_1; E_2$ – трансформатордың бірінші және екінші реттік орамаларының ЭҚК; айнымалы ток машинасының статоры мен роторы орамаларының ЭҚК фазалары
 E_0 – синхронды машинаның негізгі ЭҚК
 $E_{\sigma 1}; E_{\sigma 2}$ – бірінші және екінші реттік орамалардың шашырауының ЭҚК
 E_{2s} – сырғудың ЭҚК
 E_{20} – асинхронды қозғалтқыштың жылжымайтын роторының түйіспелі сақинасында өлшенген ЭҚК
 F – магнит қозғаушы күш (МҚК), магниттік кернеу
 $F_\delta; F_z; F_c$ – электр машинасының ауалық саңылауындағы, тістер қабатындағы, арқашасындағы магниттік кернеу
 f_1 – трансформатор орамдарындағы айнымалы тоқтың жиілігі
 $f_1; f_2$ – сәйкесінше статор мен ротор орамдарындағы айнымалы тоқтың жиілігі
 f_s – асинхронды қозғалтқыштың сырғу жиілігі
 H – магнит өрісінің кернеуі
 $I; I_{max}; i$ – электр тоғы: қазіргі, максималды және лездік мәндері
 $I_1; I_2$ – трансформатордың бірінші және екінші реттік орамдарындағы ток; айнымалы ток машинасының статоры мен роторының орамдарының фазаларындағы ток
 I_Π – асинхронды қозғалтқышты іске қосу тоғы
 $I_0; I_k$ – бос жүріс пен қысқа тұйықталу кезіндегі ток
 I_* – тоқтың салыстырмалы мәні
 K – тұрақты ток машинасының коллекторындағы коллекторлық пластиналар саны
 k – трансформатордың трансформация коэффициенті
 k_A – автотрансформатордың трансформация коэффициенті
 $k_{o\delta}$ – орамдық коэффициент

k_{σ} – айнымалы ток машинасының орамасын бөлу коэффициенті
 k_k – айнымалы ток машинасының орамасын қысқарту коэффициенті
 $k_{ок}$ – ойықтардың қиғаштығының коэффициенті
 k_k – күшею коэффициенті
 k_m – магнит өткізгіштің магниттік қанығу коэффициенті
 L – индуктивтілік коэффициенті
 $l_1; l_2$ – статор мен ротор біліктерінің ұзындығы
 M – электр машинасының электрмагниттік иінкүші
 M_0 – бос жүріс кезіндегі иінкүш
 M_2 – қозғалтқыш білігіндегі иінкүш
 $M_{вер}, M_p$ – айқын полюсті синхронды машинаның электрмагниттік иінкүшінің негізгі және реактивті құраушылары
 $m_1; m_2$ – статор мен ротор орамаларындағы фаза саны
 N – электр машинасының орамасындағы ойықты жақтар саны
 n – айналу жиілігі
 n_1 – айнымалы ток машинасының роторының синхронды айналу жиілігі
 n_2 – асинхронды қозғалтқыш роторының айналу жиілігі
 n_0 – бос жүріс режиміндегі айналу жиілігі
 n_{00} – мінсіз бос жүріс режиміндегі айналу жиілігі
 P – активті қуат
 $P_1; P_2$ – электр құрылғысының кірісі мен шығысындағы активті қуат
 $P_0; P_k$ – электр құрылғыларының бос жүріс пен қысқа тұйықталу кезіндегі қуаттары
 $P_m; P_{мех}; P_{э}; P_{кос}$ – магниттік, механикалық, электр және қосымша жоғалыс қуаты
 p – электр машинасындағы полюс жұптарының саны
 $2p$ – электр машинасындағы полюс саны
 Q – реактивті қуат
 $Q_{с.ө}$ – синхронды өтемдеуіш қуаты
 $q_1; q_2$ – айнымалы ток электр машинасының статоры мен роторының полюсы мен фазасындағы ойықтар саны
 R – активті электрлік кедергі
 $R_{ном}$ – қозғалтқыштың номиналды кедергісі
 $R_{кр}$ – іске қосу реостатының кедергісі
 r_1 – трансформатордың бірінші реттік орамасының, айнымалы ток машинасының статорының фазалық орамасының активті кедергісі
 r_2 – трансформатордың екінші реттік орамасының немесе ротордың фазалық орамасының активті кедергісі
 r'_2 – тура сол, бірақ бастапқы тізбек параметрлеріне келтірілген
 r_m – трансформатор мен асинхронды қозғалтқышты алмастырудың электрлік сұлбасын магниттеу тармағының активті кедергісі
 $r_{кос}$ – қосымша резистордың кедергісі
 r_{κ} – қоздыру орамының кедергісі
 r_a – әкiр орамының кедергісі
 $r_{\kappa,n}$ – қосымша полюстердің орамының кедергісі
 r_k – қысқа тұйықталу режиміндегі электр құрылғысының активті кедергісі
 S – толық электр қуаты

S_1 – трансформатордың бастапқы тізбегіндегі немесе статор орамындағы толық қуат
 S_2 – трансформатордың екінші реттік тізбегіндегі толық қуат
 S – асинхронды машинаның сырғуы
 $s_{кр}$ – критикалық сырғу
 T – уақыт тұрақтысы
 T – уақыт
 $U; U_{max}; u$ – электрлік кернеу: қазіргі, максималды және лездік мәндері
 $U_1; U_2$ – трансформатордың бірінші және екінші реттік орамдарының немесе айнымалы ток машинасының статоры мен роторының қысқыштарындағы кернеу
 U'_2 – трансформатордың екінші реттік тізбегіндегі немесе асинхронды қозғалтқыштың роторындағы бастапқы тізбек пен статор параметрлеріне келтірілген кернеу
 U_{κ} – электр машинасын қоздыру орама тізбегіне берілген кернеу
 U_{κ} – іргелес коллекторлық пластиналар арасындағы кернеу
 $U_{\text{ж}}$ – үшфазалық тізбектегі желілік кернеу
 $U_{ном}$ – кернеудің номиналды мәні
 ν – сызықтық жылдамдық
 W – электр құрылғысының орамасындағы (катушкадағы) орамдар саны
 $w_1; w_2$ – трансформатордың бірінші және екінші реттік орамдарындағы немесе айнымалы ток машинасының статоры мен роторының орамасындағы орамдар саны
 w_{κ} – қоздыру орамасындағы орамдар саны
 $w_{кат}$ – асинхронды машинаның статоры немесе роторының орамдарының катушкасындағы орамдар саны
 $w_{\kappa,л}$ – қосымша полюстер орамасындағы орамдар саны
 w_m – тізбектелген қоздыру орамасындағы орамдар саны
 x – реактивті кедергі
 x_1 – трансформатордың бірінші реттік орамасындағы немесе айнымалы ток машинасының статорының орамасындағы индуктивті кедергі
 x_2 – трансформатордың екінші реттік орамасындағы немесе айнымалы ток машинасының роторының орамасындағы индуктивті кедергі
 x'_2 – тура сол, бірақ бастапқы тізбек параметрлеріне келтірілген
 x_m – трансформаторды немесе асинхронды қозғалтқышты алмастыру сұлбасын магниттеу тармағының индуктивті кедергісі
 x_a – айқын емес полюсті синхронды машина әкiрiнiң реакциясының индуктивті кедергісі
 x_c – айқын емес полюсті синхронды машинаның синхронды кедергісі
 $x_{ad}; x_{aq}$ – айқын полюсті синхронды машина әкiрiнiң реакциясының бойлық және көлденең бiлiктер бойынша индуктивті кедергісі
 $x_d; x_q$ – айқын полюсті синхронды машинаның бойлық және көлденең бiлiктер бойынша синхронды индуктивті кедергісі
 x_{κ} – қысқа тұйықталу режиміндегі электр құрылғысының индуктивті кедергісі
 $y_1; y_2; y$ – әкiрдi ораудың бiрiншi, екiншi және қорытқы қадамдары

y_k – коллектор бойынша орамдау қадамы
 y_{yp} – зәкірді ораудың ықтимал қадамы
 z – толық электр кедергісі
 $z_1; z_2$ – трансформатордың бірінші және екінші реттік орамдарының немесе айнымалы тоқ машинасының статоры мен роторы орамдарының толық кедергісі
 z'_2 – бірінші реттік тізбек параметрлеріне келтірілген екінші реттік тізбектің толық кедергісі
 z_k – қысқа тұйықталу режиміндегі электр құрылғысының толық кедергісі
 α – электр кедергісінің температуралық коэффициенті
 β – айнымалы тоқ орамының салыстырмалы қадамы
 β – электр құрылғысының жүктеме коэффициенті
 θ – синхронды машинаның жүктеме бұрышы
 θ_1 – электр құрылғысының орамасының қызу температурасы
 θ_2 – қоршаған орта температурасы
 τ – ораманың полюстік бөлінісі
 δ – электр машинасының статоры мен роторы (зәкірі) арасындағы біржақты ауалық саңылау
 Δ – сымдағы тоқ тығыздығы
 η – электр құрылғысының пайдалы жұмыс коэффициенті
 λ – электр машинасының индукторларының немесе тоқтарының еселігі (қатынасы)
 ρ – өткізгіштің меншікті электр кедергісі
 σ – магниттік сәйілді коэффициенті
 Φ – негізгі магниттік өріс
 Φ_σ – магниттік сәйілді өрісі
 φ – тоқ пен кернеу векторлары арасындағы фаза ығысу бұрышы
 ψ – тоқ пен ЭҚК векторлары арасындағы фаза ығысу бұрышы
 ω – айналудың бұрыштық жылдамдығы
 ΣP – электр құрылғысындағы жалпы шығын

ТРАНСФОРМАТОРЛАР

1.1. НЕГІЗГІ ТҮСІНІКТЕР

Бір фазалы екі орамалы трансформатордың жұмысының барысында оның магнит өткізгішінде айнымалы тоқ өрісі пайда болады (1.1-сурет). Бұл өрістің негізгі бөлігі $\Phi_{\max}$ (максималды мәні) трансформатор орамаларымен тіркесе отырып, оларда айнымалы ЭҚК туғызады және олардың әрекеттегі мәндері мынаған тең:

бірінші реттік ЭҚК

$$E_1 = 4,44\Phi_{\max}f_1w_1;$$

екінші реттік ЭҚК

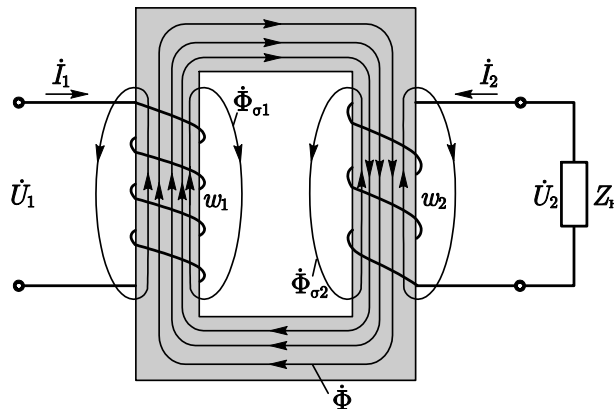
$$E_2 = 4,44\Phi_{\max}f_1w_2,$$

Мұндағы f_1 – айнымалы тоқтың жиілігі, Гц; w_1 және w_2 – трансформатордың бірінші және екінші реттік орамаларындағы орамдар саны.

Негізгі магниттік ағынның максималды мәні, Вб,

$$\Phi_{\max} = B_{\max}Q_{cm}k_c,$$

мұндағы $B_{\max}$ – магнит өткізгіштің білігіндегі магниттік индукцияның максималды мәні, Тл; Q_{cm} – трансформатор білігінің көлденең қима ауданы, м²; k_c – электртехникалық болат пластиналарының арасындағы окшаулау қабатшаларының жуандығын есепке алатын магнит өткізгіштің болатқа толу коэффициенті, әдетте жуандығы 0,5 мм пластиналарға



1.1-сурет. Бір фазалы екі орамалы трансформатор

$k_c = 0,95$ болып алынады.

ЭҚК E_1 және E_2 мәндеріндегі айырмашылық трансформатордың бірінші реттік w_1 және екінші реттік w_2 орамаларындағы әртүрлі орамдар саны үшін пайда болады.

Жоғары кернеулі орам ЭҚК-нің төмен кернеулі орам ЭҚК-не қатынасы олардың орамдар санының қатынасына тең және трансформация коэффициенті деп аталады:

$$k = E_1/E_2 = w_1/w_2.$$

Трансформаторлар келесі параметрлер бойынша сипатталады:

бірінші реттік ораманың толық қуаты, В·А,

$$S_1 = U_1 I_1,$$

мұндағы U_1 — бастапқы кернеу; I_1 — бастапқы ток;

екінші реттік ораманың толық қуаты, В·А,

$$S_2 = U_2 I_2,$$

U_2 — екінші реттік кернеу; I_2 — екінші реттік ток.

Трансформатордағы шығын көп емес болғандықтан, трансформатордың номиналды толық қуаты ретінде алынады:

$$S_{ном} = U_{ном} I_{ном} \approx U_{2ном} I_{2ном}$$

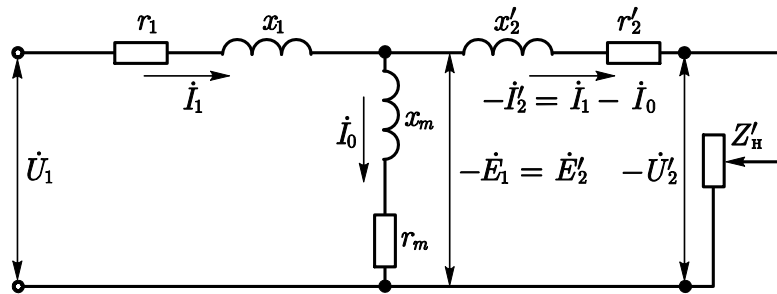
Екінші реттік тізбектің параметрлері бірінші реттік орамдағы орамдар санына w_1 келтірілген трансформатор *келтірілген трансформатор* деп аталады. Мұндай трансформаторға электрлік алмастыру сызбасы (1.2-сурет) және негізгі теңдеулер сәйкес келеді:

$$U_1 = (-E_1) + I_1 Z_1 = (-E_1) + j I_1 x_1 + I_1 r_1;$$

$$U'_2 = E'_2 - I'_2 Z'_2 = E'_2 - j I'_2 x'_2 - I'_2 r'_2;$$

$$I_1 = I_0 + (-I'_2).$$

Бірінші x_1 және екінші x_2 реттік орамалардың индуктивті кедергілері $\Phi_{\sigma 1}$ және $\Phi_{\sigma 2}$ сейілу ағындарынан пайда болады (1.1-суретті қарау).



1.2-сурет. Трансформаторды алмастыру сызбасы

Бос жүріс режимі кезіндегі бірінші реттік орамадағы ток I_0 әдетте осы токтың номиналды мәнімен салыстырғанда аз мөлшерде болады, сондықтан бірінші реттік орамадағы кернеудің азаюы шамалы болғандықтан, оларды ескермей, $U \approx (-E_1)$ деп алуға болады.

Алмастыру сызбасы мен негізгі теңдеулер негізінде трансформатордың векторлық диаграммасы құрастырылады. ЭҚК мен екінші реттік орамадағы ток арасындағы фазалық ауытқу трансформатор жүктемесінің активті және индуктивті кедергілеріне байланысты және келесі өрнекпен анықталады:

$$\psi = \arctg X'_2 / R'_2,$$

мұндағы

$$X'_2 = x'_2 \pm x'_1; R'_2 = r'_2 + r'_H.$$

Формуладағы «қосу» таңбасы жүктеменің индуктивті, ал «азайту» таңбасы сыйымдылық сипаттамасына сәйкес келеді.

Екінші реттік тізбек параметрлерін келтіру формулалары:

екінші реттік орамадағы ток

$$I'_2 = I_2(w_2/w_1);$$

екінші реттік ораманың ЭҚК мен кернеуі:

$$E'_2 = E_2(w_1/w_2); U'_2 \approx U_2(w_1/w_2);$$

екінші реттік орамадағы активті және индуктивті кедергілер:

$$r'_2 = r_2(w_1/w_2)^2; x'_2 = x_2(w_1/w_2)^2;$$

екінші реттік ораманың толық кедергісі

$$z'_2 = z_2(w_1/w_2)^2;$$

жүктеменің толық кедергісі

$$z'_H = z_H(w_1/w_2)^2.$$

Трансформатордың екінші реттік орамының шығысындағы кернеу өзгерісі:

номиналды жүктеме кезінде:

$$\Delta U_{ном} = u_{к.а} \cos \varphi_2 + u_{к.р} \sin \varphi_2$$

мұндағы

$$u_{к.а} = (U_{к.а} / U_{1ном}) 100; u_{к.р} = (U_{к.р} / U_{1ном}) 100; u_{к} = (U_{к} / U_{1ном}) 100;$$

кез келген жүктеме кезінде

$$\Delta U_{ном} = \beta (u_{к.а} \cos \varphi_2 + u_{к.р} \sin \varphi_2),$$

мұндағы $\beta = I_2 / I_{2ном}$ — трансформатор жүктемесінің коэффициенті.

Трансформатордың кез келген жүктеме кезіндегі ПӘК келесі өрнекпен анықталады:

$$\eta = \frac{\beta S_{\text{НОМ}} \cos \varphi_2}{\beta S_{\text{НОМ}} \cos \varphi_2 + P_{0 \text{ НОМ}} + \beta^2 P_{\text{к.НОМ}}}$$

мұндағы $P_{0 \text{ НОМ}}$ – магниттік шығындардың қуатына тең, бірінші реттік номиналды кернеу кезіндегі трансформатордың бос жүріс қуаты, Вт; $P_{\text{к.НОМ}}$ – электрлік шығындардың қуатына тең, трансформатор орамдарындағы номиналды ток кезіндегі қысқа тұйықталу қуаты, Вт.

Магниттік шығындардың қуатын салыстырмалы магниттік шығындар, яғни 1 кг электртехникалық болаттағы магниттік шығындар арқылы анықтауға болады. Айнымалы ток жиілігі 50 Гц және максималды магниттік индукциясы $B_{\text{max}} = 1,5$ Тл-ға тең жалпы қолданысқа арналған трансформаторлардың өзекшелерін дайындауға қолданылатын, жуандығы 0,5 мм, 3411 маркасының суық иемделген текстураланған электртехникалық табақ болаттағы салыстырмалы магниттік шығындар $P_{1,5/50} = 2,45$ Вт/кг тең.

Номиналды жүктеме кезіндегі трансформаторлардың орамаларындағы электрлік шығындарды орамалардағы активті кедергі мен ондағы тоқтың номиналды мәндері белгілі болса анықтауға болады:

$$P_{\Sigma} = P_{\Sigma 1} + P_{\Sigma 2} = m l_1^2 r_1 + m l_2'^2 r_2$$

ПЭК-тің ең үлкен мәні жүктеме коэффициентіне сәйкес келеді:

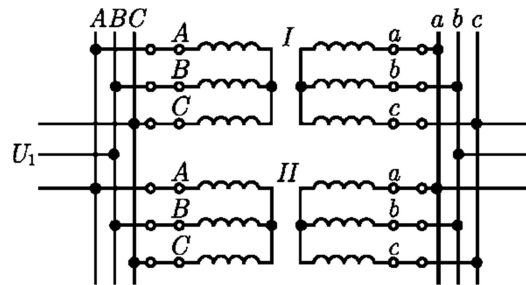
$$\beta' = \sqrt{P_{0 \text{ НОМ}} / P_{\text{к.НОМ}}}$$

әдетте ол 0,45 — 0,65 тең.

Максималды ПЭК-тің мәні:

$$\eta = \frac{\beta' S_{\text{НОМ}} \cos \varphi_2}{\beta' S_{\text{НОМ}} \cos \varphi_2 + 2 P_{0 \text{ НОМ}}}$$

Бірнеше трансформаторды параллель жұмысқа қосқан кезде (1.3-сурет) келесі шарттарды ұстанған жөн:



1.3-сурет. Трансформаторларды параллель қосу сызбасы

трансформаторлардың трансформация коэффициенттері бірдей болу керек;

трансформаторлардың жалғану топтары бірдей болу керек;

трансформаторлардың қысқа тұйықталу кернеулері бірдей болу керек;

трансформаторлардың номиналды қуаттары мәндері бойынша 3 еседен артық өзгешеленбеу керек.

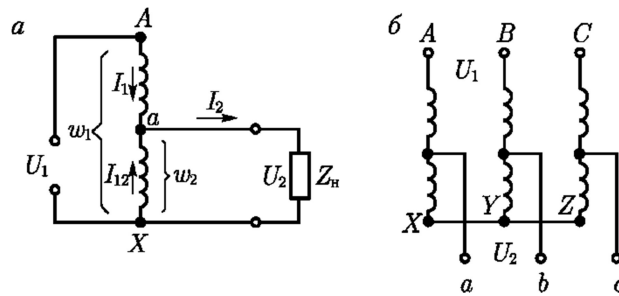
Аталып өткен шарттардың бұзылуы параллель жалғанған трансформаторлардың орам тізбектерінде теңгеруші токтың пайда болуына әкеп соғады. Бұл трансформаторлар арасындағы жүктеме бөлінісіне әсер етеді. Нәтижесінде, бір трансформаторлар түгел жүктелмеген (олардың жүктемесі номиналдыға қарағанда анағұрлым төмен болады), ал басқалары тым көп жүктелген болып қалады. Трансформаторлардың тым көп жүктелуіне жол беруге болмайтындықтан, трансформаторлардың жалпы жүктелуін төмендету керек болады, бұл трансформаторлардың толық емес қолданысын тудырады және олардың экономикалық көрсеткіштерін төмендетеді. Бірақ көрсетілген шарттардан едәуір ауытқу болған жағдайда параллель жұмысты қосуға болмайды, өйткені бұл апат жағдайының пайда болуына әкеледі.

Параллель жұмыстың барлық шарттары нақты сақталған жағдайда параллель жалғанған трансформаторлардың жалпы жүктемесі олардың арасында трансформаторлардың номиналды қуаттарына пропорционалды түрде бөлінеді. Бірақ егер номиналды қуаттары әртүрлі трансформаторлар параллель жалғанса, онда әдетте олардың қысқа тұйықталу кернеулері әртүрлі болады. Қысқа тұйықталу кернеулерінің тең емес болу мүмкіндігін ескере отырып, параллель жалғанған трансформаторлардың кез келгеніне түсетін жүктеме келесі формула бойынша анықталады:

$$S_x = \frac{SS_{\text{хном}}}{u_{kx} \sum S_{\text{хном}}/u_{kx}}$$

мұндағы $\sum S_{\text{хном}}/u_{kx} = (S_{I\text{ном}}/u_{kI}) + (S_{II\text{ном}}/u_{kII}) + \dots$; S_x – параллель қосылған трансформаторлардың біреуінің жүктемесі, кВ·А; S – бүкіл параллель топтың жалпы жүктемесі, кВ·А; u_{kx} – берілген трансформатордың қысқа тұйықталу кернеуі, %; $S_{\text{хном}}$ – берілген трансформатордың номиналды қуаты, кВ·А.

Автотрансформаторда (1.4-сурет) бірінші және екінші реттік тізбектер арасында магниттік байланыстан басқа электрикалық байланыс та бар. Бұл трансформаторда (әрбір фаза үшін) орамдары бірінші реттік тізбекке де, екінші реттік тізбекке де жататын тек бір ораманың болуымен түсіндіріледі. Автотрансформатордың есептік қуаты бірінші реттік тізбектен екіншіге өткізілетін қуаттың тек бір бөлігін ғана құрайды. Бұл қуаттың өзге бөлігі бірінші реттік тізбектен екінші реттік тізбекке



1.4-сурет. Бір фазалы(*а*) және үш фазалы(*б*) автотрансформаторлар

магниттік өрістің қатысуынсыз, автотрансформатордың тізбектерінің арасындағы электрлік байланыс есебінен өтеді:

$$S_{\text{пр}} = U_2 I_2 = U_2 (I_1 + I_{12}) = U_2 I_1 + U_2 I_{12} = S_{\text{э}} + S_{\text{есеп}}$$

мұндағы $S_{\text{э}} = U_2 I_1$ – автотрансформатордың бірінші тізбегінен екінші тізбекке олардың арасындағы электрлік байланыс арқылы өтетін қуат; $S_{\text{есеп}} = U_2 I_{12}$ – автотрансформатордағы есептік қуат.

Осылайша, есептік қуат автотрансформатордың бірінші реттік тізбегінен екіншіге жіберілетін барлық қуаттың тек бір бөлігін ғана құрайды. Бұл автотрансформаторды дайындау үшін тең қуатты трансформаторға қарағанда қимасы кішірек магнит өткізгіш қолдануға мүмкіндік береді. Оған қоса, біліктің қимасының азаюының нәтижесінде ораманың орташа ұзындығы қысқарады, нәтижесінде, автотрансформаторды орауға кететін мыс шығыны азаяды. Сонымен қатар, магниттік және электрлік шығындар азаяды, ал автотрансформатордың ПӘК қуаты тең екі орамалы трансформатормен салыстырғанда артады.

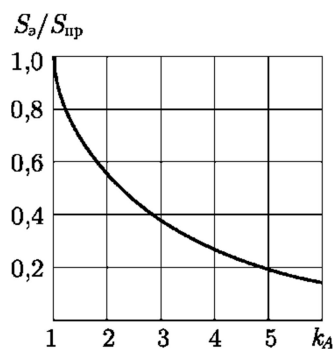
Осылайша, автотрансформаторлардың трансформаторлармен салыстырғанда келесі артықшылықтары бар: белсенді материалдар шығыны азырақ (мыс және электротехникалық болат), жоғарырақ ПӘК, өлшемдері азырақ және, сәйкесінше, құны төменірек.

Автотрансформаторлардың көрсетілген артықшылықтары орамалар арасындағы электрлік байланыс арқылы өткізілетін қуат $S_{\text{э}}$ көп болған сайын және, сәйкесінше автотрансформатордың өткізгіштік қуатының есептік бөлігі $S_{\text{есеп}}$ аз болған сайын артады.

Тізбектер арасындағы бірінші реттік тізбектен екінші реттікке электрлік байланыс арқылы өтетін қуат келесі өрнек бойынша анықталады:

$$S_{\text{э}} = U_2 I_1 = U_2 I_2 / k_A = S_{\text{пр}} / k_A$$

яғни бұл қуаттың мәні автотрансформатордың трансформация коэффициентіне k_A кері пропорционалды.



1.5-сурет. S_2/S_{1pr} мәнінің автотрансформатордың трансформация коэффициентіне тәуелділігі

Автотрансформаторды қолданудың екі орамалы трансформаторға қарағанда айтарлықтай айырмашылықтары трансформация коэффициентінің шамалы мәндерінде ғана $k_A < 2$ бар екендігін графиктен (1.5-сурет) көруге болады. Мысалы, $k_A = 1$ болған кезде, автотрансформатордың барлық қуаты екінші реттік тізбекке тек тізбектер арасындағы электрлік байланыс арқылы жіберіледі ($S_2/S_{1pr} = 1$). Трансформацияның үлкен мәндері кезінде автотрансформатордың кемшіліктері оның аталып өткен артықшылықтарынан басым болады. Олардың арасындағы аса маңыздылары: қысқа тұйықталу кедергі мәнінің аз болуы, бұл төмендететін автотрансформаторларда едәуір қысқа тұйықталу тоқтарының пайда болу себебі болып табылады;

бірінші және екінші реттік тізбектер арасындағы электрлік байланыстың болуы, бұл қызмет көрсетушілер мен төмен кернеу жағындағы аспаптар үшін жоғары кернеу әрекетінен сақтайтын қосымша қауіпсіздік шараларын қолдану қажеттілігін тудырады.

1.2. ЕСЕПТЕР

Трансформация коэффициенті, орамалардағы ЭҚК және ток, бос жүріс пен қысқа тұйықталу параметрлері

1.1-есеп. Бір фазалы екі орамалы трансформатордың номиналды кернеулері: бірінші реттік 6,3 кВ, екінші реттік 0,4 кВ; магнит өткізгіштің білігіндегі магниттік индукцияның максималды мәні 1,5 Тл; берілген біліктің көлденең қимасының ауданы 200 см²; біліктің болатпен толтырылу коэффициенті $k_c = 0,95$. Желідегі айнымалы ток жиілігі $f = 50$ Гц болса, трансформатор орамаларындағы орамдар санын және трансформация коэффициентін анықтау.

Ш е ш у і . Негізгі магниттік ағынның максималды мәні:

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

Екінші реттік орамдар саны

$$w_2 = U_1 / (4,44 f \Phi_{\max}) = 400 / (4,44 \cdot 50 \cdot 0,0286) = 63 \text{ орам.}$$

Трансформация коэффициенті

$$k = U_1 / U_{2\text{ном}} = 6,3 / 0,4 = 15,75.$$

Бірінші реттік орамдар саны:

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

1.2-есеп. 1.1-кестеде көрсетілген ТМ топтамасының үш фазалы майлы трансформатор параметрлерінің мәндерін қолдана отырып (марка белгісінің алымында трансформатордың номиналды қуаты кВ·А өлшемімен, ал бөлімінде жоғарғы кернеуі кВ өлшемімен көрсетілген), әрбір нұсқа үшін кестеде көрсетілмеген параметрлердің мәндерін анықтау. Орамалар Y/Y сызбасы бойынша жалғанған. Желідегі тоқ жиілігі $f = 50$ Гц.

1.1-кесте

Параметр	Трансформатор түрі								
	ТМ-1000/35	ТМ-50/6	ТМ-100/6	ТМ-180/6	ТМ-320/6	ТМ-560/35	ТМГ-750/35	ТМ-1000/6	ТМ-10/6
Негізгі магниттік ағын $\Phi_{\text{тн}}$ Вб									
Орама саны w_1	1600	1190	—	—	522	2000	—	—	—
Орама саны w_2	—	—	72	—	—	—	146	—	—
Магнит өткізгіш білігінің қимасы $Q_{\text{ст}}, \text{м}^2, B_{\text{max}} = 1,5 \text{ Тл}$ болғанда									
Кернеу $U_{1\text{ном}}, \text{кВ}$	35	6	6	6	6	35	35	6	6
Кернеу $U_{2\text{ном}}, \text{кВ}$	—	0,4	0,5	0,5	0,4	—	3,15	0,4	0,4
Трансформация коэффициенті k	5,56	—	—	—	—	5,55	—	—	—

ТМ-1000/35 трансформаторы нұсқасының ш е ш у і .

1. Ораманың шығысындағы кернеу:

$$U_{2\text{ном}} = U_{1\text{ном}}/k = 35/5,56 = 6,3 \text{ кВ.}$$

2. Фазалық орамдар саны:

$$w_2 = w_1/k = 1600/5,56 = 288 \text{ витков.}$$

3. Негізгі магниттік ағынның максималды мәні

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

4. Магнит өткізгіш білігінің көлденең қимасының ауданы

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

1.3-есеп. Номиналды қуаты $S_{ном}$, екінші реттік кернеуі $U_{2ном}$ болғанда, екінші реттік тізбектегі номиналды тоғы $I_{2ном}$ бірфазалы екі орамалы трансформатордың трансформация коэффициенті k ; орамдар саны w_1 және w_2 . Біліктегі магниттік индукцияның максималды мәні B_{max} , ал осы біліктің көлденең қимасының ауданы $Q_{ст}$; бір ораманың ЭҚК $E_{втік}$, желідегі айнымалы тоқ жиілігі $f = 50$ Гц. Аталып өткен параметрлердің мәндері 1.2-кестеде көрсетілген. Әрбір нұсқа үшін кестеде көрсетілмеген параметр мәндерін анықтау керек.

1.2-кесте

Параметр	Нұсқалар				
	1	2	3	4	5
$S_{ном}, \text{кВ} \cdot \text{А}$	—	120	—	240	600
$U_{2ном}, \text{В}$	400	630	—	880	660
w_1	—	1800	—	—	—
w_2	—	—	169	128	140
k	15	—	12	23,4	9,55
$E_{втік}, \text{В}$	5	—	6	—	—
$Q_{ст}, \text{м}^2$	—	0,018	—	0,022	—
$B_{max}, \text{Тл}$	1,5	1,4	1,5	—	1,55
$I_{2ном}, \text{А}$	172	—	140	—	—

1 - н ұ с қ а н ы ң ш е ш у і .

1. Негізгі магниттік ағынның максималды мәні

$$\Phi_{max} = E_{втік} / (4,44 f w) = 5 / (4,44 \cdot 50 \cdot 1) = 0,0225 \text{ Вб}.$$

2. Магнит өткізгіштің көлденең қимасының ауданы

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

3. Екінші реттік орамдар саны

$$w_2 = U_{2ном} / (4,44 f \Phi_{max}) = 400 / (4,44 \cdot 50 \cdot 0,0225) = 80 \text{ орам}.$$

4. Бірінші реттік орамдар саны

$$w_1 = w_2 k = 80 \cdot 15 = 1200 \text{ витков}.$$

5. Трансформатордың толық номиналды қуаты

$$S_{ном} = U_{2ном} I_{2ном} = 400 \cdot 172 = 68,8 \text{ кВ} \cdot \text{А}.$$

1.4-есеп. Бір фазалы трансформатор тоқ жиілігі 50 Гц желіге қосылған. Номиналды екінші реттік кернеу $U_{2ном}$, ал трансформация коэффициенті k (1.3-кесте). Омардар санын w_1 және w_2 анықтау, егер магнит өткізгіш білдігінің қимасы $Q_{ст}$ трансформатордың магниттік индукциясының максималды мәніне B_{max} тең болса. Біліктің болатпен толтырылу коэффициенті $k_c = 0,95$.

1.3-кесте

Параметр	Нұсқалар									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$U_{2ном}, В$	230	400	680	230	230	400	400	680	230	230
k	15	10	12	8	10	6	8	12	14	8
$Q_{ст}, м^2$	0,049	0,08	0,12	0,18	0,065	0,08	0,12	0,076	0,06	0,085
$B_{max}, Тл$	1,3	1,6	1,8	1,3	1,4	1,5	1,2	1,3	1,5	1,2

1 - нұсқаның шешуі.

1. Негізгі магниттік ағынның максималды мәні

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

2. Трансформатордың екінші реттік орамдар саны

$$W_2 = U_{2ном} / (4,44 f \Phi_{max}) = 230 / (4,44 \cdot 50 \cdot 0,06) = 17 \text{ орам.}$$

3. Бірінші реттік орамдар саны

$$w_1 = w_2 k = 17 \cdot 15 = 255 \text{ орам.}$$

1.5-есеп. 1.4-кестеде үш фазалы трансформаторлардың кейбір параметрлерінің мәндері келтірілген: номиналды қуат $S_{ном}$; номиналды бірінші реттік $U_{1ном}$ және екінші реттік $U_{2ном}$ кернеулер; бірінші жақтың номиналды тоғы $I_{1ном}$; қысқа тұйықталу кернеуі u_k және оның активті $u_{ка}$ және реактивті $u_{кр}$ құрамдас бөліктері; бос жүріс тоғы i_0 ; бос жүріс қуаты P_0 және қысқа тұйықталу қуаты P_k ; бос жүріс $\cos \varphi_0$ пен қысқа тұйықталу $\cos \varphi_k$ қуаттарының коэффициенттері; қысқа тұйықталу кернеуі Z_k және оның активті r_k және реактивті x_k құрамдас бөліктері; трансформаторды жүктеу қуатының коэффициенті $\cos \varphi_2 = 0,8$ болғанда жүктемені түсіру кезіндегі номиналды кернеу өзгерісі $\Delta U_{ном}$ (жүктеме сипаты – индуктивті). Трансформаторлар орамаларының жалғануы Y/Y . Трансформатордың кестеде көрсетілмеген параметр мәндерін анықтау қажет.

ТМ-25/10 трансформаторы нұсқасының шешуі.

1. Бірінші реттік орамадағы номиналды ток

$$I_{1ном} = S_{ном} / (\sqrt{3} U_{1ном}) = 25 / (1,73 \cdot 10) = 1,44 \text{ А}$$

Параметр	Трансформатор түрі					
	ТМ-25/10	ТМ-40/6	ТМ-63/10	ТМ-100/6	ТМ-160/10	ТМ-250/6
$S_{ном}, \text{кВ} \cdot \text{А}$	25	—	63	—	—	250
$U_{ном}, \text{кВ}$	10	6	10	6	10	—
$u_K, \%$	4,5	—	4,5	—	4,5	—
$i_0, \%$	3,2	—	4,5	2,6	2,4	—
$P_\theta, \text{кВт}$	0,13	0,175	—	—	0,51	—
$P_K, \text{кВт}$	0,6	0,88	—	—	2,65	—
$I_{I_{ном}}, \text{А}$	—	3,87	—	9,6	9,2	24
$I_o, \text{А}$	—	0,115	0,16	—	—	—
$U_K, \text{кВ}$	—	0,28	0,45	—	—	—
$Z_K, \text{Ом}$	—	—	—	—	—	—
$\cos\varphi_K$	—	—	—	0,30	—	—
$\sin\varphi_K$	—	—	—	—	—	—
$\cos\varphi_0$	—	—	—	—	—	0,13
$u_{k,a}, \%$	—	—	—	1,95	—	—
$u_{k,p}, \%$	—	—	—	6,2	—	—
$r_K, \text{Ом}$	—	—	—	—	—	0,0036
$x_K, \text{Ом}$	—	—	—	—	—	0,01
$\Delta U_{ном}, \%$	—	—	—	—	—	—

2. Бос жүріс тоғы

$$I_o = (i_0/100)I_{ном} = (3,2/100)1,44 = 0,046 \text{ А.}$$

3. Бос жүріс қуатының коэффициенті

$$\cos\varphi_o = p_\theta / (\sqrt{3}I_o U_{I_{ном}}) = 0,13 / (1,73 \cdot 0,046 \cdot 10) = 0,16.$$

4. Қысқа тұйықталу кернеуі

$$U_K = (n_K/100) U_{I_{ном}} / \sqrt{3} = (4,5/100) 10 / 1,73 = 0,26 \text{ кВ.}$$

5. Қысқа тұйықталу қуатының коэффициенті

$$\cos\varphi_K = P_K / (3I_{\text{ном}}U_K) = 0,6 / (3 \cdot 1,44 \cdot 0,26) = 0,53; \sin\varphi_K = 0,85.$$

6. Қысқа тұйықталу кернеуінің активті және реактивті құрамдас бөліктері

$$u_{\text{ка}} = u_K \cos\varphi_K = 4,5 \cdot 0,53 = 2,38 \%;$$

$$u_{\text{к·р}} = u_K \sin\varphi_K = 4,5 \cdot 0,85 = 3,8 \%.$$

7. Қысқа тұйықталу кедергісі

$$Z_K = U_K / I_{\text{ном}} = 0,26 \cdot 10^3 / 1,44 = 180 \text{ Ом}.$$

8. Қысқа тұйықталу кедергісінің активті және реактивті құрамдас бөліктері

$$r_K = Z_K \cos\varphi_K = 180 \cdot 0,53 = 95,4 \text{ Ом};$$

$$x_K = Z_K \sin\varphi_K = 180 \cdot 0,85 = 153 \text{ Ом}.$$

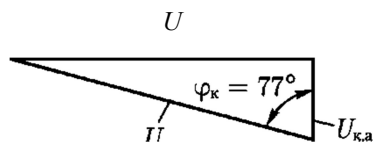
9. Жүктемені түсіру кезіндегі трансформатордағы номиналды кернеу өзгерісі

$$\Delta U_{\text{ном}} = u_{\text{ка}} \cos\varphi_2 + u_{\text{к·р}} \sin\varphi_2 = 2,38 \cdot 0,8 + 3,8 \cdot 0,6 = 4,18 \%.$$

1.6-есеп. 1.5-кестеде ТМ топтамасының үш фазалы трансформаторларының техникалық мәндері келтірілген: номиналды қуат $S_{\text{ном}}$, номиналды бірінші реттік $U_{1\text{ном}}$ және екінші реттік $U_{2\text{ном}}$ кернеулер, қысқа тұйықталу кернеуі u_K , қысқа тұйықталу қуаты P_K , бос жүріс қуаты P_0 , бос жүріс тоғы i_0 . Қажетті параметрлерді анықтап, қысқа тұйықталу үшбұрышын құрастыру (орамалар Y/Y жалғанған; параметрлер жұмыс температурасына келтірілген).

1.5-кесте

Трансформатор түрі	$S_{\text{ном}}$, кВ · А	$U_{1\text{ном}}$, кВ	$U_{2\text{ном}}$, кВ	u_K , %	$P_{K\text{ном}}$, кВт	$P_{0\text{ном}}$, кВт	i_0 , %
ТМ-1000/10	1000	10	0,4	5,5	12,2	2,45	1,4
ТМ-1600/10	1600	10	0,4	5,5	18,0	3,3	1,3
ТМ-2500/10	2500	10	0,4	5,5	25,0	4,6	1,0
ТМ-4000/10	4000	10	0,4	5,5	33,5	6,4	0,9
ТМ-6300/10	6300	10	0,4	5,5	46,0	9,0	0,8
ТМ-630/10	630	10	0,4	5,5	7,6	1,56	2,0



1.6-сурет. Қысқа тұйықталу кернеуінің үшбұрышы

ТМ-630/10 трансформаторы
нұсқасының ш е ш у і .

1. Қысқа тұйықталу кернеуі

$$U_{IK} = 10^{-2} u_k U_{I_{ном}} = 10^{-2} \cdot 5,5 \cdot 10 \cdot 10^3 = 550 \text{ В.}$$

2. Қысқа тұйықталу тоғы

$$I_{IK} = I_{I_{ном}} = S_{ном} / (\sqrt{3} U_{I_{ном}}) = 630 \cdot 10^3 / (1,73 \cdot 10 \cdot 10^3) = 36,4 \text{ А.}$$

3. Қысқа тұйықталу режимінің қуат коэффициенті

$$\cos \varphi_k = P_{к,ном} / (\sqrt{3} U_{IK} I_{IK}) = 7600 / (1,73 \cdot 550 \cdot 36,4) = 0,22;$$

$$\varphi_k = 77^\circ; \sin \varphi_k = 0,97.$$

4. Қысқа тұйықталудың толық кедергісі

$$Z_k = U_{IK} / \sqrt{3} I_{IK} = 550 / (\sqrt{3} \cdot 36,4) = 8,7 \text{ Ом.}$$

5. Қысқа тұйықталу кедергісінің активті құрамдас бөлігі

$$r_k = Z_k \cos \varphi_k = 8,7 \cdot 0,22 = 1,9 \text{ Ом.}$$

6. Қысқа тұйықталу кедергісінің индуктивті құрамдас бөлігі

$$x_k = Z_k \sin \varphi_k = 8,7 \cdot 0,97 = 8,44 \text{ Ом.}$$

7. Қысқа тұйықталу кернеу үшбұрышының жақтары (1.6-сурет)

$$U_k = I_{IK} Z_k = 36,4 \cdot 8,7 = 317 \text{ В;}$$

$$U_{к,а} = I_{IK} r_k = 36,4 \cdot 1,9 = 69 \text{ В;}$$

$$U_{к,р} = I_{IK} x_k = 36,4 \cdot 8,44 = 307 \text{ В.}$$

8. Кернеу масштабын $m_U = 5 \text{ В/мм}$ деп алсақ, онда векторлардың ұзындығы (қысқа тұйықталу үшбұрышының жақтары):

$$U_k = 317/5 = 63 \text{ мм; } U_{к,а} = 69/5 = 14 \text{ мм; } U_{к,р} = 307/5 = 61 \text{ мм.}$$

1.7-есеп. 1.6-есемінің берілгенін қолдана отырып, $\Delta U_{ном}$ номиналды жүктемесі, индуктивті және сыйымдылықты сипаттағы жүктемегі кезіндегі жүктеме қуатының коэффициенттері $\cos \varphi_2 = 1$ және $\cos \varphi_2 = 0,8$ болатын, сондай-ақ активті-индуктивті сипаттағы жүктеме мен фазалық ауытқы кезінде $\varphi_2 = \varphi_k$ болатын трансформатор шығысындағы кернеу өзгерісінің мәнін есептеу. Алынған нәтижелерді салыстыру және жүктеме сипатының трансформатордың екінші реттік кернеуіне әсері туралы қорытынды жасау.

ТМ-630/10 трансформаторы нұсқасының ш е ш у і .

1. Есепті шешу үшін келесі формуланы қолданамыз

$$\Delta U_{\text{НОМ}} = u_{\text{к.а}} \cos \varphi_2 + u_{\text{к.р}} \sin \varphi_2,$$

мұндағы

$$u_{\text{к.а}} = (u_{\text{к.а}} / U_{\text{НОМ}}) 100 = (69 / 10\,000) 100 = 0,69\%;$$

$$u_{\text{к.р}} = (u_{\text{к.р}} / U_{\text{НОМ}}) 100 = (307 / 10\,000) 100 = 3,07\%;$$

$$u_{\text{к}} = (u_{\text{к}} / U_{\text{НОМ}}) 100 = (317 / 10\,000) 100 = 3,17\%;$$

$$\cos \varphi_{\text{к}} = u_{\text{ка}} / u_{\text{к}} = 0,69 / 3,17 = 0,22.$$

2. Активті жүктеме $\cos \varphi_2 = 1$; $\sin \varphi_2 = 0$

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

3. Активті-индуктивті жүктеме $\cos \varphi_2 = 0,8$; $\sin \varphi_2 = 0,6$

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

4. Активті-сыйымдылықты жүктеме $\cos \varphi_2 = 0,8$; $\sin \varphi_2 = 0,6$ (есептеу кезінде екінші қосындыны «азайту» таңбасымен қолдану)

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

5. $\varphi_2 = \varphi_{\text{к}} = 77^\circ$ болғанда активті-индуктивті жүктеме, яғни $\cos \varphi_{\text{к}} = 0,22$ және $\sin \varphi_2 = 0,97$

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

6. Алынған нәтижелерді талдай отырып, қорытындыласақ :

а) номиналды жүктеме кезіндегі трансформатор шығысындағы кернеу өзгерісі тек таза активті жүктеме кезінде болады (0,69 %);

б) $\Delta U_{\text{НОМ}} = 3,13 \, \%$ ең үлкен мәні активті-индуктивті жүктеме кезінде, фазалық ауытқу бұрышы $\varphi_2 = \varphi_{\text{к}} = 77^\circ$ кезінде болады;

в) активті-сыйымдылықты сипаттағы жүктеме кезінде $\Delta U_{\text{НОМ}}$ теріс мәнге ие болады, яғни номиналды жүктеме кезіндегі трансформатордың екінші реттік орамының шығысындағы кернеу 1,3%-ға артады.

Векторлық диаграмма, шығындар мен трансформатор ПӘК

1.8-есеп. Номиналды қуаты $S_{\text{НОМ}}$ және номиналды бірінші реттік кернеуі $U_{\text{НОМ}}$, қысқа тұйықталу қуаты $P_{\text{кНОМ}}$ және қысқа тұйықталу кернеуі $u_{\text{к}}$ бір фазалы трансформатор үшін мәндерін есептеу және екінші реттік кернеу өзгерісінің ΔU жүктеме коэффициентінен β тәуелділік графигін сызу, егер жүктеме қуатының коэффициенті $\cos \varphi_2$ болса. Аталған параметрлердің мәндері 1.6-кестеде көрсетілген (параметрлер жұмыс температурасына келтірілген).

Параметр	Нұсқалар									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$S_{ном}, кВ \cdot А$	600	250	800	100	180	560	320	50	120	80
$U_{Iном}, кВ$	31,5	6,3	31,5	6,3	6,3	10	10	3,4	6,3	10
$P_{кном}, кВт$	20	12	22	7	10	25	13	3,5	8	5,4
$u_k, \%$	8,5	6,5	8,5	5,5	6,5	7	6,5	5,5	5,5	6
$\cos\varphi_2$	0,75 (сый.)	0,85 (инд.)	0,80 (сый.)	0,70 (инд.)	1,0	0,85 (инд.)	0,9 (сый.)	1,0	0,80 (инд.)	0,70 (инд.)

1 - н ұ с к а н ы ң ш е ш у і .

1. Қысқа тұйықталу кернеуі

$$U_{IK} = 10^{-2} u_k u_{Iном} = 10^{-2} \cdot 8,5 \cdot 31,5 \cdot 10^3 = 26\,77\text{ В.}$$

2. Қысқа тұйықталу тоғы

$$I_{IK} = I_{ном} = S_{ном} / (U_{Iном}) = 600 \cdot 10^3 / (31,5 \cdot 10^3) = 19\text{ А.}$$

3. Қысқа тұйықталу режимінің қуат коэффициенті

$$\cos\varphi_k = P_{к.ном} / (u_{IK} I_{IK}) = 20\,000 / (2677 \cdot 19) = 0,39;$$

$$\sin\varphi_k = 0,92.$$

4. Қысқа тұйықталу кернеуінің активті құрамдас бөлігі

$$u_{ка} = u_k \cos \varphi_k = 8,5 \cdot 0,39 = 3,3\%.$$

5. Қысқа тұйықталу кернеуінің реактивті құрамдас бөлігі

$$u_{к.р} = u_k \sin\varphi_k = 8,5 \cdot 0,92 = 7,8\%.$$

6. Жүктеме коэффициентінің бірқатар мәндерін аламыз:

$$\beta = 0,25; 0,50; 0,75 \text{ және } 1.$$

7. Берілген β мәндерін қолдана отырып, формула бойынша

$$\Delta U = \beta (u_{ка} \cos \varphi_2 - u_{к.р} \sin \varphi_2),$$

ΔU есептейміз; формуладағы «азайту» таңбасы жүктеменің сыйымдылықты сипатына байланысты (1.6-кестені қарау). Есептеу нәтижелері төменде берілген:

β	0	0,25	0,50	0,75	1,0
$\Delta U, \%$	0	-0,67	-1,34	-2,01	-2,68

Алынған нәтижедегі «азайту» таңбасы трансформаторға түсірілетін жүктеме артқан сайын екінші реттік қысқыштардағы кернеу

артатынын көрсетеді, бұл трансформаторды жүктеудің сыйымдылықты сипатымен байланысты.

1.9-есеп. 1.6-кестеде берілген бір фазалы трансформаторлардың параметрлері мен 1.8-есептің нәтижелерін қолдана отырып, қажетті параметрлерді есептеу және трансформатордың жеңілдетілген векторлық диаграммасын сызу (бос жүріс тоғын есепке алмау). Сонымен қатар, қуат коэффициентінің мәні $\cos\varphi_1 = 0,7$ болғандағы трансформаторды номиналды жүктеудің екі жағдайын қарастыру: жүктеудің индуктивті сипаты мен жүктеудің сыйымдылықты сипаты. Трансформатордың қауат коэффициентін $\cos\varphi_2$ анықтау.

1 - н ұ с қ а н ы ң ш е ш у і .

Векторлық диаграмманы құрастыруға қажетті параметрлердің мәндерін жазып алайық.

Номиналды бірінші реттік кернеу

$$U_{1ном} = 31,5 \text{ кВ} = 31\,500 \text{ В.}$$

Қысқа тұйықталудың активті кернеуі

$$u_{ка} = 10^{-2} u_{1ном} u_{ка} = 10^{-2} \cdot 31\,500 \cdot 3,3 = 1040 \text{ В.}$$

Қысқа тұйықталудың реактивті кернеуі

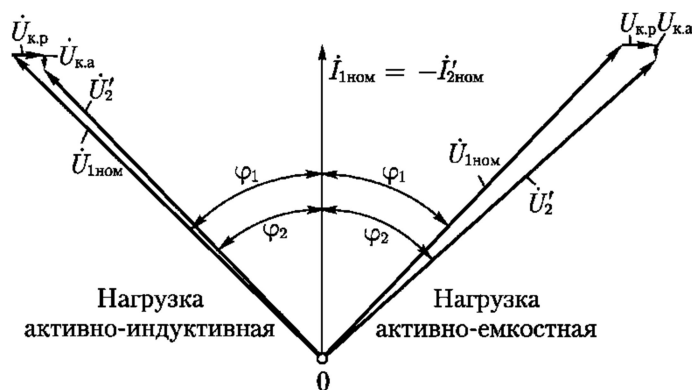
$$u_{к.р} = 10^{-2} u_{1ном} u_{к.р} = 10^{-2} \cdot 31\,500 \cdot 7,8 = 2457 \text{ В.}$$

Бірінші реттік тізбектегі номиналды ток

$$I_{1ном} = S_{ном}/U_{1ном} = 600 \cdot 10^3 / 31\,500 = 19 \text{ А.}$$

Фазалық ауытқу бұрышы $\varphi_1 = \arccos 0,7 = 45^\circ$.

Диаграмманы құрастыру реті (**1.7-сурет**). Кернеу масштабын таңдау қажет. Сонымен қатар, диаграмма салынатын қағаздың өлшемін ескерген жөн. Мысалы,



1.7-сурет. Трансформатордың жеңілдетілген векторлық диаграммасы

А4 форматындағы қағаз үшін $m_U = 150 \text{ В/мм}$ масштабын алған дұрыс.
Бұл жағдайда векторлардың ұзындығы:

бірінші реттік кернеу $u_{1\text{ном}}$ 210 мм;
қысқа тұйықталудың активті кернеуі $u_{\text{ка}}$ 7,0 мм;
қысқа тұйықталудың реактивті кернеуі $u_{\text{кр}}$ 16,5 мм.

Ордината осінде тоқ векторын саламыз $I_{1\text{ном}} = -I_2'$. Бұл вектордың ұзындығы кез келген бола алады, өйткені ол диаграмма еш әсер етпейді. Одан кейін фаза бойынша алға кету жағына қарай $\varphi_1 = 45^\circ$ бұрышымен $U_{1\text{ном}}$ кернеу векторын саламыз. Осы вектордың соңынан тоқ векторына перпендикуляр түрде $U_{\text{кр}}$ қысқа тұйықталу кернеуінің реактивті векторын жүргіземіз, ал одан кейін осы вектордың соңынан $I_{1\text{ном}}$ векторына параллель-қарсы $U_{\text{ка}}$ қысқа тұйықталу кернеуінің реактивті векторын жүргіземіз. Диаграмманың басы (0 нүктесі) мен $U_{\text{ка}}$ векторының соңын қосу арқылы екінші реттік кернеудің келтірілген мәнінің векторы алынады. $\varphi_2 = 43^\circ$ бұрышын өлшеп, қуат коэффициентін анықтайды $\cos\varphi_2 = 0,731$.

Активті-сыйымдылықты жүктеме жағдайына арналған диаграмманы ұқсас жолмен құрастырады, бірақ кернеу векторын тоқ векторының оң жағына қалдырады. Қажетті құрастыруларды жасағаннан кейін, U_2' кернеу векторы артқанын көреміз, яғни активті-индуктивті жүктеме болғанда екінші реттік шығыдағы кернеу артады. Бұрыш $\varphi_2 = 48^\circ$, ал $\cos\varphi_2 = 0,67$.

1.10-есеп. Үш фазалық трансформатордың параметрлері 1.7-кестеде көрсетілген: номиналды қуаты $S_{\text{ном}}$ және номиналды кернеулері (сызықтық) $U_{1\text{ном}}$ және $U_{2\text{ном}}$, қысқа тұйықталу кернеуі $u_{\text{к}}$, бос жүріс тоғы i_0 , бос жүріс шығындары $P_{0\text{ном}}$ және қысқа тұйықталу шығындары $P_{\text{кном}}$. Трансформатор орамдары «жұлдыз – жұлдыз» сызбасы бойынша жалғанған. Анықтау керек:

1.7-кесте

Параметр	Нұсқалар									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$S_{\text{ном}}, \text{кВ} \cdot \text{А}$	100	180	320	560	1000	800	600	700	400	200
$U_{1\text{ном}}, \text{кВ}$	0,5	3,0	6,0	10	35	10	10	6,0	3,0	3,0
$U_{2\text{ном}}, \text{кВ}$	0,23	0,4	0,4	0,4	3,0	0,4	0,6	0,6	0,23	0,23
$u_{\text{к}}, \%$	5,5	5,5	8,5	6,5	5,5	6,5	8,5	5,5	6,5	5,5
$i_0, \%$	6,5	5,5	5,5	5,5	5,0	5,0	5,5	5,5	5,5	6,5
$P_{0\text{ном}}, \text{кВт}$	0,65	1,2	1,6	2,5	5,2	3,6	2,8	3,2	2,0	1,5
$P_{\text{кном}}, \text{кВт}$	2,0	3,6	5,8	9,0	13,5	10,0	9,0	8,2	6,0	4,0

симметриялық ($r_1 = r_2$ және $x_1 = x_2$) деп есептей отырып, Г түріндегі алмастыру сызбасының параметрлерін, сондай-ақ екінші реттік орама кедергісінің нақты мәндерін; жүктеме қуатының коэффициенттері $\cos\varphi_2 = 0,8$ (жүктеменің индуктивті сипаты) мен $\cos\varphi_2 = 1$ болғанда трансформатордың толық қуатының $0,25S_{ном}$; $0,5S_{ном}$; $0,75S_{ном}$ және $S_{ном}$ мәндеріне сәйкес келетін $\eta_{ПЭК}$ мәндерін; $\Delta U_{ном}$ кернеудің номиналды өзрегесін. $\eta = f(\beta)$ және $U_2 = f(\beta)$ графиктерін сызу.

1 - н ұ с қ а н ы ң ш е ш у і .

1. Қысқа тұйықталу кернеуі

$$U_{1к} = 10^{-2} u_{к} u_{Iном} = 10^{-2} \cdot 5,5 \cdot 500 = 27,5 \text{ В.}$$

2. Қысқа тұйықталу тоғы

$$I_{1к} = I_{ном} = S_{ном} / (\sqrt{3} U_{Iном}) = 100 \cdot 10^3 / (1,73 \cdot 0,5 \cdot 10^3) = 115,6 \text{ А.}$$

3. Қысқа тұйықталу режиміндегі қуат коэффициенті

$$\cos\varphi_k = P_k / (\sqrt{3} U_{1к} I_{1к}) = 2000 / (1,73 \cdot 27,5 \cdot 115,6) = 0,36;$$

$$\varphi_k = 69^\circ; \sin\varphi_k = 0,93.$$

4. Қысқа тұйықталудың толық кедергісі

$$z_k = U_{1к} / (\sqrt{3} I_{1к}) = 27,5 / (\sqrt{3} \cdot 115,6) = 0,137 \text{ Ом.}$$

5. Қысқа тұйықталу кедергісінің активті құрамдас бөлігі

$$r_k = z_k \cos\varphi_k = 0,137 \cdot 0,36 = 0,05 \text{ Ом.}$$

6. Қысқа тұйықталу кедергісінің индуктивті құрамдас бөлігі

$$x_k = z_k \sin\varphi_k = 0,137 \cdot 0,93 = 0,13 \text{ Ом.}$$

7. Т түріндегі трансформаторды алмастыру сызбасының активті және реактивті кедергілері (1.2-суретті қарау)

$$r_1 = r'_2 = 0,05/2 = 0,025 \text{ Ом;}$$

$$x_1 = x'_2 = 0,13/2 = 0,065 \text{ Ом.}$$

8. Трансформатордың екінші реттік орама кедергісінің нақты (келтірілмеген) мәндері

$$r_2 = r'_2 / (U_1 / U_2)^2 = 0,0225 / (500/230)^2 = 0,005 \text{ Ом;}$$

$$x_2 = x'_2 / (U_1 / U_2)^2 = 0,065 / (500/230)^2 = 0,014 \text{ Ом.}$$

9. Бос жүріс тоғы

$$I_{0ном} = 10^{-2} i_0 I_{Iном} = 10^{-2} \cdot 6,5 \cdot 115,6 = 7,5 \text{ А.}$$

10. Бос жүріс режиміндегі қуат коэффициенті

$$\cos\varphi_0 = P_{0ном} / (\sqrt{3} I_{0ном} U_{Iном}) = 650 / (1,73 \cdot 7,5 \cdot 500) = 0,10;$$

$$\sin\varphi_0 = 0,995.$$

11. Т түріндегі трансформаторды алмастыру сызбасының магниттеу тармағының толық кедергісі

$$z_m = U_{Iном} / (\sqrt{3} I_{0ном}) = 500 / (1,73 \cdot 7,5) = 38,5 \text{ Ом}.$$

12. Магниттеу тармағының активті және индуктивті құрамдас бөліктері

$$r_m = z_m \cos\varphi_0 = 38,5 \cdot 0,10 = 3,85 \text{ Ом};$$

$$x_m = z_m \sin\varphi_0 = 38,5 \cdot 0,995 = 38,3 \text{ Ом}.$$

13. ПЭК-ті есептеу үшін келесі өрнекті қолданамыз

$$\eta = \frac{\beta' S_{ном} \cos\varphi_2}{\beta' S_{ном} \cos\varphi_2 + P_{0ном} + \beta^2 P_{к.ном}}$$

Жүктеме коэффициенттерінің мәндерін $\beta = 0,25; 0,50; 0,75$ және $1,0$ деп алып, жүктеме қуатының коэффициентін бірінші $\cos\varphi_2 = 1$, одан кейін $\cos\varphi_2 = 0,8$ деп әрқайсысы үшін ПЭК мәнін есептейміз.

14. Максималды ПЭК-ке сәйкес келетін жүктеме коэффициенті

$$\beta' = \sqrt{P_{0ном} / P_{к.ном}} = \sqrt{0,65 / 2,0} = 0,57$$

15. ПЭК-тің максималды мәні

$\cos\varphi_2 = 1$ болғанда:

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

$\cos\varphi_2 = 0,8$ болғанда

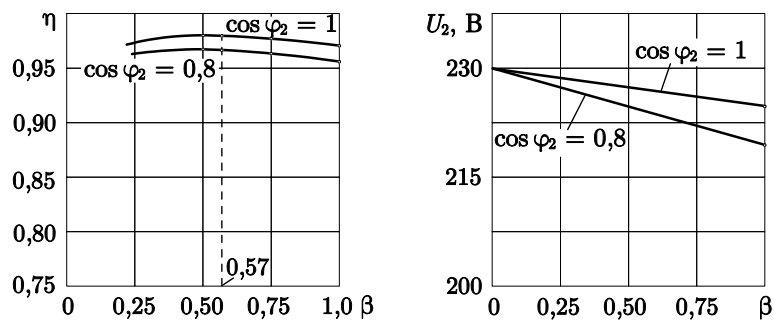
$$\eta_{max} = \frac{0,57 \cdot 100 \cdot 0,8}{0,57 \cdot 100 \cdot 0,8 + 2 \cdot 0,65} = 0,972$$

Есептеулер нәтижелері төменде келтірілген:

β	0,25	0,50	0,75	1,0
$\eta(\cos\varphi_2 = 1 \text{ болғанда})$	0,969	0,977	0,976	0,974
$\eta(\cos\varphi_2 = 0,8 \text{ болғанда, инд.})$	0,962	0,972	0,971	0,967

1.8, асуретте $\eta = f(\beta)$ графиктері көрсетілген.

Алынған нәтижелерді талдау бойынша: трансформатор ПЭК таза активті жүктеме кезінде активті-индуктивті жүктемеге қарағанда β кез келген мәнінің диапазонында көбірек.



1.8-сурет. Трансформатордың $\eta = f(\beta)$ және $U_2 = f(\beta)$ тәуелділіктері

16. Кернеудің номиналды өзгерісін есептеу үшін келесі өрнекті қолданамыз

$$\Delta U_{ном} = u_{ка} \cos \varphi_2 + u_{кр} \sin \varphi_2,$$

мұндағы

$$u_{ка} = u_k \cos \varphi_k = 5,5 \cdot 0,36 = 1,98 \%;$$

$$u_{кр} = u_k \sin \varphi_k = 5,5 \cdot 0,93 = 5,1 \%.$$

$\cos \varphi_2 = 0,8$, $\sin \varphi_2 = 0,6$ болғанда

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

$\cos \varphi_2 = 1$, $\sin \varphi_2 = 0$ болғанда

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

1.8, бсуретте трансформатордың сыртқы сипаттамалары көрсетілген.

1.11-есеп. 1.8-кестеде ТМ топтамасының үш фазалы күштік трансформаторлар туралы мәліметтер берілген: толық номиналды қуат $S_{ном}$; номиналды бос жүріс $P_{0ном}$ және қысқа тұйықталу $P_{к.ном}$ шығындары; жүктеу қуатының коэффициенті $\cos \varphi_2$. Номиналды жүктеу кезіндегі ПӘК-тің максималды өлшемімен салыстырғанда азаю мөлшерін табу керек.

ТМ-100/35 трансформаторы нұсқасының ш е ш у і

1. Номиналды режимдегі ПӘК ($\beta = 1$)

$$\eta_{ном} = P_{ном} / P_{1ном};$$

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

$$P_{ном} = P_{1ном} - (P_{0ном} + P_{к.ном}) = 80 - (0,465 + 1,97) = 77,6 \text{ кВт};$$

$$\eta_{ном} = 77,6 / 80 = 0,97.$$

2. Максималды ПӘК-ті келесі формула бойынша есептейміз:

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

Трансформатор түрі	$S_{\text{ном}}, \text{кВ} \cdot \text{А}$	$P_{0\text{ном}}, \text{кВт}$	$P_{\text{к.ном}}, \text{кВт}$	$\cos\varphi_2$
ТМ-100/35	100	0,465	1,97	0,80
ТМ-160/35	160	0,70	2,65	0,85
ТМ-250/35	250	1,0	3,70	0,85
ТМ-400/35	400	1,35	5,50	0,80
ТМ-630/35	630	1,90	7,60	0,75
ТМ-1000/35	1000	2,75	12,2	0,70
ТМ-1600/35	1600	3,65	18,0	0,80
ТМ-2500/35	2500	5,10	25,0	0,75
ТМ-4000/35	4000	6,70	33,5	0,85
ТМ-6300/35	6300	9,40	46,5	0,80

3. Максималды ПЭК-ке сәйкес келетін жүктеме коэффициенті,

$$\beta' = \sqrt{P_{0\text{ном}}/P_{\text{к.ном}}} = \sqrt{10,465/1,97} = 0,485.$$

4. Максималды ПЭК есептеу формуласына жүктеу коэффициентінің $\beta' = 0,485$ мәнін қойсақ:

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

5. Трансформатордың номиналды жүктеу кезіндегі ПЭК-тің максималды өлшеммен салыстырғанда азаю мөлшері

$$0,98 - 0,97 = 0,01, \text{ яғни } 1 \, \%.$$

1.12-есеп. 1.9-кестеде ТСЗ топтамасының үш фазалы трансформаторларының техникалық мәліметтерді берілген (үш фазалы құрғақ жерге тұйықталған бірінші реттік орамасы бар трансформатор). Берілген мәліметтерді қолдана отырып, анықтау керек: трансформация коэффициенті k , бірінші реттік және екінші реттік орамалардың $I_{1\text{ном}}$ және $I_{2\text{ном}}$ номиналды тоқ мәндерін; қысқа тұйықталу кернеуін $u_{\text{кном}}$; қысқа тұйықталу кернеуі мен оның активті $r_{\text{к}}$ және индуктивті $x_{\text{к}}$ құрамдас бөліктерін; жүктеме қуатының коэффициенті $\cos\varphi_2=1$; 0,8 (инд.) және 0,8 (сый.) болғанда номиналды кернеу өзгерісін; жүктеме қуатының коэффициенті $\cos\varphi_2=1$ және 0,8 болғанда трансформатор ПЭК-тің номиналды және максималды мәндерін.

Транс- форматор түрі	$S_{\text{ном}}, \text{кВ}\cdot\text{А}$	$U_{1\text{ном}}, \text{В}$	$U_{2\text{ном}}, \text{В}$	$P_0, \text{кВт}$	$P_{\text{к.ном}}, \text{кВт}$	$u_{\text{к}}, \%$	$i_0, \%$
ТСЗ-160/6	160	6	0,23	0,7	2,7	5,5	4,0
ТСЗ-160/10	160	10	0,4	0,7	2,7	5,5	4,0
ТСЗ-250/6	250	6	0,23	1,0	3,8	5,5	3,5
ТСЗ-250/10	250	10	0,4	1,0	3,8	5,5	3,5
ТСЗ-400/6	400	6	0,23	1,3	5,4	5,5	3,0
ТСЗ-400/10	400	10	0,4	1,3	5,4	5,5	3,0
ТСЗ-630/6	630	6	0,4	2,0	7,3	5,5	1,5
ТСЗ-630/10	630	10	0,4	2,0	7,3	5,5	1,5
ТСЗ-1000/6	1000	6	0,4	3,0	11,3	5,5	1,5
ТСЗ-1000/10	1000	10	0,4	3,0	11,3	5,5	1,5
ТСЗ-1600/10	1600	10	0,4	4,2	16,0	5,5	1,5

ТСЗ-160/6 трансформаторы нұсқасының шешуі.

1. Трансформация коэффициенті

$$\kappa = U_{1\text{ном}}/U_{2\text{ном}} = 6/0,23 = 26$$

2. Бірінші реттік орамадағы номиналды ток

$$I_{1\text{ном}} = S_{\text{ном}}/(\sqrt{3}U_{1\text{ном}}) = 160/(1,73 \cdot 6) = 15,4 \text{ А.}$$

3. Екінші реттік орамадағы номиналды ток

$$I_{2\text{ном}} = I_{1\text{ном}}\kappa = 15,4 \cdot 26 = 400 \text{ А.}$$

4. Бос жүріс тоғы

$$I_0 = (i_0/100)I_{1\text{ном}} = (4/100)15,4 = 0,6 \text{ А.}$$

5. Қысқа тұйықталу кернеуі

$$U_{1\text{к}} = (u_{\text{к}}/100)U_{1\text{ном}} = (5,5/100)6000 = 330 \text{ В.}$$

6. Қысқа тұйықталу кедергісі

$$Z_{\text{к}} = U_{1\text{к}}/(\sqrt{3}I_{1\text{к}}) = 330/(1,73 \cdot 15,4) = 12,4 \text{ Ом.}$$

7. Қысқа тұйықталу қуатының коэффициенті

$$\cos\varphi_{\text{к}} = P_{\text{к}}/(\sqrt{3}U_{1\text{к}}I_{1\text{к}}) = 2700/(1,73 \cdot 330 \cdot 15,4) = 0,31; \sin\varphi_{\text{к}} = 0,95.$$

8. Қысқа тұйықталу кедергісінің активті және реактивті құрамдас бөліктері

$$r_k = Z_k \cos \varphi_k = 12,4 \cdot 0,31 = 3,8 \text{ Ом};$$

$$x_k = Z_k \sin \varphi_k = 12,4 \cdot 0,95 = 11,8 \text{ Ом}.$$

9. Қысқа тұйықталу кернеуінің активті және реактивті құрамдас бөліктері

$$u_{ka} = u_k \cos \varphi_k = 5,5 \cdot 0,31 = 1,7 \text{ \%};$$

$$u_{kp} = u_k \sin \varphi_k = 5,5 \cdot 0,95 = 5,2 \text{ \%}.$$

10. Номиналды жүктеме кезіндегі трансформатордың екінші реттік кернеуіндегі өзгеріс ($\beta = 1$):

жүктеме қуатының коэффициенті $\cos \varphi_2 = 1$, $\sin \varphi_2 = 0$ болғанда

$$\Delta U_{\text{ном}} = u_{ka} \cos \varphi_2 + u_{kp} \sin \varphi_2 = 1,7 \cdot 1 + 0 = 1,7 \text{ \%};$$

жүктеме қуатының коэффициенті $\cos \varphi_2 = 0,8$ (инд.), $\sin \varphi_2 = 0,6$ болғанда

$$\Delta U_{\text{ном}} = u_{ka} \cos \varphi_2 + u_{kp} \sin \varphi_2 = 1,7 \cdot 0,8 + 5,2 \cdot 0,6 = 4,48 \text{ \%};$$

жүктеме қуатының коэффициенті $\cos \varphi_2 = 0,8$ (сый.), $\sin \varphi_2 = 0,6$ болғанда

$$\Delta U_{\text{ном}} = u_{ka} \cos \varphi_2 + u_{kp} \sin \varphi_2 = 1,7 \cdot 0,8 + 5,2 \cdot (-0,6) = -1,8 \text{ \%}.$$

Номиналды жүктеме кезіндегі трансформатордың екінші реттік кернеуіндегі өзгерісін есептеу нәтижелері ($\beta = 1$):

$\cos \varphi_2$	1,0	0,8 (инд.)	0,8 (сый.)
$\Delta U_{\text{ном}}, \text{ \%}$	1,7	4,48	-1,8
$\Delta U_{\text{ном}}, \text{ В}$	3,9	10,3	-4,14
$U_2 = U_{2\text{ном}} - \Delta U_{\text{ном}}, \text{ В}$	226	220	234

Трансформатордың сыртқы сипаттамасы 1.9-суретте көрсетілген.

11. Номиналды жүктеме ($\beta = 1$) мен қуат коэффициенті $\cos \varphi_2 = 1$ болғанда трансформатор ПЭК

$$\eta = \frac{\beta' S_{\text{ном}} \cos \varphi_2}{\beta' S_{\text{ном}} \cos \varphi_2 + P_{0\text{ном}} + \beta^2 P_{\text{к.ном}}} = \frac{1 \cdot 160 \cdot 1}{1 \cdot 160 \cdot 1 + 0,7 + 1^2 \cdot 2,7} = 0,98$$

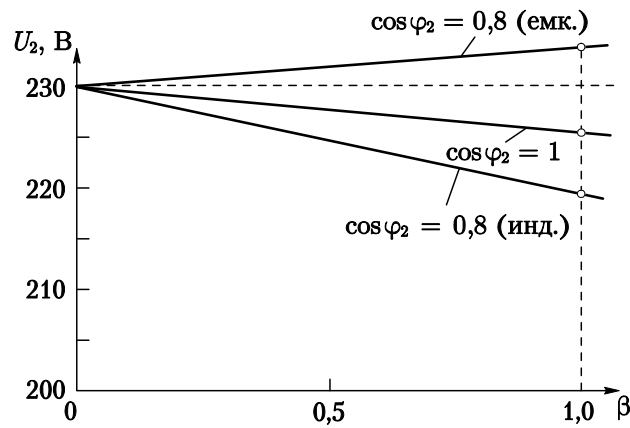
номиналды жүктеме мен қуат коэффициенті $\cos \varphi_2 = 0,8$ болғанда

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

12. Максималды ПЭК:

$\cos \varphi_2 = 1$ болғанда

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



1.9 ASD

$\cos \varphi_2 = 0,8$ болғанда

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

мұндағы, максималды ПӘК-ке сәйкес келетін жүктеме коэффициенті:

$$\beta' = \sqrt{P_{оном}/P_{к.ном}} = \sqrt{0,7/2,7} = 0,51$$

Трансформаторлардың параллель жұмысы. Автотрансформаторлар

1.13-есеп. Номиналды қуаттары $S_{номI}$, $S_{номII}$ және $S_{номIII}$ және қысқа тұйықталу кернеулері $u_{кI}$, $u_{кII}$ және $u_{кIII}$ үш үш фазалы трансформаторлар параллель жұмысқа қосылған (1.10-кесте). Анықтау керек:

1) әрбір трансформатор жүктемесін кВ·А өлшемімен (S_I , S_{II} және S_{III}), егер параллель топтың жалпы жүктемесі осы трансформаторлардың номиналды қуаттарының қосындысына тең болса ($S_{жалпы} = S_{номI} + S_{номII} + S_{номIII}$);

2) әрбір трансформаторды қуаты бойынша қолдану деңгейін ($S/S_{ном}$);

3) трансформаторлардың тым жүктелуінен айырылу үшін трансформаторлық топтың жалпы жүктемесін $S_{жалпы}$ қаншалықты азайту керек; бұл жағдайда трансформаторлар қуаты бойынша номиналды қуатының қандай % үлесімен қолданылады?

1 - н ұ с қ а н ы ң ш е ш і м і . Параллель жұмысқа номиналды қуаттары әртүрлі трансформаторлар қосылғандықтан, бұл трансформаторлардың қысқа тұйықталу кернеуі бірдей емес.

Параметр	Нұсқалар				
	1	2	3	4	5
<i>Трансформатор I</i>					
Номиналды қуат $S_{номI}$, кВ · А	5000	5600	3200	1800	560
Қысқа тұйықталу кернеуі $u_{кI}$, %	5,3	5,3	4,3	4,4	4,0
<i>Трансформатор II</i>					
Номиналды қуат $S_{номII}$, кВ · А	3200	3200	4200	3200	420
Қысқа тұйықталу кернеуі $u_{кII}$, %	5,5	5,5	4,3	4,0	4,2
<i>Трансформатор III</i>					
Номиналды қуат $S_{номIII}$, кВ · А	1800	3200	5600	4200	200
Қысқа тұйықталу кернеуі $u_{кIII}$, %	5,7	5,5	4,0	3,8	4,5

Сондықтан, трансформаторлар арасындағы жүктеменің бөлінісін қысқа тұйықталу кернеулерінің әртүрлілігін ескеретін келесі формула бойынша есептейміз

$$S_x = SS_{хном} / (u_{кx} \sum S_{хном} / u_{кx})$$

1. Параллель топтың жалпы жүктемесі

$$S = S_{номI} + S_{номII} + S_{номIII} = 5000 + 3200 + 1800 = 10\,000 \text{ кВ} \cdot \text{А}.$$

2. Келесі өрнекті қолданамыз

$$\sum (S_{хном} / u_{кx}) = 5000 / 5,3 + 3200 / 5,5 + 1800 / 5,7 = 1841$$

3. Әрбір трансформатордың нақты жүктемесі

$$S_I = \frac{10\,000 \cdot 5000}{5,3 \cdot 1841} = 5124 \text{ кВ} \cdot \text{А}; S_{II} = \frac{10\,000 \cdot 3200}{5,5 \cdot 1841} = 3160 \text{ кВ} \cdot \text{А}$$

$$S_{III} = \frac{10\,000 \cdot 1800}{5,7 \cdot 1841} = 1715 \text{ кВ} \cdot \text{А}$$

Алынған нәтижелерді талдай отырып, келесі қорытындыға келуге болады: қысқа тұйықталу кернеуі төменірек трансформатор көбірек (трансформатор I) және қысқа тұйықталу кернеуі көбірек трансформаторлар азырақ жүктеледі (трансформатор III). Трансформатор I тым жүктелген болып шықты: шамадан тыс жүктелу мәні

$$[(5100 - 5000)/5000]100 = 2\%.$$

Трансформаторларды шамадан тыс жүктеуге болмайтындықтан, жалпы жүктемені 2 %-ға төмендетіп, оны $S' = 10\,000 \cdot 0,98 = 9800$ кВ · А деп алған жөн, бұл кезде трансформаторлардың жалпы қуаты 2 %-ға толық қолданбай қалады.

1.14-есеп. Бірінші реттік номиналды кернеуі U_1 және екінші реттік номиналды кернеуі U_2 болғанда номиналды (өткізгіштік) қуаты $S_{\text{ном}}$ бір фазалы төмендететін трансформатордағы орамдар саны w_1 , олардың w_2 орамдары бірінші және екінші реттік тізбектерге ортақ болып келеді (1.4-суретті қарау); Трансформатордың бір орамында индукцияланатын ЭҚК $E_{\text{втк}}$. 1.11-кестеде жетіспейтін параметрлердің мәндерін анықтау керек, сондай-ақ осы автотрансформатордың массасы мен шығыны дәл осындай қуаты мен кернеуі бар екі орамалы трансформатордікінен неше есе аз екенін анықтау қажет; автотрансформатордың бірінші реттік тізбегінен екінші реттікке электрлік және электромагниттік жолдар арқылы өтетін қуат мөлшерін анықтау. Есепті шешу барысында бос жүріс тоғын ескермеу.

1 - н ұ с қ а н ы ң ш е ш у і

1. Автотрансформатордағы орамдар саны

$$w_1 = U_1 / E_{\text{втк}} = 220 / 0,85 = 259 \text{ орам.}$$

2. Екінші реттік кернеу

$$U_2 = w_2 E_{\text{втк}} = 130 \cdot 0,85 = 110 \text{ В.}$$

3. Автотрансформатордың трансформация коэффициенті

$$k_A = w_1 / w_2 = 259 / 130 = 2,0.$$

4. Бірінші реттік тізбектегі номиналды ток

$$I_{1\text{ном}} = S_{\text{ном}} / U_{1\text{ном}} = 15 \cdot 10^3 / 220 = 68 \text{ А.}$$

1.11-кесте

Параметр	Нұсқалар									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$S_{\text{ном}}, \text{кВ} \cdot \text{А}$	15	4,0	6,0	16	8,0	3,0	5,0	2,8	9,0	12
$U_1, \text{В}$	220	—	380	—	220	—	220	—	380	—
$U_2, \text{В}$	—	110	—	220	—	127	—	140	—	220
$E_{\text{втк}}, \text{В}$	0,85	0,75	1,73	0,90	0,90	0,85	1,0	0,85	1,0	1,022
w_1	—	—	—	—	—	250	250	270	400	400
w_2	130	130	250	240	130	—	—	—	—	—

5. Екінші реттік тізбектегі номиналды ток

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

6. Ортақ орамдар бөлігіндегі ток

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

7. Бірінші реттік тізбектен екінші реттік тізбекке электрлік жолмен жіберілетін қуат (1.7-суретті қарау),

$$S_3 = S_{ном} / k_A = 15 / 2,0 = 7,5 \text{ кВ} \cdot \text{А.}$$

Сонымен, өткізгіштік қуаттың тек жартысы ғана электрмагниттік жол арқылы жіберіледі, сондықтан номиналды қуаты $15 \text{ кВ} \cdot \text{А}$ екі орамалы трансформатормен салыстырғанда, қарастырылған автотрансформатор масса екі есе аз белсенді материалдардан жасалған, сәйкесінше, оның шығыны да екі есе аз.

1.15-есеп. 1.12-кестеде төмендеткіш автотрансформатордың келесі параметрлерінің мәндері көрсетілген: номиналды (өткізгіштік) қуат $S_{ном}$, трансформация коэффициенті k_A , бірінші реттік $I_{1ном}$ және екінші реттік $I_{2ном}$ тізбектердегі ток, ортақ орамдар бөлігіндегі ток I_{12} , бірінші реттік U_1 және екінші реттік U_2 кернеулер, есептік $A_{есеп}$ және электрлік жолмен жіберілетін S_3 қуаттар. Кестеде берілген параметрлердің мәндерін қолдана отырып, жетіспейтін параметрлер мәндеріне анықтау.

1 - н ұ с қ а н ы ң ш е ш у і

1. Бірінші реттік кернеу

$$U_1 = S_{ном} / A_{ном} = 2640 / 12 = 220 \text{ В.}$$

1.12-кесте

Параметр	Нұскалар									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$S_{ном}, \text{кВ} \cdot \text{А}$	2,64	—	—	2,2	—	3,5	—	3,5	—	2,8
$S_3, \text{кВ} \cdot \text{А}$	—	—	1,3	0,85	—	—	0,65	—	—	—
$S_{есеп}, \text{кВ} \cdot \text{А}$	—	—	0,5	—	0,8	—	—	—	1,1	—
$U_1, \text{В}$	—	220	380	—	—	380	—	380	—	—
$U_2, \text{В}$	127	—	—	250	—	—	300	—	220	—
$I_{1ном}, \text{А}$	12	8								12,7
$I_{2ном}, \text{А}$	—	—	—	—	—	12	—	11	15	—
$I_{12ном}, \text{А}$	—	—	—	—	6	—	—	—	—	—
k_A	—	1,35	—	—	1,25	—	1,30	—	—	1,80

2. Трансформация коэффициенті

$$k_A = U_1/U_2 = 220/127 = 1,73.$$

3. Екінші реттік ток

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

4. Автотрансформатордың ортақ орамдарындағы ток

$$I_{I2} = I_2 - I_1 = 21 - 12 = 9 \text{ A}.$$

5. Автотрансформатордың есептік қуаты

$$S_{\text{есеп}} = U_2 I_2 = 127 \cdot 9 = 1140 \text{ В} \cdot \text{А}.$$

6. Автотрансформатордың екінші реттік тізбегіне электрлік жолмен өткізілетін қуат

$$S_3 = S_{\text{ном}} - S_{\text{есеп}} = 2640 - 1140 = 1500 \text{ В} \cdot \text{А}.$$

КОЛЛЕКТОРСЫЗ МАШИНАЛАР ТЕОРИЯСЫ БОЙЫНША ЖАЛПЫ СҰРАҚТАР

2.1. Негізгі түсініктер

Айнымалы тоқ коллектор машинасының статордың орамасы (2.1-сурет) статор білігінің ішкі бетінің ойықтарында орналасады. Ол қимасы шеңбер немесе тікбұрышты мыс оқшауламаланған сымнан жасалады.

Статор орамасының элементі болып бір немесе бірнеше орамалы катушка табылады. Катушканың ойықтарда орналасқан элементтерін ойықты жақ деп атайды, ал ойықтан тыс орналасқан және ойықтық жақтарды байланыстыратын бөліктерін маңдай бөліктер деп атайды.

Статор орамдары келесі параметрлермен сипатталады: *фазалық орамдар санымен*: m_1 – бір фазалық ($m_1 = 1$) және көп фазалық, әдетте үш фазалық ($m_1 = 3$);

ойықтар бойынша орау қадамымен y_1 – толық (диаметральді) кадаммен ($y_1 = \tau$) және қысқартылған кадаммен ($y_1 < \tau$).

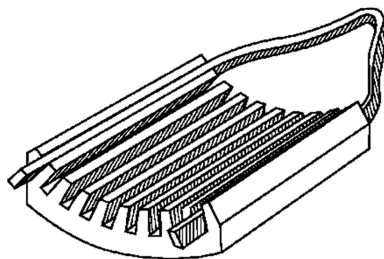
Мұнда τ – полюстік бөлу, м,

$$\tau = \pi D_1 / (2p),$$

мұндағы D_1 – статордың ішкі диаметрі, м; $2p$ – статор орамындағы полюс саны.

Егер орама қадамы толық болса,

$$y_1 = Z_1 / (2p) = \tau$$



2.1-сурет. Статор білігінің ойықтарындағы катушканың ойық жақтарының орналасуы

онда статордың әр катушкасында айналатын магниттік өріспен индукцияланатын ЭҚК осы орамның жақтарының ЭҚК арифметикалық ортасымен анықталады, яғни

$$e_{орм} = e_1 + e_2$$

Егер орама қадамы қысқартылған болса ($y_1 < \tau$), онда орама ЭҚК оның ойықтық жақтарының ЭҚК геометриялық қосындысымен анықталады, яғни осы ЭҚК фазалық ауытқулары ескеріледі, бұл кезде,

сәйкесінше, осы орамның ЭҚК және барлық фазалық орамның E_y ЭҚК азаяды. Орама қадамын қысқарту нәтижесіндегі ЭҚК азаюы қысқарту коэффициенті арқылы есептеледі $k_y = E_y/E_d$. Бірінші (негізгі) гармоника ЭҚК үшін қысқарту коэффициенті

$$k_{y1} = \sin(\beta \cdot 90^\circ).$$

Кез келген ЭҚК гармоникасы үшін (v – гармоника нөмірі)

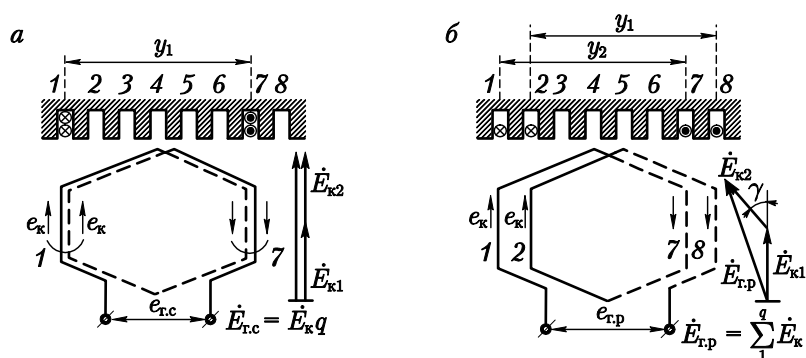
$$k_{yv} = \sin(v\beta \cdot 90^\circ).$$

Төменде түрлі ЭҚК гармоникалары үшін салыстырмалы орам қадамына $\beta = y_1/\tau$ байланысты қысқарту коэффициенттерінің k_{yv} мәндері көрсетілген.

Салыстырмалы қадам β	4/5	6/7	1
Қысқарту коэффициенті k_{yv} :			
1 гармоника	0,951	0,975	1,000
5 »	0,000	0,433	1,000
7 »	0,573	0,000	-1,000

Статорлар орамдарының құрылымы бойынша жинақталған және бөлінген деп бөлінеді. Статордың жинақталған орамасында әрбір фазаның орамы екі ойықта орналасады, ал статордың бөлінген орамасында әрбір фазаның катушкасы бірнеше ойықты алады. Катушкаларды статор білігінің ойықтарына бөліп орналастыру бөлінген орамалы катушка тобының $E_{г.б}$ ЭҚК жинақталған орамалы катушка тобының $E_{г.ж}$ ЭҚК салыстырғанда азаюына әкеледі (2.2, а, б суреттер). Бұл ЭҚК сандық азаюы үшін *ораманың таратылу коэффициентін* қолданады, ол бөлінген орама ЭҚК жинақталған орама ЭҚК қатынасы болып табылады:

$$k_p = (E_{г.б}/E_{г.ж}) < 1$$



2.2-сурет. Таратылу коэффициенті туралы түсінікке

ЭҚК бірінші гармоникасы үшін ораманың таратылу коэффициенті

$$k_{p1} = \frac{\sin(0,5q_1\gamma)}{q_1 \sin(0,5\gamma)}$$

Мұндағы γ – ойықтық ЭҚК векторлары арасындағы фаза бойынша ауытқу бұрышы, яғни статордың көрші ойықтарында жатқан өткізгіштерге келтірілетін ЭҚК, эл, град:

$$\gamma = 360p/Z_l.$$

Ойықтық ЭҚК векторларының арасындағы фазалық ауытқу бұрышы n -ші гармоника үшін ойықтық бұрыштан n есе үлкен болғандықтан, кез келген гармоника үшін ораманың таратылу коэффициенті

$$k_{pv} = \frac{\sin(0,5vq_1\gamma)}{q_1 \sin(0,5v\gamma)}$$

Төменде коэффициенттің ЭҚК бірінші, бесінші және жетінші гармоникаларына полюс пен фазаға сәйкес ойықтар санына байланысты мәндері келтірілген

$$q_l = Z_l/(2pm_l)$$

Полюс пен фазаға

сәйкес ойық саны q_l

Бөлу

коэффициенті k_p :

		1	2	3	4	5	6	ГО
1-гармоника		1,000	0,966	0,960	0,958	0,957	0,956	0,955
3	»		1,000	0,707	0,667	0,654	0,646	0,636
5	»		1,000	0,259	0,217	0,204	0,200	0,197
7	»		-1,000	-0,259	-0,178	-0,157	-0,149	-0,145

Статордың фазалық орамасының ЭҚК келесі өрнек бойынша анықталады:

$$E_{\phi l} = 4,44\phi f_l w_l k_{o\phi l}$$

мұндағы Φ – негізгі магниттік ағын,

$$\Phi = (2/\pi)B_\delta I_1 \tau;$$

B_δ – қозғалмайтын статор мен айналмалы ротор арасындағы ауалық саңылаудағы магниттік индукция, Тл; f_l – статор орамындағы айнымалы ток жиілігі (желіде); w_l – статордың фазалық орамындағы тізбектей жалғанған орамдар саны

$$W = 2pq_l w_k = Z_l w_k / m_l,$$

m_k – статор катушкасындағы орамдар саны; $K_{айн1} = K_{yl}K_{pl}$ – катушка қадамын қысқарту мен ораманың бөлінген құрылымының нәтижесінде ЭҚК азаюын ескеретін орамдық коэффициент.

2.2. ЕСЕПТЕР

2.1-есеп. Ішкі диаметрі D_l , ұзындығы l_l үшфазалық коллекторсыз айнымалы ток машинасының статорында Z_l ойық пен $2p$ полюс бар (2.1-кесте). Статор орамасының бір фазасының ЭҚК анықтау, егер ойықтар бойынша орама қадамы $y_l = \tau$, катушкадағы орамдар саны m_l , машинаның ауалық саңылауындағы магниттік индукция B_δ , ал қуат беруші желідегі ток жиілігі $f_l = 50$ Гц болса.

2.1-кесте

Параметр	Нұсқалар									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$D_l, м$	0,20	0,25	0,32	0,18	0,36	0,48	0,26	0,32	0,28	0,52
$l_l, м$	0,20	0,20	0,30	0,20	0,30	0,32	0,24	0,36	0,30	0,40
Z_l	36	48	48	36	48	54	30	42	48	60
$2p$	4	4	4	2	8	6	2	4	6	8
w_x	4	3	3	3	2	2	4	3	4	2
$B_\delta, Тл$	0,75	0,80	0,70	0,75	1,0	1,0	0,80	0,75	1,0	0,80

1-нұсқаның шешуі

1. Полюстік бөліну

$$\tau = p D_l / (2p) = 3,14 \cdot 0,2 / 4 = 0,157 \text{ м.}$$

2. Негізгі магниттік ағын

$$F = (2/p) B_\delta l_l \tau = 0,64 \cdot 0,75 \cdot 0,20 \cdot 0,157 = 0,015 \text{ Вб.}$$

3. Статордың фазалық орамындағы тізбектей жалғанған орамдар саны

$$w_l = Z_l w_{l\tau} / m_l = 36 \cdot 4 / 3 = 48 \text{ орамдар.}$$

4. Полюс пен фазаға сәйкес келетін орамдар саны

$$= Z_l / (2p m_l) = 36 / (4 \cdot 3) = 3 \text{ ойық.}$$

5. Таралу коэффициенті мен бірінші (негізгі) гармоника үшін орамдық коэффициент:

$$k_{pl} = 0,960; k_{a\text{йн}l} = k_{pl} = 0,960.$$

6. Фазалық ораманың ЭҚК

$$E_F = 4,44 \Phi y_l' w_l k_{a\text{йн}l} = 4,44 \cdot 0,015 \cdot 50 \cdot 48 \cdot 0,960 = 153 \text{ В.}$$

2.2-есеп. 2.1-кестедегі мәліметтер мен 2.1-есептің нәтижелерін қолдана отырып, статордың фазалық орамасының бірінші (негізгі) гармоникасының ЭҚК анықтау; ораманы қысқартылған қадаммен орындау.

статорды «жұлдыз» және «үшбұрыш» етіп байланыстырған кезде негізгі гармониканың сызықтық ЭҚК есептеу. Орама қадамын ойықтар санына қысқартқанда бесінші және жетінші гармоникадағы ЭҚК қаншалықты әлсіздейді:

Нұсқалар	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Ойық қадамын қысқарту	1	1	1	2	1	2	2	1	1	2

1 - н ұ с қ а н ы ң ш е ш у і

1. Толық (диаметральді) қадам

$$y_l = Z_l / 2p = 36 / 4 = 9 \text{ ойық.}$$

2. Қысқартылған қадам

$$Y_{ук} = 9 - 1 = 8 \text{ ойық.}$$

3. Салыстырмалы қадам

$$b = Y_{ук} / y_l = 8 / 9 = 0,89.$$

4. Ойықтық ЭҚК векторларының арасындағы фазалық ауытқу бұрышы

$$\gamma = 360p / Z_l = 360 \cdot 2 / 36 = 20^\circ.$$

5. ЭҚК гармоникалары үшін қадам қысқарту коэффициенті

$$k_{ym} = \sin(nb \cdot 90^\circ);$$

бірінші (негізгі) гармоника ($n = 1$) үшін

$$k_{y1} = \sin(b \cdot 90^\circ) = \sin(0,89 \cdot 90^\circ) = 0,985;$$

бесінші гармоника үшін ($n = 5$)

$$k_{y5} = \sin(5 \cdot 0,89 \cdot 90^\circ) = 0,649;$$

жетінші гармоника үшін ($n = 7$)

$$k_{y7} = \sin(7 \cdot 0,89 \cdot 90^\circ) = -0,353.$$

6. $q_l = 3$ болғанда 1,5 және 7- гармоникалар үшін тарату коэффициенті (38-сызбаны қарау)

$$k_{p1} = 0,960; k_{p5} = 0,217; k_{p7} = -0,178.$$

7. Орамдық коэффициенттер

$$k_{айн1} = 0,985 \cdot 0,960 = 0,946;$$

$$k_{айн5} = 0,649 \cdot 0,217 = 0,140;$$

$$k_{айн7} = -0,353 \cdot (-0,178) = 0,062.$$

8. Негізгі гармоника фазасының ЭҚК

$$E_{ф1y} = 4,44\Phi / l w_1 k_{айн1} = 4,44 \cdot 0,015 \cdot 50 \cdot 48 \cdot 0,946 = 151 \text{ В.}$$

Сөйтіп, орама қадамын бір ойыққа қысқарту негізгі гармониканың ЭҚК төмендегі шамаға азаюына әкелді:

$$\frac{(E_{\phi 1} - E_{\phi 1y})100}{E_{\phi 1}} = \frac{(153 - 151)100}{153} \approx 1,3\%$$

Мұндай жағдайда 5-гармониканың ЭҚК 35 %, ал жетінші гармоника ЭҚК 65 % төмендейді.

9. Орамаларды «үшбұрыш» етіп жалғағанда сызықтық ЭҚК фазалық ЭҚК тең болады $E_{\phi y1} = 151 \text{ В}$, ал «жұлдыз» етіп жалғағандағы мәні:

$$E_{\phi} = 1,73 \cdot 151 = 261 \text{ В.}$$

2.3-есеп. 2.2-кестеде келтірілген мәліметтер бойынша үш фазалы екі қабат тұзақша статор орамасының параметрлерін есептеп, толық сызбасын сызу. Орамалық топтар тізбектес жалғанған (параллель орамдар саны $a = 1$).

2.2-кесте

Параметр	Нұсқалар									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Полюстер саны $2p$	2	4	4	4	6	8	4	4	2	4
Паз қадамының қысқартылуы	2	2	1	1	1	1	2	0	1	0
Ойықтар саны Z_1	18	32	24	36	36	48	36	24	18	36

1 - нұсқаның шешуі

1. Полюс пен фазаға сәйкес келетін ойықтар саны

$$q_1 = Z_1 / (2p m_1) = 18 / (2 \cdot 3) = 3,$$

яғни полюс пен фазаға бүтін сан орама сәйкес келеді.

2. Қысқарту ескерілген орама қадамы

$$y_1 = (Z / 2p - 2) - 1 = (18 / 2) - 2 = 7 \text{ ойықтар.}$$

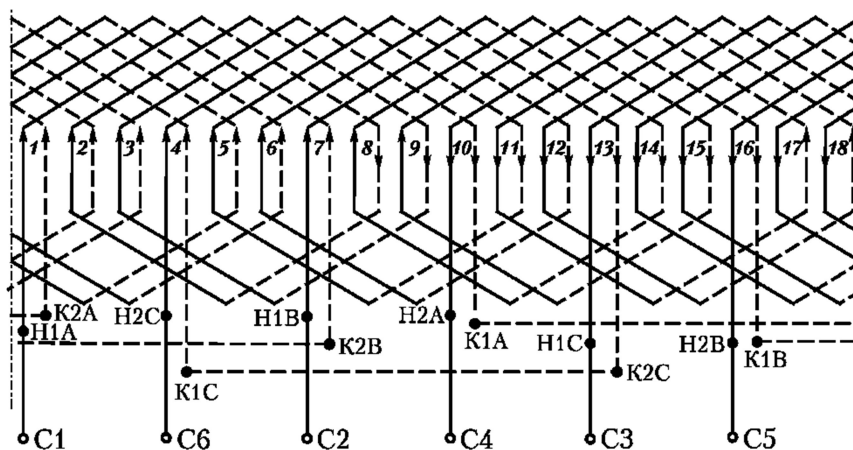
3. Ойық бұрышы

$$\gamma = 360p / Z_x = 360 \cdot 1 / 18 = 20 \text{ эл. град.}$$

4. Фазалық орамалардың басталуының арасындағы арақашықтық

$$\lambda = 120^\circ / 20 = 6 \text{ ойық.}$$

Статор орамасының толық сызбасын орындауды парақ бетін 18ойыққа белгілеуден бастайды (2.3-сурет).Әрбір ойық шекарасында ораманың ойықтық жақтарын көрсететін екі тік сызық жүргізеді. Тұтас сызық (жоғарғы қабаттың ойықтық жағы) және нүкте сызық (төменгі қабаттың ойықтық жағы). Одан кейін ораманың маңдай бөліктерін бейнелейді. Бұл мақсатта 1 -ойықтың тұтас сызығының жоғарғы шетін



2.3-сурет. Развернутая схема трехфазной двухслойной обмотки статора:

$$Z_1 = 18; 2p = 2; m_1 = 3; y_1 = 7$$

8-ойықтың нүкте сызығының жоғарғы шетімен қосады, яғни 1-ойықтан $y_1 = 7$ орама қадам қашықтықта орналасқан ойықпен байланыстырады. Сонымен бірге, (1-ойықтан шығатын) маңдай бөліктің жартысын тұтас сызықпен, ал екінші жартысын нүкте сызықпен бейнелейді. 8-ойықтың нүкте сызығының төменгі шетін 2-ойықтың тұтас сызығының төменгі шетімен қосады. Одан кейін ораманың келесі катушкасын бейнелейді, ол үшін 2-ойықтың тұтас сызығының жоғарғы шетін маңдай бөлікпен 9-ойықтың нүкте сызығының жоғарғы шетімен қосады, ал осы сызықтың төменгі шетін 3-ойықтың тұтас сызығының төменгі шетімен байланыстырады. Дәл осылай 3-ойық пен 10-ойықтың ойықтық жақтарын қосылғаннан кейін, $q_1 = 3$ катушкадан тұратын А фазалық орамасының бірінші орамалық тобын құрастыру аяқталады. Бірінші орамалық топтың басын H1A (C1 фазаның басына сәйкес келеді), ал орамалық топтың соңын K1A деп белгілейміз.

Барлығы берілген орамада $18/3 = 6$ орамалық топ бар, яғни әрбір фазалық орамада екі орамалық топтан. Екінші орамалық топты құрастыруды оның соңынан, яғни 1-ойықтың нүкте сызығының төменгі шетінен (K2A деп белгіленген) бастайды. Осы сызықтың жоғарғы шетін 12-ойықтың тұтас сызығының жоғарғы шетімен қосады (ойықтар бойынша қадамдарды $y_1 = 7$ кері ретпен санаймыз). Одан кейін 18, 11, 17 және 10-ойықтардың ойықтық жақтарын байланыстырады. 10-ойықтың тұтас сызығының төменгі шеті А фазасының екінші орамалық топтамасының басы (H2A деп белгіленген) және А фазасының фазалық орамасының соңы (C4 деп белгіленген) да болып табылады.

А фазасының басынан 1 = 6 ойыққа артқа қайтып, 7-ойықтың ойықтық жағынан В фазалық орамасының екі орамалық тобын салуды бастайды (бұл фазалық ораманың басы C2 деп белгіленген). В және С фазалық орамалардың барлық орамалық топтары салынып біткеннен кейін,

ораманың толық сызбасы алынады (2.3-суретте фазалық орамалардың барлық орамалық топтарының басы мен соңы көрсетілген).

Орамалық топтарды байланыстыру кезінде ескерген жөн: әрбір фазалық орамада бірінші орамалық топтың соңы екінші орамалық топтың соңымен қосылады, барлық бірінші орамалық топтардың бастары фазалық орамалардың басы, ал барлық екінші орамалық топтардың соңдары осы фазалық орамалардың соңы болып табылады.

Сызбаның дұрыс орындалуын тексеру үшін нұсқалармен катушкалардағы тоқ бағыттарын көрсету керек. Мысалы, 1-катушканың ойықтық жақтарындағы тоқ төменнен үстіге қарай бағытталған. Барлық нұсқаларды қойғаннан кейін, статордың барлық ойықтары $2p = 2$ полюс саны бойынша екі бөлікке бөлінгенін көреміз. Сонымен бірге, ойықтық жақтардағы 8, 9, 17 және 18-ойықтардағы тоқ қарама-қарсы бағытталған. Бұл сәйкессіздік орама қадамының қысқаруынан пайда болған. Егер кадам толық (диаметральді) болса, онда барлық ойықтардағы тоқтардың бағыттары бірдей болатын еді. Әдетте әрбір полюстік аймақтағы ойықтық жақтағы тоғының бағыты қарсы ойықтардың саны орама қадамын қысқартуға тең. Берілген жағдайда бұл сан екіге тең. Ораманың дұрыс орындалуын тексерудің өзге жолы - фазалық орамалардың бастарының арасында мен олардың соңдарының арасында бірдей қашықтықтың болуы. Берілген сызбада бұл қашықтық $1 = 6$ ойық болып табылады.

2.4-есеп. Берілген кестелер мен 2.3-есептің нәтижелерін қолдана отырып, негізгі магниттік өрістің Φ өлшемін анықтау, егер «жұлдыз» етіп қосылған ораманың негізгі гармоникасының ЭҚК E_d , тоқ жиілігі 50 Гц, катушкадағы орамдар саны m_k болса (2.3-кесте).

2.3 - кесте

Параметр	Нұсқалар									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$E_d, В$	220	660	380	660	220	380	660	220	380	660
w_k	2	4	3	4	2	3	4	1	2	4

1 - нұсқаның шешуі

1. Фазалық ораманың ЭҚК

$$E_1 = E_d / 1,73 = 220 / 1,73 = 127 В.$$

2. Тізбектей қосылған фазалық орамадағы орамдар саны

$$w_I = Z_1 w_R / m_I = 18 \cdot 2/3 = 12 \text{ орам.}$$

3. Ойықтар бойынша ораманың салыстырмалы қадамы

$$\beta = Y_{yк} / V_I = 7/9 = 0,78 \approx 4/5.$$

4. 37-бетте келтірілген негізгі гармоника үшін қысқарту коэффициенті, $k_{y1} = 0,951$.

5. $q_1 = 3$ болғанда таралу коэффициенті $k_{p1} = 0,960$. Сәйкесінше, орамалық коэффициент

$$k_{\text{айн1}} = 0,951 \cdot 0,960 = 0,913.$$

6. Негізгі магниттік ағын

$$F = E_1 / (4,44 f_1 w_1 k_{\text{айн1}}) = 127 / (4,44 \cdot 50 \cdot 12 \cdot 0,913) = 0,052 \text{ Вб}.$$

2.5-есеп. 2.4-кестеде берілген мәліметтер бойынша мандай бөліктері екі жазықтықта орналасқан, үш фазалы бір қабат статор орамасының параметрлерін есептеп, толық сызбасын құрастыру. Орамалық топтар тізбектей жалғанған.

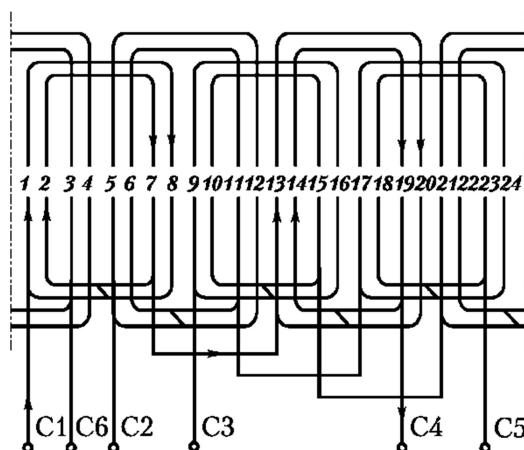
2.4-кесте

Параметр	Нұсқалар									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Z_1	24	36	54	36	18	12	24	60	48	48
$2p$	4	6	6	4	2	2	2	4	4	8

1 - нұсқаның шешуі

1. Полюс пен фазаға сәйкес ойықтар саны

$$q_1 = Z_1 / (2p m_1) = 24 / (4 \cdot 3) = 2 \text{ ойық}.$$



2.4-сурет. Үш фазалы бір қабат екі жазықтықтық ораманың толық сызбасы: $2p = 4$; $Z_1 = 24$; $m_1 = 3$; $y_{1cp} = 6$

2. Ойықтар бойынша орам қадамы (орташа мәні)

$$y_{1cp} = t = Z_1 / 2p = 24 / 4 = 6 \text{ ойық.}$$

3. Ойықтық бұрыш

$$\gamma = 360p / Z_1 = 360 \cdot 2 / 24 = 30^\circ.$$

4. Фазалық орамалардың бастарының арасындағы арақашықтық

$$120 / 30 = 4 \text{ ойық.}$$

Ораманың толық сызбасы 2.4-суретте көрсетілген.

Әрбір орамалық топта екі катушка шоғырлас орналасқан.

Бұл катушкалардың қадамдары орта қадамнан бір ойыққа өзгешеленеді: «жіңішке» катушка үшін $y_1 = 6 - 1 = 5$ ойық, «кең» катушка үшін $y_u = 6 + 1 = 7$ ойық. Әрбір фазалық орамдағы «жіңішке» және «кең» катушкалардың саны бірдей болу керек, бұл оларға бірдей электрлік кедергіні қамтамасыз етеді.

Орамалық топтардың жалпы саны 6, яғни полюстер санынан 1,5 есе артық.

АСИНХРОНДЫ ҚОЗҒАЛТҚЫШТАР

3.1. НЕГІЗГІ ТҮСІНІКТЕР

Ротордың айналмалы магниттік өрістен артта қалып отыруы асинхронды қозғалтқыштың ерекше белгісі болып табылады, оның сырғу өлшемі төмендегідей сипатталады

$$s = (n_1 - n_2)/n_1,$$

осыдан асинхронды қозғалтқыш роторының айналу жиілігі

$$n_2 = n_1(1 - s).$$

Асинхронды қозғалтқыштағы магниттік өріс магнит қозғаушы күштен пайда болады, оның өлшемі қозғалтқыштың магниттік тізбегінің барлық бөліктерінің магниттік кернеулерінің қосындысымен анықталады:

$$\Sigma F = 2F_\delta + 2F_{Zl} + 2F_{Z2} + F_{cl} + F_{c2}.$$

Статор орамының магниттеуші тоғы

$$I_{1\mu} = \frac{p\Sigma F}{0,9m_1w_1k_{o6}}.$$

Асинхронды қозғалтқыш екінші реттік орамасы (ротор орамасы) айналатын трансформаторға ұқсас. Сонымен бірге, айналмалы магниттік ағын тек E_1 ЭҚК индукцияланатын статордың орамасымен ғана емес, айналмалы статордың орамасымен де тіркеседі, онда индукцияланатын ЭҚК

$$E_{2s} = 4,44\Phi f_1 s w_2 k_{o62} = F_{2s}$$

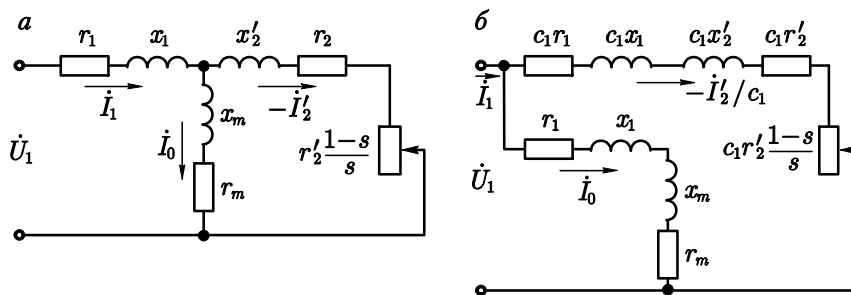
мұндағы E_2 – қозғалмайтын роторға келтірілген ЭҚК; w_2 – ротордағы орамдар саны, қысқа тұйықталған ротор үшін $w_2 = 0,5$, ал орамалық коэффициент $k_{o62} = 1$.

Асинхронды қозғалтқышқа электрикалық алмастыру сызбасы (3.1-сурет) мен ЭҚК пен тоқ теңдеу жүйелері сәйкес келеді

$$U_1 = (-E_1) + jI_1x_1 + I_1r_1$$

$$E'_2 = jI'_2x'_2 + I'_2r'_2 + I'_2r'_2(1-s)/s; I_1 = I_0 + (-I'_2).$$

Бұл теңдеулерде, трансформаторларға ұқсас, ротор орамының параметрлері статор орамына келтірілген.



3.1-сурет. Асинхронды қозғалтқышты алмастыру сызбасы:

а – Т тәрізді; б – Г тәрізді

Асинхронды қозғалтқыштың негізгі теңдеулеріне векторлық диаграмма сәйкес келеді (3.2-сурет).

Асинхронды қозғалтқыштың ротор орамына келтірілген токтың мәні келесі өрнекпен анықталады

$$I'_2 = \frac{U_1}{\sqrt{(r_1 + r'_2/s)^2 + (x_1 + x'_2)^2}}$$

мұндағы r_1 – статор орамының активті кедергісі; r_2 – ротордың активті кедергісінің келтірілген мәні; x_1 – статор орамының индуктивті кедергісі; x_2 – ротордың индуктивті кедергісінің келтірілген мәні.

Қозғалтқыштың номиналды режимде жұмсайтын қуаты,

$$P_{1ном} = P_{ном} / \eta_{ном}.$$

Қозғалтқыштың номиналды жүктеме кезінде желіден тұтынатын тоғы

$$I_{1ном} = P_{1ном} / (3U_1 \cos \varphi_1).$$

Номиналды режимдегі қозғалтқыштың жалпы шығындары

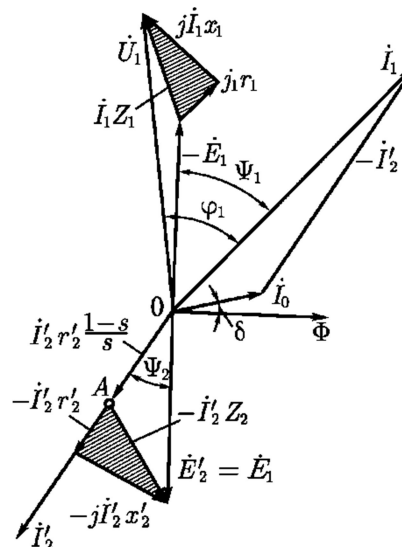
$$\Sigma P = P_{1ном} - P_{ном}.$$

Номиналды режимдегі қозғалтқыштың орамдарын қыздыру шығыны

$$P_3 = P_{31} + P_{32} = 3I_{2ном}^2 r_k.$$

Номиналды жүктеме кезіндегі қосымша шығындар

$$P_{кос} = 0,005 P_{1ном}.$$



3.2-сурет. Асинхронды қозғалтқыштың векторлық диаграммасы

Тұрақты шығындар

$$P_{\text{тұр}} = \Sigma P - P_{\text{э}} - P_{\text{қос}}$$

Қозғалтқыштың ПӘК пайдалы қуаттың P_2 тұтынылатын қуатқа P_1 қатынасымен анықталады

$$\eta = P_2/P_1 = 1 - \Sigma P/P_1.$$

Номиналды жүктеме кезіндегі қозғалтқыштың пайдалы иінкүші (біліктегі иінкүш)

$$M_{2\text{ном}} = 9,55 P_{\text{ном}}/n_{\text{ном}}.$$

Асинхронды қозғалтқыштың электрмагниттік иінкүші

$$M = \frac{m_1 U_1^2 r'_2 p}{4\pi f_1 s [(r_1 + r'_2/s)^2 + (x_1 + x'_2)^2]}$$

Иінкүштің максималды мәні

$$M_{\text{max}} = \frac{m_1 U_1^2 r'_2 p}{4\pi f_1 [\pm r_1 + \sqrt{r_1^2 + (x_1 + x_2)^2}]}.$$

Осы иінкүшке сәйкес келетін критикалық сырғу (ықшамдалған өрнек)

$$S_{\text{кр}} = \pm r'_2 / (x_1 + x'_2).$$

Асинхронды қозғалтқыштың қосылу иінкүші

$$M_n = \frac{m_1 U_1^2 r'_2 p}{2\pi f_1 [(r_1 + r'_2)^2 + (x_1 + x'_2)^2]}$$

Графикалық түрде көрсетілген электрмагниттік иінкүштің сырғудан тәуелділігі асинхронды қозғалтқыштың *механикалық сипаттамасы* деп аталады (3.3-сурет). Асинхронды қозғалтқыштың электрмагниттік иінкүшін есептеуге арналған жеңілдетілген формула (Клосс формуласы) механикалық сипаттама құрастыруға қолданыла алады.

$$M = \frac{2M_{\text{max}}}{s/s_{\text{кр}} + s_{\text{кр}}/s}.$$

Сонымен бірге, критикалық сырғуды келесі формула бойынша анықтайды

$$s_{\text{кр}} = s_{\text{ном}} \left(\lambda_m + \sqrt{\lambda_m^2 - 1} \right)$$

мұндағы $\lambda_m = M_{\text{max}}/M_{\text{ном}}$ – қозғалтқыштың асқын жүктемелік қабілеті.

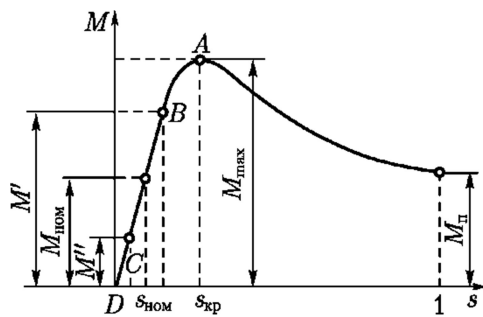


Рис. 3.3. Механическая характеристика механикалық сипаттамасы

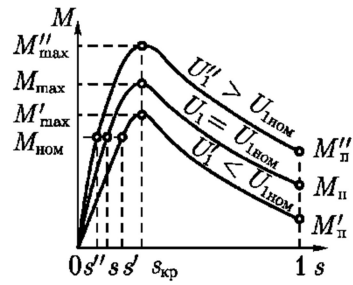


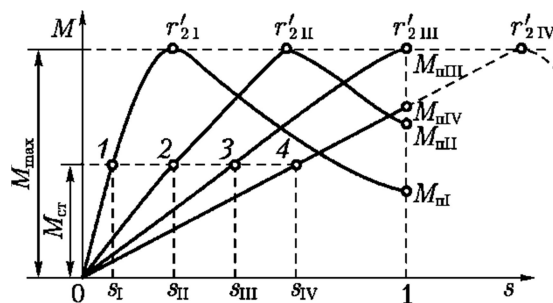
Рис. 3.4. Влияние напряжения козғалтқыштың механикалық сипаттамасына әсері

Механикалық сипаттаманы есептеу кезінде сырғу мәндері критикалдықтан асса, есептеу дәлдігі азаяды. Бұл асинхронды козғалтқыштың алмастыру сызбасының параметрлерінің статор мен ротор тістерінің магниттік қанығуы мен ротор орамындағы тоқ жиілігінің артуынан пайда болған өзгерісімен түсіндіріледі.

Асинхронды козғалтқыштардың механикалық сипаттамасының формасы едәуір деңгейде статор орамына әкелінген кернеу U_1 (3.4-сурет) мен ротор орамының активті кедергі r_2 (3.5-сурет) мәндеріне тәуелді.

Тізімдемелерде асинхронды козғалтқыштарға берілетін мәліметтер арасында әдетте алмастыру сызбасының параметрлері туралы ақпарат болмайды, бұл электромагниттік иіңкүшті формула арқылы есептеуді қиындатады. Сондықтан электромагниттік иіңкүшті есептеу үшін келесі формуланы қолданады

$$M = 9,55 m_1 I_2'^2 r_2' / (n_1 s).$$



3.5-сурет. Кедергінің r_2' асинхронды козғалтқыштың механикалық сипаттамасына әсері

Асинхронды қозғалтқышты пайдалану қасиеттері оның жұмыс сипаттамасымен анықталады: n_2 айналу жиілігіне, M_2 біліктегі иінкүшке, ПӘК және қуат коэффициенті $\cos \varphi_1$ қозғалтқышты P_2 пайдалы жүктеуге байланысты.

Асинхронды қозғалтқыштың жұмыс сипаттамасын анықтау үшін параметрлерін есептеу кезінде негізінде шеңбер диаграмманы құрастыру жататын графикалық әдіс, не аналитикалық әдіс қолданылады.

Жұмыс сипаттамасын есептеу әдістерінің кез келгенін орындаудың негізі ретінде бос жүріс пен қысқа тұйықталу тәжірибелерінің нәтижелері алынады. Егер де қозғалтқыш жобаланып жатса, онда бұл мәліметтер оны есептеу барысында алынады.

Статор тізбектері мен фазалық ротордағы қосу тоғы мен айналу жиілігін реттеу үшін, резисторлардың кедергілерін $r_{\text{қос}}$ есептеу кезінде келесі принцип қолданылады: берілген нақты асинхронды қозғалтқыш үшін s сырғу осы қозғалтқыштың ротор тізбегінің активті кедергісіне пропорционалды. Осыған сәйкес тендеу:

$$(r_2 + r_{\text{қос}})/s = r_2/s_{\text{ном}},$$

Мұндағы r_2 – ротор орамасының жұмыстық температура кезіндегі активті кедергісі; s – кедергісі $r_{\text{қос}}$ резисторды ротор тізбегіне қосқан кездегі сырғу.

Осы өрнектен, берілген (номиналды) жүктеме кезіндегі берілген жоғарылатылған сырғуды алуға қажетті, қосымша резистордың активті кедергісін $r_{\text{қос}}$ есептеуге арналған формуланы аламыз:

$$r_{\text{қос}} = r_2(s/s_{\text{ном}} - 1).$$

Іске қосу реостатын есептеудің екі әдісі бар: графикалық және аналитикалық.

Графикалық әдіс дәлірек, бірақ қозғалтқыштың табиғи механикалық сипаттамасы мен іске қосу диаграммасын құрастыруды талап етеді, ал бұл үлкен көлемді графикалық жұмыс атқарумен байланысты.

Іске қосу реостатын есептеудің *аналитикалық әдісі* қарапайымырақ, бірақ дәлдігі азырақ. Бұл әдістің негізінде асинхронды қозғалтқыштың табиғи механикалық сипаттамасының жұмыс бөлігінің тура болу жорамалымен байланысты. Бірақ критикалық мәнге жақын сырғу кезде, бұл жорамал елеулі қателік тудырады, ол бастапқы іске қосу иінкүші M_1 максималды иінкүшке M_{max} жақындаған сайын айқынырақ болады. Сондықтан, аналитикалық есептеу әдісі бастапқы іске қосу мәні тек $M_1 \leq 0,7 M_{\text{max}}$ болғанда ғана қолданылады.

Іске қосу реостатының сатыларындағы резисторлардың кедергісі:

$$\text{үшінші } r_{\text{қос}3} = r_2(\lambda_m - 1);$$

$$\text{екінші } r_{\text{қос}2} = r_{\text{қос}3} \lambda_{\text{м}};$$

$$\text{бірінші } r_{\text{қос}1} = r_{\text{қос}2} \lambda_{\text{м}};$$

Мұндағы r_2 – асинхронды қозғалтқыштың роторының фазалық орамасының активті кедергісі,

$$r_2 = [E_2 s_{\text{ном}} / (\sqrt{3} I_{2\text{ном}})],$$

Мұндағы E_2 және $I_{2\text{ном}}$ – таңдалынған қозғалтқыштың типтік өлшемі туралы тізімдемедегі мәліметтер.

Іске қосу реостатының оның сатыларындағы кедергілері:

$$\text{біріншінікі}^{\text{R}} \text{пР1 } r_{\text{қос}1} + r_{\text{қос}2} + r_{\text{қос}3};$$

$$\text{екіншінікі}^{\text{R}} \text{пР2} = r_{\text{қос}2} + r_{\text{қос}3};$$

$$\text{үшіншінікі}^{\text{R}} \text{пР3} = r_{\text{қос}3};$$

Қысқа тұйықталған роторы бар асинхронды қозғалтқыштағы іске қосу тоғын шектеу үшін іске қосу тоғын шектейтін арнайы қосу үлгісін қолданады. Бұл әдістердің барлығы статор орамасына әкелінетін кернеуді азайтуға негізделген. Статордың резисторлары мен дроссельдерін желілік сымдарға қосуды қамтитын үлгілер ең көп қолданысқа ие (3.14, бсуретті қарау). Осы элементтердің іске қосу тоғын берілген шамаға, сәйкесінше оның табиғи шамасына қатысты азайтуға қажетті кедергі келесі формулалар бойынша есептеледі:

активті кедергісі бар резисторлар үшін

$$R_n = \sqrt{(Z_k / \alpha_i)^2 - x_k^2 r_k}$$

дроссельдер үшін

$$x_L = \sqrt{(Z_k / \alpha_i)^2 - r_k^2 x_k}$$

Қозғалтқыштың қысқа тұйықталу режиміндегі толық кедергісі Z_R , Ом,

$$Z = U_i / I_u.$$

Мұндағы x_k және r_k – осы кедергінің индуктивті және активті құрамдас бөліктері

$$r_k = Z_k \cos \varphi_k; x_k = \sqrt{Z_k^2 - r_k^2}$$

R немесе L қосылған кездегі жасанды іске қосу индуктивті азаюы

$$M'_\Pi = \alpha_M M_\Pi$$

мұндағы

$$\alpha_M = \alpha_i^2$$

Электрлік машиналар	Айналу өсінің биіктігі, мм	
Жалпы өндірістік қолданыстағы тұрақты ток	80-200	1,22
	225-500	1,38
Жалпы өндірістік қолданыстағы асинхронды	50-132	1,22
	160-355	1,38
Пайдалану шарттары ауыр, арнайы қолданыстағы	—	1,38

Осылайша, егер M'_n жасанды іске қосу иінкүшінің өлшемін анықтайтын α_m шамасы берілсе, онда R_n және x_L сәйкес мәндерін есептеу үшін жоғарады келтірілген формулаларда α_L^2 орнына α_m шамасын қойып қолдануға болады.

Тізімдемеде келтірілген қозғалтқыштардың орамдарындағы электрлік кедергі әдетте $+20\text{ }^{\circ}\text{C}$ температураға сәйкес келеді. Бірақ қозғалтқыштың сипаттамасы мен параметрлерін есептеу кезінде олардың орамдарының кедергілерін жұмыс температурасына келтіру керек. Қазіргі стандартқа сәйкес жұмыс температурасының шамасы қозғалтқышта қолданылған электрлік ажыратудың қыздыруға төзімділік классына байланысты алынады: қыздыруға төзімділіктің В классының жұмыс температурасы $75\text{ }^{\circ}\text{C}$ тең, ал F және H класстарында $115\text{ }^{\circ}\text{C}$. Орама кедергілерін жұмыс температурасына сәйкес қайта есептеу орама кедергісінің $20\text{ }^{\circ}\text{C}$ температура кезіндегі өлшемін K_t қыздыру коэффициентіне көбейту арқылы жасалады:

$$r = r_{20}K_t.$$

Бұл коэффициенттің мәнін қозғалтқыштың қолданыс мақсаты мен оның габариттеріне (айналу өсінің биіктігіне) байланысты алады (3.1-кесте).

3.2. ЕСЕПТЕР

Асинхронды қозғалтқыштардың сырғуы, ЭҚК және тоқтары

3.1-есеп. 3.2-кестеде қысқа тұйықталған роторы бар үш фазалы асинхронды қозғалтқыштың келесі параметрлерінің мәндері берілген: негізгі магниттік ағын Φ , статор орамындағы тізбектей жалғанған орамдар саны w_1 , номинлады сырғу $s_{ном}$, қозғалмаған жағдайда ротор орамында индукцияланатын ЭҚК E_2 және номиналды сырғумен айналу кезіндегі ротор ЭҚК E_{2s} , $n_{ном}$ ротор жиілігі кезінде бұл ЭҚК жиілігі f_2 . Қуат беруші желідегі тоқ жиілігі 50 Гц. Кестеде әрбір нұсқада жетіспейтін параметр мәндерін анықтау керек.

Параметр	Нұсқалар									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
F, Вб	0,028	0,032	0,048	—	0,025	—	—	0,028	0,028	—
w _б витков	18	—	24	16	—	24	18	—	36	18
^айн1	0,95	0,96	0,96	0,98	0,98	0,96	0,95	0,95	0,98	0,98
s _{НОМ}	0,04	—	0,05	0,04	—	0,05	—	—	—	—
2 p	4	6	2	4	—	8	4	8	—	4
E _{тф} , В	—	210	—	98	110	200	—	120	—	100
E ₂ , В										
E*B	—	—	—	—	—	—	0,13	—	—	—
f ₂ , Гц	—	—	—	—	—	—	2,5	3,2	—	2,5
«ном, айн/мин	—	970	—	—	2920	—	—	—	1470	—

1 - нұсқаның шешуі

1. Статор орамының ЭҚК

$$E_{1\phi} = 4,44\Phi f_1 w_1 k_{айн1} = 4,44 \cdot 0,028 \cdot 50 \cdot 18 \cdot 0,95 = 106 \text{ В.}$$

2. Номиналды айналу жиілігі кезіндегі ротор орамының ЭҚК

$$E_{2s} = 4,44\Phi f_1 s_{ном} w_2 k_{айн2} = 4,44 \cdot 0,028 \cdot 50 \cdot 0,04 \cdot 0,5 \cdot 1 = 0,12 \text{ В.}$$

3. Қозғалмайтын ротор орамының ЭҚК

$$E_2 = E_{2s}/s_{ном} = 0,12/0,04 = 3 \text{ В.}$$

4. Номиналды сырғу кезіндегі ротор ЭҚК жиілігі

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

5. Ротордың номиналды айналу жиілігі

$$n_{ном} = n_1(1 - s_{ном}) = 1500(1 - 0,04) = 1440 \text{ айн/мин,}$$

мұндағы 50 Гц тоқ жиілігі мен $2p = 4$ кезіндегі синхронды айналу жиілігі $n_1 = 1500$ ай/мин.

3.2-есеп. Фазалық роторы бар үш фазалы асинхронды қозғалтқыштың параметрлерінің мәндері 3.3-кестеде көрсетілген: ауалық саңылаудағы магниттік индукцияның максималды мәні B_d , статор бұрғыларының диаметрі D_1 , статор білігінің ұзындығы l_1 , $0,8D_1$ тең, статор мен ротор орамдарындағы полюстер саны $2p$, статор мен ротордың фазалық орамдарындағы тізбектей жалғанған орамдар саны w_1 және w_2 ,

Параметр	Нұсқалар									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
B, T	1,5	1,35	1,50	1,40	1,45	1,50	1,38	1,45	1,50	1,38
$D, мм$	180	160	228	235	160	300	280	320	360	290
$\tau, мм$	141	130	180	190	130	250	250	270	300	250
$2p$	4	4	4	6	4	4	6	4	8	6
w_i	48	18	24	32	48	36	32	36	12	24
W_2	8	4	6	10	16	12	16	18	8	12
$s, \%$	8	12	10	6	5	12	8	10	6	8

Статор $k_{aйн1}$ мен ротордың $k_{aйн2}$ негізгі гармоникалары үшін орамалық коэффициенттер $k_{aйн1} = k_{aйн2} = 0,93$ тең. Статор орамасындағы E_1 ЭҚК мен фазалық ротордың қозғалмаған жағдайдағы E_2 және s сырғумен айналғандағы ЭҚК фазалық мәндерін, қозғалмайтын және айналмалы ротордағы ток жиілігін анықтау керек. Қуат беруші желідегі ток жиілігі $f_1 = 50$ Гц.

1 - н ұ с қ а н ы ң ш е ш у і

1. Полюстік бөліну

$$\tau = \pi D_1 / 2p = 3,14 \cdot 180 / 4 = 141 \text{ мм.}$$

2. Негізгі магниттік ағын

$$\Phi = (2/\pi) B_d l T = (2/\pi) 1,5 \cdot 0,8 \cdot 180 \cdot 10^{-3} \cdot 141 \cdot 10^{-3} = 0,019 \text{ Вб.}$$

3. Статордың фазалық орамының ЭҚК

$$E_1 = 4,44 f_1 \Phi w_1 k_{aйн1} = 4,44 \cdot 50 \cdot 0,019 \cdot 48 \cdot 0,93 = 188 \text{ В.}$$

4. Қозғалмайтын ротор орамындағы ЭҚК

$$E_2 = 4,44 f_1 \Phi w_2 k_{aйн2} = 4,44 \cdot 50 \cdot 0,019 \cdot 8 \cdot 0,93 = 31 \text{ В.}$$

5. Сырғуы 8 % айналмалы ротордағы ЭҚК

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

6. Қозғалмайтын ротордағы ток жиілігі $f_2 = f = 50$ Гц. Сырғуы 8 % айналмалы ротордағы ток жиілігі

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

3.3-есеп. 4А топтамасының қысқа тұйықталған роторы бар үш фазалық асинхронды қозғалтқыштың техникалық мәліметтері 3.4-кестеде көрсетілген. Айналу өсінің биіктігін h , $2p$ полюстер санын,

Қозғалтқыш түрі	$P_{ном}$, кВт	$n_{2ном}$, айн/мин	$\eta_{ном}$, %	$\cos \alpha_1$	$\frac{I_p}{I_{ном}}$	$\frac{M_p}{M_{ном}}$	$\frac{M_{max}}{M_{ном}}$	U_1 , В
4A100S2Y3	4,0	2880	86,5	0,89	7,5	2,0	2,5	220/380
4A160S2Y3	15,0	2940	88,0	0,91	7,0	1,4	2,2	220/380
4A200M2Y3	37,0	2945	90,0	0,89	7,5	1,4	2,5	380/660
4A112M4Y3	5,5	1445	85,5	0,85	7,0	2,0	2,2	220/380
4A132M4Y3	11,0	1460	87,5	0,87	7,5	2,2	3,0	220/380
4A180M4Y3	30,0	1470	91,0	0,89	6,5	1,4	2,3	380/660
4A200M6Y3	22,0	975	90,0	0,90	6,5	1,3	2,4	220/380
4A280M6Y3	90,0	985	92,5	0,89	5,5	1,4	2,2	380/660
4A315M8Y3	110	740	93,0	0,85	6,5	1,2	2,3	380/660
4A355M10Y3	110	590	93,0	0,83	6,0	1,0	1,8	380/660

$s_{ном}$ номиналды жүктеу кезіндегі сырғуды, $M_{ном}$ біліктегі иінкүшті, бастапқы іске қосу M_p және максималды $M_{тах}$ иінкүштерді, қозғалтқыштың желіден тұтынатын активті $P_{Iном}$ қуатын, ΣP номиналды жүктеме кезіндегі жалпы шығындарды, орамдарды «жұлдыз» және «үшбұрыш» бойынша жалғағанда қуат беру желісіндегі $I_{Iном}$ және I_n номиналды және іске қосу тоқтарын анықтау керек.

4A100S2Y3 қозғалтқыш нұсқасының шешуі.

1. Қозғалтқыштың типтік өлшемінің белгісінде 4А топтамасының белгіленуінен кейін тұрған сандар айналу өсінің биіктігін көрсетеді, яғни $h = 100$ мм.

2. Келесі тұрған сан полюстер санын көрсетеді, яғни $2p = 2$; айнымалы тоқтың жиілігі 50 Гц болғанда осы полюстер санына синхронды айналу жиілігі сәйкес келеді $n_I = 3000$ айн/мин.

3. Номиналды жүктеме кезіндегі сырғу қозғалтқыш роторының номиналды айналу жиілігімен анықталады

$$s_{ном} = (n - n_{2ном})/n_I = (3000 - 2880)/3000 = 0,04 \text{ немесе } 4\%.$$

4. Қозғалтқыш білігіндегі иінкүш (қозғалтқыштың пайдалы иінкүші), яғни номиналды айналу жиілігі 2820 айн/мин болғанда

$$M_2 = 9,55 P_{ном}/n_{2ном} = 9,55 \cdot 4000/2880 = 13,26 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

5. Бастапқы іске қосу иінкүші

$$M_n = M_{ном}(M_p/M_{ном}) = 13,26 \cdot 2 = 26,52 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

6. Қозғалтқыштың максималды (критикалық) иінкүшін оның асқын жүктемелік қабілеті бойынша анықтайды

$$M_{max} = M_{ном}(M_{max}/M_{ном}) = 13,26 \cdot 2,5 = 33,15 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

7. Статордың фазалық орамындағы номиналды ток

$$I_{ном} = P_{ном}/(m_1 U_1 \eta_{ном} \cos \alpha_{I_{ном}}) = 4000/(3 \cdot 220 \cdot 0,865 \cdot 0,89) = 7,9 \text{ А}.$$

8. Қозғалтқыштың номиналды жүктеме режимінде желіден тұтынатын активті қуаты

$$P_{I_{ном}} = P_{ном}/\eta_{ном} = 4/0,865 = 4,6 \text{ кВт}.$$

9. Номиналды жүктеме кезіндегі қозғалтқыштың жалпы шығындары

$$\Sigma P_{ном} - P_{ном} = 4,6 - 4,0 = 0,6 \text{ кВт}.$$

10. Статордың сызықтық тоғы:

статор орамдарын «жұлдызша» жалғағанда

$$P_{I\Delta Y} = I_I = 7,9 \text{ А},$$

статор орамдарын «үшбұрыш» етіп жалғағанда

$$I_{I\Delta} = 1,73 I_I = 1,73 \cdot 7,9 = 13,5 \text{ А}.$$

3.4-есеп. 3.5-кестеде үш фазалы асинхронды қозғалтқыштың келесі параметрлері көрсетілген: статор мен ротор арасындағы біржақты ауалық саңылау δ , полюстер саны $2p$, ойықтар саны Z_l , ауалық саңылаудағы максималды магниттік индукция B_δ , статор орамының бір катушкасындағы орамдар саны m_k (фазалық орамның барлық катушкалары тізбектей қосылған),

3.5 - кесте

Параметр	Нұсқалар									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
δ , мм	0,6	0,4	0,8	0,5	0,7	0,3	0,4	0,7	0,5	0,6
$2p$	6	4	8	6	6	2	4	6	4	8
Число пазов Z_l	24	24	48	36	60	18	36	48	32	54
B_δ , Тл	0,9	0,8	0,9	1,0	0,7	0,8	0,8	1,0	0,7	0,9
Число витков w_k	8	7	6	8	5	4	5	5	6	4
$k_{обл}$	0,91	0,95	0,92	0,94	0,96	0,92	0,92	0,94	0,93	0,92
k_μ	1,37	1,35	1,38	1,40	1,35	1,40	1,34	1,37	1,35	1,38
k_δ	1,30	1,35	1,36	1,38	1,34	1,37	1,35	1,36	1,34	1,38

негізгі гармоника үшін статор орамының орамалық коэффициенті $k_{a\text{йн}1}$, магниттік қанығу коэффициенті k_m , ауалық саңылау коэффициенті k_d . Берілген ауалық саңылаудағы статордың магниттеуші тоғының шамасын I_1 , сондай-ақ ауалық саңылауды берілгенге қатысты 25 % көбейту мен азайтқанда осы тоқтың шамасын қандай болатынын анықтау керек; ауалық саңылау өлшемінің магниттеуші ток өлшеміне тигізетін әсері туралы қорытынды жасау; асинхронды қозғалтқыштарда шағын ауалық саңылауларды қолдану немен шектелетін анықтау керек.

1 - н ұ с қ а н ы ң ш е ш у і

1. Ауалық саңылаудағы магниттік кернеу

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

2. Номиналды келтірілген кернеу кезіндегі босқа жүріс режимінде статор орамының бір жұп полюске түсіретін МҚК

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

3. Статордың фазалық орамында тізбектей жалғанған орамдар саны

$$w_1 = Z_1 w_k / m_1 = 24 \cdot 8/3 = 64 \text{ орам.}$$

4. Статордың магниттеуші күші

$$I_{1\mu} = p \Sigma_{\text{ном}} / (0,9 m_1 w_1 k_{a\text{йн}1}) = 3 \cdot 1540 / (0,9 \cdot 3 \cdot 64 \cdot 0,91) = 29,4 \text{ A.}$$

5. Өзге параметрлерді тұрақты етіп, ауалық саңылаудың өлшемін өзгерткен кезде магниттеуші ток саңылауға пропорционалды түрде өзгереді. Сондықтан саңылауды 25 % үлкейткен кезде, магниттеуші ток та соншаға артады, бұл қозғалтқыштың орамдардағы тоқтың квадратына пропорционалды электр шығынының артуына әкеледі. Керісінше, ауалық саңылауды азайтқан кезде магниттеуші ток та азаяды, бұл қозғалтқыштағы шығынның азаюына, яғни оның ПӘК артуына әкеледі. Осылайша, бірінші қарағанда, асинхронды қозғалтқыштың саңылауы барынша аз болуы керек деген ой қалыптасады. Алайда мұндай ой тек жартылай дұрыс, өйткені саңылауды азайтқан сайын бөлшектерді өңдеу мен мойынтіректердің сапасына деген талаптар жоғарылайды. Екеуі де қозғалтқышты дайындау құнының артуына әкеледі, ал саңылау тым кішкене болған жағдайда, айналмалы ротордың қозғалмайтын статорға тиіп кету қаупіне байланысты қозғалтқыштың сенімді жұмысын техникалық түрде қамтамасыз ету мүмкін емес. Сондықтан, қозғалтқыштың өлшемдері мен оған қойылатын талаптарға байланысты саңылаудың ең оңтайлы өлшемін асинхронды қозғалтқыштарды жобалау мен пайдалану тәжірибесіне сүйене отырып таңдайды.

3.5-есеп. Фазалық роторы бар үш фазалы асинхронды қозғалтқыш статорының фазалық орамында және роторында орамдардың $w_1 k_{a\text{йн}1}$ және $w_2 k_{a\text{йн}2}$ тиімді саны бар,

Параметр	Нұсқалар									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$w_1 k_{o61}$	18	24	—	32	—	36	—	24	—	48
$w_2 k_{aйin2}$	12	—	18	—	12	—	18	—	16	—
$E_1, В$										
$E_2, В$	—	93	—	105	—	104	—	98	—	110
$E_{2s}, В$	—	5,58	6,5	5,25	5,8	—	4,0	5,8	4,6	—
δ	0,05	—	0,04	—	0,07	0,05	0,03	—	0,05	0,04

статордың фазалық орамының ЭҚК $E_1 = 0,95 U_1$, қозғалмайтын ротордың фазалық орамының ЭҚК E_2 , ал сырғумен айналмалыныкі E_{2s} тең. 3.6-кестеде келтірілген параметрлердің мәндерін қолдана отырып, көрсетілмеген мәндерді анықтау, егер қозғалтқышты қуат беру кернеуі $U_1 = 220/380 В$ болса.

1 - н ұ с қ а н ы ң ш е ш у і

1. Статор орамының фазасының ЭҚК

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

2. ЭҚК бойынша трансформация коэффициенті

$$k_e = w_1 k_{o61} / w_2 k_{o62} = 18/12 = 1,5.$$

3. Қозғалмайтын ротордың фазалық орамасының ЭҚК

$$E_2 = E_1 / k_e = 209 / 1,5 = 139 В.$$

4. Айналмалы ротордың фазалық орамының ЭҚК

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

Шығындар мен ПӘК, электрмагниттік иінкүш, механикалық сипаттама

3.6-есеп. Үш фазалы асинхронды қозғалтқыш кернеуі 380 В, жиілігі 50 Гц, статор орамасы «жұлдыз» етіп жалғанған желіге қосылған. Қозғалтқыш білігіндегі статикалық жүктемелік иінкүш M_c , қозғалтқыштың пайдалы қуаты $P_{ном}$, желіден тұтынылатын қуат $P_{1ном}$, ПӘК $\eta_{ном}$, қуат коэффициенті $\cos \varphi$, статордың фазалық орамасындағы тоқ өлшемі $I_{1ном}$, полюстер саны $2p$, сырғуыс s . Аталып өткен параметрлердің кейбіреулері 3.7-кестеде көрсетілген. Жетіспейтін параметрлердің мәндерін анықтау керек.

Параметр	Нұскалар					
	1	2	3	4	5	6
$P_{ном}, кВт$	—	12	—	15	22	—
$P_{Iном}, кВт$	—	14,6	—	—	27,8	35
$\eta_{ном}, \%$	82	—	85	89	—	90
$\cos\varphi_1$	0,80	0,78	0,80	—	0,78	—
$I_{Iном}, А$	—	—	18	30	—	62
$M_c, Н \cdot м$	180	—	105	—	145	—
$s_{ном}, \%$	4	3,5	—	3	—	3
$2p$	6	4	—	4	4	6

1 - нұсқаның шешуі

1. Номиналды айналу жиілігі

$$n_{ном} = n_1(1 - s_{ном}) = 1000(1 - 0,04) = 960 \text{ айн/мин.}$$

2. Қозғалтқыштың пайдалы қуаты

$$P_{ном} = 0,105 M_c n_{ном} = 0,105 \cdot 180 \cdot 960 = 18\,144 \text{ Вт.}$$

3. Қозғалтқыш тұтынатын қуат

$$P_{Iном} = P_{ном} / \eta_{ном} = 18\,144 / 0,82 = 22\,126 \text{ Вт.}$$

4. Қозғалтқыш тұтынатын статор тоғы

$$I_{Iном} = P_{Iном} / (m_1 U_1 \cos\varphi_1) = 22\,126 / (3 \cdot 220 \cdot 0,8) = 41,9 \text{ А.}$$

3.7-есеп. Полус саны $2p = 4$ тең үш фазалы асинхронды қозғалтқыш кернеуі 380 В, жиілігі 50 Гц, статор орамы «үшбұрыш» бойынша жалғанған желіге қосылған. 3.8-кестеде

3.8-кесте

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

қозғалтқыштың номиналды жүктемесіне сәйкес келетін параметрлер көрсетілген: қозғалтқыш қуаты $P_{ном}$, ПӘК $\eta_{ном}$, қуат коэффициенті $\cos\phi_1$. Жүктеме $P_2 = 0,85P_{ном}$ болғанда қозғалтқыштың ПӘК ең үлкен мәнге ие $\eta_{max} = 1,03\eta_{ном}$. Номиналды жүктеме режимі үшін қозғалтқыштың барлық өзге шығын түрлерін анықтау керек.

1 - н ұ с қ а н ы ң ш е ш у і

1. ПӘК-тің ең үлкен мәні

$$\eta_{max} = 1,03\eta_{ном} = 1,03 \cdot 0,81 = 0,834\%.$$

2. Осы ПӘК кезіндегі қозғалтқыш жүктемесі

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

3. η_{max} кезінде тұтынылатын қуат

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

4. η_{max} кезіндегі жалпы шығындар

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

5. Қозғалтқыштың тұрақты шығындары

$$P_{тұр} = P_m + P_{мех} = 0,5 \Sigma P = 0,5 \cdot 570 = 285 \text{ Вт}.$$

6. Номиналды режимде тұтынылатын қуат

$$P_{Iном} = P_{ном} / \eta_{ном} = 3,0 / 0,81 = 3,7 \text{ кВт}.$$

7. Номиналды режимдегі жалпы шығындар

$$\Sigma P_{ном} = P_{Iном} - P_{ном} = 3,7 - 3,0 = 0,7 \text{ кВт} = 700 \text{ Вт}.$$

8. Номиналды режимдегі айнымалы шығындар

$$P_{айн} = P_{\Sigma} + P_{қос} = \Sigma P_{ном} - P_{тұр} = 700 - 285 = 415 \text{ Вт}.$$

9. Бос жүріс режиміндегі иінкүш

$$M_0 = 9,55 P_{тұр} / \pi_1 = 9,55 \cdot 285 / 1500 = 1,8 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

10. Номиналды айналу жиілігі

$$n_{ном} = n_1 (1 - s_{ном}) = 1500 (1 - 0,055) = 1417 \text{ айн/мин}.$$

11. Қозғалтқыш білігіндегі номиналды жүктеме кезіндегі пайдалы иінкүш

$$M_2 = 9,55 P_{ном} / n_{ном} = 9,55 \cdot 3000 / 1417 = 20,2 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

12. Номиналды жүктеме кезіндегі электрмагниттік иінкүш

$$M_{ном} = M_2 + M_0 = 20,2 + 1,8 = 22 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

13. Электрмагниттік қуаттың номиналды мәні

$$P_{эм} = 0,105 M_{ном} n_1 = 0,105 \cdot 22 \cdot 1500 = 3465 \text{ Вт}.$$

14. Электрические потери в обмотке ротора

$$P_{\Sigma 2} = s_{\text{ном}} P_{\Sigma \text{м}} = 0,055 \cdot 3465 = 190 \text{ Вт.}$$

15. Қосымша шығындар

$$P_{\text{кос}} = 0,005 P_{\text{ном}} = 0,005 \cdot 3700 = 18 \text{ Вт.}$$

16. Номиналды режимдегі электрлік шығындар

$$P_{\Sigma} = P_{\text{айн}} - P_{\text{кос}} = 415 - 18 = 397 \text{ Вт,}$$

17. Статор орамындағы электрлік шығындар

$$P_{\Sigma 1} = P_{\Sigma} - P_{\Sigma 2} = 397 - 190 = 207 \text{ Вт.}$$

18. Тексеру:

$$\begin{aligned} \Sigma P_{\text{ном}} &= P_{\text{тұр}} + P_{\Sigma 1} + P_{\Sigma 2} + P_{\text{кос}} = 285 + 207 + 190 + 18 = \\ &= 700 \text{ Вт (7 п. қарау).} \end{aligned}$$

3.8-есеп. 3.9-кестеде 4АК топтамасының фазалық роторы бар үш фазалы асинхронды қозғалтқыштың техникалық мәліметтері көрсетілген. Қозғалтқышты номиналды жүктеу кезіндегі барлық шығын түрлерін анықтау керек. Жеткізу кернеуі 660 В, статор орамы «жұлдыз» етіп жалғанған; тоқ жиілігі 50 Гц; іске қосу тоғының еселігі $\lambda = 5,7$; қысқа тұйықталу қуатының коэффициенті $\cos \phi_k = 0,5 \cos j$

3.9 - к е с т е

Қозғалтқыш түрі	$P_{\text{ном}}$, кВт	$\eta_{\text{ном}}$, %	$\cos \phi_1$	$s_{\text{ном}}$, %	$\frac{M_{\text{max}}}{M_{\text{ном}}}$
Синхронды айналу жиілігі 1500 айн/мин					
4AK160S4Y3	11	86,5	0,86	5	3
4AK160M4Y3	14	88,5	0,87	4	3,5
4AK180M4Y3	18	89	0,88	3,5	4
4AK200M4Y3	22	90	0,87	2,5	4
4AK200L4y3	30	90,5	0,87	2,5	4
4AK225M4Y3	37	90	0,87	3,5	3
4AK250SA4y3	45	91	0,88	3	3
4AK250SB4y3	55	90,5	0,9	3	3
4AK250M4Y3	71	90,5	0,86	2,5	3
Синхронды айналу жиілігі 1000 айн/мин					
4AK160S6Y3	7,5	82,5	0,77	5	3,5
4AK160M6Y3	10	84,5	0,76	4,5	3,8

4AK160M6У3 нұсқасының шешуі.

1. Қозғалтқыштың номиналды режимде тұтынатын қуаты

$$P_{Iном} = P_{ном}/\eta_{ном} = 10/0,845 = 11,8 \text{ кВт}.$$

2. Қозғалтқыштың номиналды тоғы

$$I_{Iном} = P_{Iном}/(m_1 U_1 \cos\varphi_1) = 11\,800/(3 \cdot 380 \cdot 0,76) = 13,6 \text{ А}.$$

3. Жалпы шығындар

$$\Sigma P = P_{Iном} - P_{ном} = 11,8 - 10 = 1,8 \text{ кВт}.$$

4. Қозғалтқыштың тура қосылған кездегі іске қосу тоғы

$$I_{In} = I_{Iном} \lambda_i = 13,6 \cdot 5,7 = 77,9 \text{ А}.$$

5. Қозғалтқыштың қысқа тұйықталу кедергісі

$$z_k = U_1/I_{In} = 380/77,9 = 4,88 \text{ Ом}.$$

6. Осы кедергінің активті құрамдас бөлігі

$$r_k = z_k \cos\varphi_k = 4,88 \cdot 0,38 = 1,85 \text{ Ом},$$

мұндағы $\cos\varphi_k = 0,5 \cos\varphi_1 = 0,5 \cdot 0,76 = 0,38$.

7. Статор мен ротор орамдарындағы номиналды режимдегі электрлік шығындар

$$P_{\Sigma} = 3 I_{Iном}^2 r_k = 3 \cdot 13,6^2 \cdot 1,85 = 1026 \text{ Вт}.$$

8. Қосымша шығындар

$$P_{қос} = 0,005 \cdot P_{Iном} = 0,005 \cdot 11\,800 = 59 \text{ Вт}.$$

9. Номиналды жүктеме режиміндегі айнымалы шығындар

$$P_{айн} = P_{\Sigma} + P_{қос} = 1026 + 59 = 1085 \text{ Вт}.$$

10. Тұрақты шығындар (магниттік және механикалық)

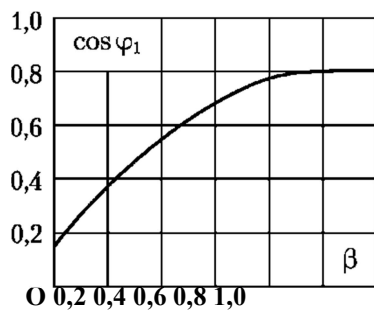
$$P_m + P_{мех} = \Sigma P - P_{\Sigma} - P_{қос} = 1800 - 1026 - 59 = 715 \text{ Вт}.$$

3.9-есеп. 3.8-есептің берілгені мен нәтижелерін қолдана отырып, қозғалтқыштың жүктеме коэффициенті $\beta = I/I_{ном} = 0,25; 0,50; 0,75$ және 1,10 мәндеріне сәйкес ПЭК өлшемдерін анықтау және $\eta = f(P_2/P_{ном})$ графигін сызу. Қуат коэффициентінің $\cos\varphi_1$ шамаларын анықтау үшін 3.6-суреттегі графикті қолдану керек, ал $\beta = 1,0$ және 1,1 мәндері үшін қозғалтқыштың техникалық мәліметтерінің кестесінде номиналды жүктемеге сәйкес өлшемдерді алу керек.

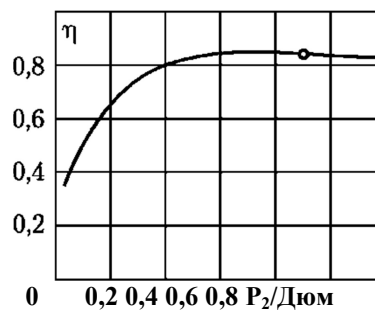
4AK160M6У3 қозғалтқышы нұсқасының шешуі (3.9-кестені қарау).

Тұрақты шығындар $P_{тұр} = P_m + P_{мех} = 521 \text{ Вт}$ жүктемеге тәуелді емес, ал $P_{айн} = P_{\Sigma} + P_{қос}$ айнымалы шығындар b^2 пропорционал.

Төменде $\beta = 0,5$ жүктеме коэффициенті үшін параметрлердің есептеулері келтірілген.



3.6-сурет. $\cos \varphi_1 = f(\beta)$ графигі



3.7-сурет. $\eta = f(P_2/P_{ном})$ тәуелділігі

1. Статор орамасындағы ток

$$I_1 = 0,5/I_{ном} = 0,5 \cdot 13,6 = 6,8 \text{ A.}$$

2. 3.6-суреттегі график бойынша $\beta = 0,5$ болғандағы қуат коэффициенті

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

3. Қозғалтқыш тұтынатын қуат

$$P_1 = 3 U_1 I_1 \cos \varphi_1 = 3 \cdot 380 \cdot 6,8 \cdot 0,6 = 4650 \text{ Вт.}$$

4. Айнымалы шығындар

$$P_{айн} = 1085 \cdot \beta^2 = 1085 \cdot 0,5^2 = 271 \text{ Вт.}$$

5. $\beta = 0,5$ болғандағы жалпы шығындар

$$\Sigma P = P_{тұр} + P_{айн} = 715 + 271 = 986 \text{ Вт.}$$

3.10-кесте

Параметр	Параметрлердің мәндері				
β	0,25	0,5	0,75	1,0	1,1
β^2	0,0625	0,25	0,56	1,0	1,21
$P_{тұр}, \text{ Вт}$	715	715	715	715	715
$\cos \varphi_1$	0,4	0,6	0,74	0,76	0,76
$\Sigma P, \text{ Вт}$	780	986	1298	1756	1975
$I_{ном}, \text{ А}$	3,4	6,8	10,2	13,6	15
$P_{айн}, \text{ Вт}$	65	271	583	1041	1260
$P_1, \text{ Вт}$	1506	4650	8560	11 756	12 902
$P_2, \text{ Вт}$	726	3631	7262	10 000	10 927
η	0,48	0,79	0,88	0,850	0,846
$P_2/P_{ном}$	0,07	0,36	0,73	1,0	1,09

6. $\beta = 0,5$ болғандағы пайдалы қуат

$$P_2 = P_1 - \Sigma P = 4650 - 986 = 3664 \text{ Вт.}$$

7. $\beta = 0,5$ болғандағы қозғалтқыш ПӘК

$$\eta = P_2/P_1 = 3664/4650 = 0,787 \text{ немесе } 78,7\%.$$

8. Қуаттардың қатынасы $P_2/P_{ном} = 3,664/10 = 0,37$. Жүктеме коэффициентінің барлық мәндері бойынша есептеу нәтижелері 3.10-кестеде көрсетілген, ал 3.7-суретте $\eta = f(P_2/P_{ном})$ графигі бейнеленген.

3.10-есеп. Фазалық роторы бар және полюстер саны $2p$ тең үш фазалы асинхронды қозғалтқыш кернеуі $U_{1л} = 380 \text{ В}$, жиілігі, $f_1 = 50 \text{ Гц}$, статор орамы «жұлдыз» етіліп жалғанған желіге қосылған. Қозғалмайтын ротордың түйіспелік сақинасында өлшенген, ротордың бос жүріс режиміндегі ЭҚК E_{20} . Статор мен ротордың орамаларының кедергілері r_1 және r_2 және x_2 сәйкесінше (3.11-кесте). Анықтау керек: номиналды жүктеме кезіндегі ротордың айналу жиілігін $n_{ном}$, номиналды режимдегі электрмагниттік иіңкүшті $M_{ном}$, асқын жүктемелік қабілет пен қозғалтқыштың номиналды қуатын $P_{ном}$. Механикалық шығындары $P_{мех} = 3P_{кос}$ деп алу.

1 - н ұ с қ а н ы ң ш е ш у і

1. Ротор тізбегіндегі келтірілген кедергілердің мәндері

$$r'_2 = r_2 k_e^2 = 0,044 \cdot 1,34^2 = 0,08 \text{ Ом};$$

$$x'_2 = x_2 k_e^2 = 0,089 \cdot 1,34^2 = 0,16 \text{ Ом},$$

мұндағы k_e – статор мен қозғалмайтын ротор орамалары арасындағы трансформация коэффициенті

$$k_e = 0,95 \cdot U_{1л}/E_{20} = 0,95 \cdot 380/270 = 1,34;$$

фазалық роторы бар қозғалтқыштарда $k_e = k_r$.

3.11-кесте

Параметр	Нұсқалар				
	1	2	3	4	5
$r_1, \text{Ом}$	0,21	0,04	0,065	0,035	0,055
$x_1, \text{Ом}$	0,20	0,09	0,11	0,073	0,16
$r_2, \text{Ом}$	0,044	0,031	0,027	0,020	0,033
$x_2, \text{Ом}$	0,089	0,082	0,07	0,10	0,082
$E_{20}, \text{В}$	270	360	290	250	267
$2p$	8	10	10	10	10
$s_{ном}$	0,04	0,03	0,035	0,03	0,035

2. Номиналды жүктеме кезіндегі ротор тізбегіне келтірілген тоқ мәні

$$I'_2 = \frac{U_1}{\sqrt{(r_1 + r'_{2/s_{ном}})^2 (x_1 + x'_{2})^2}} =$$

$$= \frac{220}{\sqrt{(0,21 + 0,08/0,04)^2 + (0,20 + 0,16)^2}} = 98,4$$

3. Полюстер саны $2p = 8$, тоқ жиілігі 50 Гц және номиналды сырғу $s_{ном} = 0,04$ болғанда номиналды айналу жиілігі

$$n_{ном} = 750(1 - 0,04) = 720 \text{ айн/мин.}$$

4. Қозғалтқыштың номиналды режимдегі электрмагниттік иінкүші

$$M_{ном} = \frac{m_1 U_1^2 r'_{2p}}{2\pi f_1 s [(r_1 + r'_{2/s_{ном}})^2 + (x_1 + x'_{2})^2]} =$$

$$= \frac{3 \cdot 220^2 \cdot 0,08 \cdot 4}{2 \cdot 3,14 \cdot 50 \cdot 0,04 [(0,21 + 0,08/0,04)^2 + (0,20 + 0,16)^2]} = 738 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

5. Қозғалтқыштың максималды иінкүші

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

$$= \frac{3 \cdot 220^2 \cdot 4}{4 \cdot 3,14 \cdot 50 [0,21 + \sqrt{0,21^2 + (0,20 + 0,16)^2}]} = 1476 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

6. Қозғалтқыштың асқын жүктемелік қабілеті

$$\lambda_{.м} = 1476/738 = 2.$$

7. Қозғалтқышты номиналды жүктеу кезіндегі электрмагниттік қуат

$$P_{эм} = 0,105 M_{ном} n_1 = 0,105 \cdot 738 \cdot 750 = 58 \, 117 \text{ Вт.}$$

8. Номиналды жүктеме кезіндегі ротор орамасындағы электрлік шығындардың қуаты

$$P_{э2} = m_1 I_2'^2 r'_{2} = 3 \cdot 98^2 \cdot 0,08 = 2304 \text{ Вт.}$$

9. Номиналды жүктеме кезіндегі қосымша шығындар

$$P_{қос} \approx 0,005 P_{эм} = 0,005 \cdot 58 \, 117 = 290 \text{ Вт.}$$

10. Механикалық шығындар

$$P_{мех} = 2 P_{қос} = 2 \cdot 290 = 580 \text{ Вт.}$$

11. Қозғалтқыштың номиналды режимдегі пайдалы қуаты

$$P_{ном} = P_{эм} - P_{э2} - P_{қос} - P_{мех} = 58\,117 - 2304 - 290 - 580 = 54\,943 \text{ Вт, яғни}$$

$$P_{ном} \approx 55 \text{ кВт.}$$

3.11-есеп. Қысқа тұйықталған роторлы үш фазалы асинхронды қозғалтқыш кернеуі $U_{1л} = 380 \text{ В}$, жиілігі $f = 50 \text{ Гц}$ айнымалы ток желісінен жұмыс істейді. Номиналды жүктеме кезінде қозғалтқыш роторы $n_{ном}$ жиілікпен айналады; қозғалтқыштың асқын жүктемелік қабілеті λ_m , ал іске қосу иінкүшінің еселігі $M_n/M_{ном}$ (3.12-кесте). Егер номиналды режимдегі электрмагниттік қуат $P_{эм}$ тең болса, қозғалтқыштың параметрлерін есептеп, оның механикалық сипаттамасын $M^* = f(s)$ салыстырмалы бірліктерінде құрастыру. Қозғалтқыш біліктегі номиналды иінкүшпен іске қосылу қабілетін жоғалту үшін кернеуді номиналдыға қатысты қаншалықты төмендету керек екендігін және ол өзінің асқын жүктемелік қабілетін жоғалту үшін кернеуді қаншалықты төмендету керек екендігін анықтау.

3.12-кесте

Параметр	Нұсқалар									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$P_{эм}, \text{ кВт}$	7,5	15	11	4,0	15	1,1	30	3,0	7,5	37
$n_{ном}, \text{ айн/мин}$	1440	2940	960	1420	720	2920	580	1430	730	575
λ_m	2,2	1,9	2,0	2,2	2,0	1,9	1,8	2,2	1,7	1,8
$M_n/M_{ном}$	1,4	1,4	1,2	1,0	1,0	1,2	1,4	1,0	0,9	1,0
$2p$	4	2	6	4	8	2	10	4	8	10

1 - нұсқаның шешуі

Есептеуді салыстырмалы бірліктерде келесі жеңілдетілген формула бойынша жүргіземіз

$$M^* = 2/[s/s_{кр} + (s_{кр}/s)],$$

мұндағы $M^* = M/M_{max}$ – электрмагниттік иінкүштің салыстырмалы мәні.

1. Номиналды сырғу

$$s_{ном} = (n - n_{ном})/n_1 = (1500 - 1440)/1500 = 0,04.$$

2. Критикалық сырғу

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

3. Иінкүштің сырғу кезіндегі салыстырмалы мәндерін есептейміз:

$$s_{ном} = 0,04; s_{кр} = 0,17; s = 0,2; s = 0,5; s = 0,8.$$

Параметр	Параметр мәні					
s	0,04	0,17	0,2	0,5	0,8	1,0
M_*	0,445	1,0	0,98	0,61	0,4	0,64
$M, \text{H} \cdot \text{м}$	47,7	105	103	64	42	66,8

Есептеу нәтижелері 3.13-кестеде көрсетілген. Алынған мәліметтер бойынша иінкүштің нақты мәндері мен қозғалтқыштың $M_* = f(s)$ механикалық сипаттамасы құрастырылды (3.8-сурет). Иінкүштің салыстырмалы мәндік формуласы сырғудың үлкен мәндері кезінде елеулі қателік көрсететіндіктен, $s = 1,0$ сырғу мәніне сәйкес келетін іске қосу иінкүшінің өлшемін иінкүштің номиналды мәні бойынша анықтаймыз

$$M_{ном} = 9,55P_{эм}/n_1 = 9,55 \cdot 7500/1500 = 47,7 \text{ H} \cdot \text{м}.$$

Олай болса,

$$M_{II} = M_{ном} \cdot 1,4 = 47,7 \cdot 1,4 = 66,8 \text{ H} \cdot \text{м}.$$

Іске қосу иінкүшінің салыстырмалы мәні

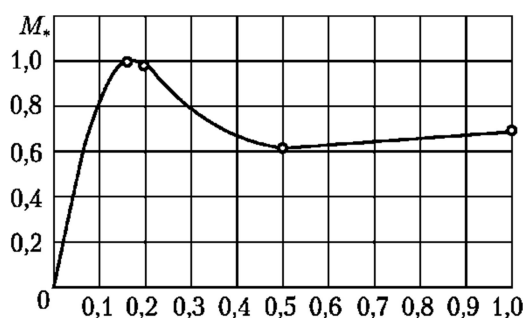
$$M_{II*} = M_{II}/M_{max} = 66,8/105 = 0,63,$$

мұндағы иінкүштің максималды мәні

$$M_{max} = M_{ном} \lambda_m = 47,7 \cdot 2,2 = 105 \text{ H} \cdot \text{м}.$$

4. Электрмагниттік иінкүштің өлшемі U_2 тура пропорционал екені белгілі. Сондықтан іске қосу иінкүшінің еселігі $M_{II}/M_{ном} = 1,4$ болғанда, іске қосу иінкүші номиналдыға тең болады, егер жеткізу кернеуі төмендегі шамаға азаятын болса

$$U'_{1л} = U_{1л}/\sqrt{1,4} = 380/1,18 = 322 \text{ В}.$$



3.8-сурет. Асинхронды қозғалтқыштың механикалық сипаттамасы

Нәтижесінде, кернеудің ары қарай, тіпті, кішкене ғана азаюы қозғалтқыштың білігіндегі номиналды жүктемелік иінкүш кезінде оның іске қосылмауына әкеледі. Ал қозғалтқыштың асқын жүктемелік қабілеті туралы айтатын болсақ, онда $\lambda_m = 2,2$ екенін ескерсек, ол желіні төмендегі шамаға дейін азайтқанда жоғалады

$$U_{1л} / \sqrt{2,2} = 380/1,48 = 257 В.$$

3.12-есеп. А2 топтамасының қысқа тұйықталған роторы бар үш фазалы асинхронды қозғалтқыш статор орамасын «жұлдыз» етіп жалғағанда жиілігі 50 Гц, кернеуі 380 В болатын желіден жұмы істейді және оның номиналды параметрлері 3.14-кестеде келтірілген: пайдалы қуат $P_{ном}$, айналу жиілігі $n_{ном}$, ПӘК $\eta_{ном}$, қуат коэффициенті $\cos\phi_{I_{ном}}$; іске қосу тоғының еселігі $I_n/I_{ном}$, іске қосу $M_n/M_{ном}$ және максималды $M_{max}/M_{ном}$ иінкүштердің еселіктері; 20 °С температура кезіндегі статордың фазалық орамасының активті кедергісі r_{L20} . Параметрлерді есептеп, қозғалтқыштың $n_2 = f(M)$ механикалық сипаттамасын құрастыру керек. Қысқа тұйықталу режиміндегі қуат коэффициентінің мәнін төмендегідей алу

$$\cos\phi_K = 0,5 \cos\phi_{I_{ном}}.$$

А2-71-4 қозғалтқышы нұсқасының шешуі.

1. Қозғалтқыштың номиналды жүктеме режимінде тұтынатын қуаты

$$P_{I_{ном}} = P_{ном} / \eta_{ном} = 22/0,9 = 24,4 кВт.$$

3.14-кесте

Қозғалтқыш түрі	$P_{ном}$, кВт	$n_{ном}$, айн/мин	$\eta_{ном}$, %	$\cos\phi_{I_{ном}}$	$I_n/I_{ном}$	$\frac{M_n}{M_{ном}}$	$\frac{M_{max}}{M_{ном}}$	r_{L20} , Ом 20 °С болғанда
A2-61-2	17	2900	88,0	0,88	7	1,2	2,2	0,1900
A2-62-2	22	2900	89,0	0,88	7	1,1	2,2	0,1540
A2-71-2	30	2900	90,0	0,90	7	1,1	2,2	0,1170
A2-72-2	40	2900	90,5	0,90	7	1,0	2,2	0,0770
A2-81-2	55	2900	91,0	0,90	7	1,0	2,2	0,0540
A2-82-2	75	2900	92,0	0,90	7	1,0	2,2	0,0347
A2-91-2	100	2920	93,0	0,90	7	1,0	2,2	0,0209
A2-92-2	125	2920	94,0	0,90	7	1,0	2,2	0,0144
A2-61-4	13	1450	88,5	0,88	7	1,3	2,0	0,2700
A2-62-4	17	1450	89,5	0,88	7	1,3	2,0	0,1890
A2-71-4	22	1455	90,0	0,88	7	1,2	2,0	0,1700

2. Қозғалтқыш номиналды жүктеме режимінде тұтынатын ток

$$I_{ном} = P_{ном} / (3U_I \cos \varphi_{I_{ном}}) = 24\,400 / (3 \cdot 220 \cdot 0,88) = 42 \text{ A.}$$

3. Қозғалтқышты іске қосу тоғы

$$I_{п} = I_{ном} (I_{п} / I_{ном}) = 42 \cdot 7 = 294 \text{ A.}$$

4. Қозғалтқыштың қысқа тұйықталу кедергісі

$$Z_{к} = U_{п} / I_{п} = 220 / 294 = 0,75 \text{ Ом.}$$

5. Қысқа тұйықталу режиміндегі қуат коэффициенті

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

6. Қысқа тұйықталу кедергісінің активті және индуктивті құрамдас бөліктері

$$x_{к} = Z_{к} \sin \varphi_{к} = 0,75 \cdot 0,895 = 0,67 \text{ Ом;}$$

$$r_{к} = Z_{к} \cos \varphi_{к} = 0,75 \cdot 0,44 = 0,33 \text{ Ом.}$$

7. Жұмыс температурасы кезіндегі статордың фазалық орамасының кедергісі

$$r_1 = r_{L,20} [1 + \alpha(\theta_{раб} - 20)] = 0,17 [1 + 0,004(75 - 20)] = 0,21 \text{ Ом,}$$

мұндағы $\theta_{раб} = 75^\circ\text{C}$ – жұмыс температурасы; $\alpha = 0,004$ – мыстың кедергісінің температуралық коэффициенті

8. Номиналды жүктеме режиміндегі сырғу

$$s_{ном} = (n_1 - n_{ном}) / n_{ном} = (1500 - 1455) / 1500 = 0,03.$$

9. Ротор орамасы фазасының активті кедергісінің келтірілген мәні

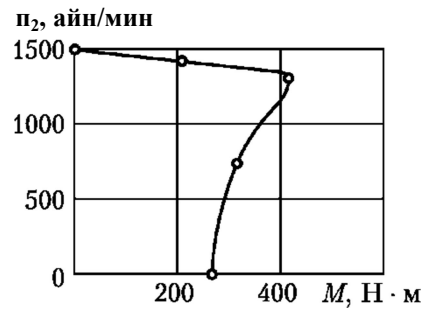
$$r'_2 = r_{к} - r_1 = 0,33 - 0,21 = 0,12 \text{ Ом.}$$

10. Электрмагниттік иінкүштің номиналды мәнін келесі формула бойынша анықтаймыз

$$M = \frac{m_1 U_1^2 r'_2 p}{2\pi f_1 s_{ном} [(r_1 + r'_2 / s_{ном})^2 + x_{к}^2]} = \frac{3 \cdot 220^2 \cdot 0,12 \cdot 2}{2 \cdot 3,14 \cdot 50 \cdot 0,03 [(0,21 + 0,12/0,03)^2 + 0,67^2]} = 204 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

11. Максималды иінкүш

$$M_{\max} = 204 \cdot 2 = 408 \text{ Н} \cdot \text{м.}$$



3.9-сурет. Асинхронды қозғалтқыштың механикалық

12. Іске қосу иінкүші

$$M_{II} = 204 \cdot 1,2 = 245 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

13. Критикалық сырғу

$$\cos \varphi = \sin \theta \left[\frac{M_{\max}}{M_{\text{ном}}} + \sqrt{\left(\frac{M_{\max}}{M_{\text{ном}}} \right)^2 - 1} \right] =$$

$$0,03 \left[2 + \sqrt{2^2 - 1} \right] = 0,11$$

14. Сырғу $s = 0,5$ болғандағы иінкүш

$$M = \frac{m_1 U_1^2 r'_2 p}{2 \pi f_1 s [(r_1 r'_2 / s)^2 + (x_1 x'_2)^2]} =$$

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

15. Айналу жиілігін келесі формула бойынша есептегенде

$$n_2 = n_1 (1 - s),$$

қозғалтқыштың механикалық сипаттамасын құрастыруға қажет параметрлердің мәндерін аламыз:

Сырғу	0	0,03	0,11	0,5	1,0
Айналу жиілігі, айн/мин.....	1500	1455	1335	750	0
Иінкүш, Н · м.....	0	204	410	341	245

16. Алынған нәтижелер бойынша 3.9-суретте көрсетілген $n_2 = f(M)$ механикалық сипаттамасын құрастырамыз.

3.13-есеп. 3.15-кестеде АК2 топтамасының фазалық роторы бар үш фазалы асинхронды қозғалтқыштың техникалық мәліметтері берілген. Иінкүштің номиналды $M_{\text{ном}}$ және максималды $M_{\text{тах}}$ мәндерін, номиналды $s_{\text{ном}}$ және критикалық s^* сырғуды, сондай-ақ қозғалтқыштың бастапқы іске қосу иінкүші максималдыға тең болатындай кедергісі қандай резисторды ротордың фазалық орамының тізбегіне қосу керек екендігін анықтау керек; осы режим үшін механикалық сипаттама құрастыру және ол бойынша $M_{\text{ном}}$ номиналды иінкүшке сәйкес сырғуды анықтау. Желідегі кернеу 380 В, жиілік 50 Гц; статор орамасы «жұлдыз» етіліп жалғанған. Қозғалтқышты желіге тура (реостатсыз) қосқандағы іске қосу тоғының еселігі $I_n / I_{\text{ном}} = 7$; қысқа тұйықталу режиміндегі қуат коэффициентін төмендегідей алу

$$\cos \varphi_k = 0,5 \cos \varphi_{\text{ном}}.$$

АК2-82-8 қозғалтқышы нұсқасының шешуі.

Қозғалтқыш түрі	$P_{\text{ном}}$, кВт	$n_{\text{ном}}$, айн/мин	$\eta_{\text{ном}}$, %	$\cos\varphi_{\text{ном}}$	$\frac{M_{\text{max}}}{M_{\text{ном}}}$	$r_{L,20}$, Ом, 20 °С болғанда
AK2-81-4	40	1440	90,0	0,84	2,0	0,0725
AK2-82-4	55	1440	90,5	0,84	2,0	0,0390
AK2-91-4	75	1450	90,5	0,85	2,0	0,0326
AK2-92-4	100	1450	90,5	0,85	2,0	0,0210
AK2-81-6	30	960	89,0	0,84	1,8	0,0920
AK2-82-6	40	960	89,0	0,85	1,8	0,0605
AK2-91-6	55	960	89,0	0,86	1,8	0,0590
AK2-92-6	75	960	90,5	0,86	1,8	0,0350
AK2-81-8	22	720	87,5	0,79	1,7	0,1570
AK2-82-8	30	720	87,5	0,79	1,7	0,0935

1. Қозғалтқыштың номиналды режимде тұтынатын қуаты

$$P_{I_{\text{ном}}} = P_{\text{ном}}/\eta_{\text{ном}} = 30/0,875 = 34,3 \text{ кВт.}$$

2. Қозғалтқыштың номиналды режимде тұтынатын тоғы

$$I_{\text{ном}} = P_{I_{\text{ном}}}/(3U_1\cos\varphi_{\text{ном}}) = 34\,300/(3 \cdot 220 \cdot 0,79) = 66 \text{ А.}$$

3. Номиналды режимдегі сырғу

$$S_{\text{ном}} = (750 - 720)/750 = 0,04.$$

4. Жұмыс температурасы 75 °С болғанда статор фазасының активті кедергісі

$$r_I = r_{L,20}[1 + \alpha(75 - 20)] = 0,0935[1 + 0,004 \cdot 55] = 0,0935 \cdot 1,22 = 0,114 \text{ Ом.}$$

5. Тура (реостатсыз) қосқандағы іске қосу тоғы

$$I_n = I_{\text{ном}}(I_n/I_{\text{ном}}) = 66 \cdot 7 = 462 \text{ А.}$$

6. Қысқа тұйықталу кедергісі

$$Z_K = U_1/I_n = 220/462 = 0,48 \text{ Ом.}$$

7. Қысқа тұйықталу қуатының коэффициенті

$$\cos\varphi_K = 0,5\cos\varphi_{I_{\text{ном}}} = 0,5 \cdot 0,79 = 0,395; \sin\varphi_K = 0,918.$$

8. Қысқа тұйықталу кедергісінің индуктивті құрамдас бөлігі

$$x_K = Z_K\sin\varphi_K = 0,48 \cdot 0,918 = 0,44 \text{ Ом.}$$

9. Қысқа тұйықталу кедергісінің активті құрамдас бөлігі

$$r_K = Z_K \cos \varphi_K = 0,48 \cdot 0,395 = 0,19 \text{ Ом.}$$

10. Статор фазасына келтірілген ротор фазасының активті кедергісі

$$r'_2 = r_K - r_l = 0,19 - 0,114 = 0,076 \text{ Ом.}$$

11. Сырғу $s_{ном} = 0,04$ болғанда ротор фазасының активті кедергісі

$$r'_2/s_{ном} = 0,076/0,04 = 1,9 \text{ Ом.}$$

12. Электрмагниттік иінкүштің номиналды мәні

$$M = \frac{m_1 U_1^2 r'_2 p}{2\pi f_1 s_{ном} [(r_1 + r'_2/s_{ном})^2 + x_K^2]} =$$

$$= \frac{3 \cdot 220^2 \cdot 0,12 \cdot 2}{2 \cdot 3,14 \cdot 50 \cdot 0,04 [(0,114 + 1,9)^2 + 0,44^2]} = 720 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

13. Иінкүштің максималды мәні

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

$$= \frac{3 \cdot 220^2 \cdot 4}{4 \cdot 3,14 \cdot 50 [0,114 + \sqrt{0,21^2 + (0,114 + 0,44)^2}]} = 1640 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

14. Критикалық сырғу

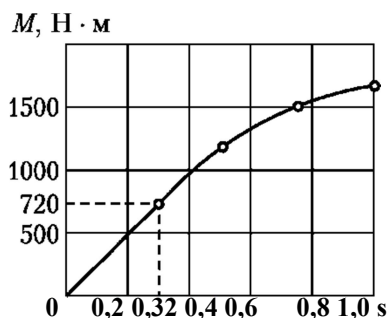
$$s_{кр} \approx \pm r'_2/x_K = 0,076/0,44 = 0,17.$$

15. Тізбекке қосқанда іске қосу иінкүші максималды болатындай резистордың кедергісі $\Gamma_{кос}$ ротор фазасының жалпы кедергісі x_K кедергісіне тең болатындай болу керек. Олай болса,

$$r_{кос} = x_K - r'_2 = 0,44 - 0,076 =$$

$$= 0,364 \text{ Ом.}$$

16. Ротор тізбегінің кедергісінің $r_{доб} + r_2 = 0,44$ Ом келтірілген мәніне сәйкес $M = f(s)$ жасанды механикалық сипаттаманы құрастыру үшін сырғу $s = 0,5$ және $s = 0,75$ болғанда иінкүш мәндерін есептейміз.



3.10-сурет. Асинхронды қозғалтқыштың $M = f(s)$ жасанды механикалық сипаттамасы

Сырғудың бірқатар мәндері үшін электромагниттік индукті есептеу нәтижелері төменде көрсетілген:

s	0	0,5	0,75	1,0
M, Н • м.....	0	1381	1500	1640

3.10-суреттегі құрылыстанноминалды индукш $M_{ном} = 720 \text{ Н} \cdot \text{м}$ болғанда сырғу, $n_{ном} = 750(1 - 0,32) = 510 \text{ айн/мин}$ айналу жиілігіне сәйкес келетін $s = 0,32$ шамаға тең болатынын көреміз.

3.14-есеп. Номиналды қуаты $P_{ном}$ үш фазалы асинхронды қозғалтқыш кернеуі 380 В, жиілігі 50 Гц, статор орамасы «жұлдыз» етіліп жалғанған желіге қосылған. $p_{ном}$ жиілігімен айнағанда, қозғалтқыш қуат коэффициенті $\cos \varphi$ болғанда $I_{ном}$ ток тұтынады. Бос жүріс режимінде жұмыс істеген кезде, қозғалтқыш r_l жұмыс температурасындағы статордың фазалық орамасының активті кедергісіне сәйкес ток бойынша желіден P_{10} қуат тұтынады (3.16-кесте). Механикалық шығындар өлшемін $P_{мех}$ деп алып, қозғалтқыштың номиналды режимдегі барлық шығын түрлерін анықтау.

3.16-кесте

Параметр	Нұсқалар					
	1	2	3	4	5	6
$P_{ном}, \text{ кВт}$	15	7,0	75	100	7,0	10
$I_{ном}, \text{ А}$	32	14	140	180	11	19
$n_{ном}, \text{ об/мин}$	1455	2910	960	1460	1450	2920
$r_{lb}, \text{ Ом}$	0,25	0,58	0,036	0,015	0,52	0,33
$\cos \varphi$	0,85	0,90	0,88	0,91	0,86	0,91
$P_{10}, \text{ Вт}$	820	400	1270	2000	300	330
$I_{10}, \text{ А}$	7,0	4,0	31	43	4,5	5,0
$P_{мех}, \text{ Вт}$	160	170	250	450	120	220

1 - нұсқаның шешуі

1. Бос жүріс режиміндегі статор орамындағы электрлік шығындар

$$P_{\text{эл}0} = m_l I_{10}^2 r_l = 3 \cdot 7^2 \cdot 0,25 = 37 \text{ Вт}.$$

2. Тұрақты шығындар (магниттік және механикалық шығындардың қосындысы)

$$P_{\text{тұр}} = P_{10} - P_{\text{эл}0} = 820 - 37 = 783 \text{ Вт}.$$

3. Магниттік шығындар

$$P_m = P_{\text{тұр}} - P_{\text{мех}} = 783 - 160 = 623 \text{ Вт}.$$

4. Желіден номиналды жүктеме кезінде тұтынылатын қуат

$$P_{I_{ном}} = m U_{I_{ном}} \cos \varphi_I = 3 \cdot 220 \cdot 32 \cdot 0,85 = 17\,952 \text{ Вт.}$$

5. Жалпы шығындар

$$\Sigma P = P_{I_{ном}} - P_{ном} = 17\,952 - 15\,000 = 2\,952 \text{ Вт.}$$

6. Қозғалтқыштың номиналды режимдегі ПӘК

$$\eta_{ном} = P_{ном} / P_{I_{ном}} = 15 / 17,95 = 0,83.$$

7. Номиналды режимдегі айнымалы шығындар (статор мен ротор орамаларындағы электрлік шығындар мен қосымша шығындардың қосындысы)

$$P_{\text{айн.ном}} = \Sigma P - P_{\text{тұр}} = 2\,952 - 783 = 2\,169 \text{ Вт.}$$

8. Номиналды режимдегі қосымша шығындар

$$P_{\text{қос.ном}} = 0,005 P_{I_{ном}} = 0,005 \cdot 17\,952 = 90 \text{ Вт.}$$

9. Статор орамындағы номиналды режимдегі электрлік шығындар

$$P_{\Sigma 1 \text{ ном}} = m_1 I_{1 \text{ ном}}^2 r_1 = 3 \cdot 32^2 \cdot 0,25 = 768 \text{ Вт.}$$

10. Ротор орамындағы номиналды режимдегі электрлік шығындар

$$P_{\Sigma 2 \text{ ном}} = P_{\text{айн.ном}} - P_{\text{хном}} - P_{\text{қос.ном}} = 2\,169 - 768 - 90 = 1\,311 \text{ Вт.}$$

Шеңбер диаграмма және жұмыс сипаттамасы

3.15-есеп. 2-қосымшада келтірілген үш фазалы асинхронды қозғалтқыштардың жұмыс сипаттамалары мен 3.17-кестедегі мәліметтердің әр нұсқасы бойынша анықтау керек:

а) қозғалтқыштың номиналды режимдегі параметрлерін—статор тоғын $I_{I_{ном}}$, ПӘК $\eta_{ном}$, қуат коэффициентін $\cos \varphi_{ном}$, сырғу $s_{ном}$, айналу жиілігін $n_{ном}$, тұтынатын қуат $P_{I_{ном}}$;

б) ПӘК-тің η_{max} максималды мәні мен осы ПӘК-ке сәйкес келетін P_2 жүктемені номиналды $P_{ном}$ мәnniң үлесі ретінде көрсету;

3.17-кесте

Параметр	Нұсқалар					
	1	2	3	4	5	6
Сурет (2-қосымшаны қарау)	2.1-қ.	2.2-қ.	2.3-қ.	2.4-қ.	2.5-қ.	2.6-қ.
$P_{ном}$, кВт	250	2,8	7,5	160	4,0	45
Желі кернеуі $U_{1л}$, В	660	220	380	380	220	380
Статор орамын жалғау сызбасы	Y	Δ	Y	Δ	Δ	Y
2p	4	4	4	4	4	4

в) номиналды жүктеме кезіндегі айнымалы $P_{\text{айн.ном}}$ шығындардың тұрақты $P_{\text{тұр}}$ шығындарға қатынасын;

г) статор орамының фазасының активті r_1 кедергісін.

1 - н ұ с қ а н ы ң ш е ш у і

1. Қозғалтқыштың номиналды режимдегі параметрлері (2.1-қосымшадағы суретті қарау):

қозғалтқыштың пайдалы қуаты $P_{\text{ном}} = 250 \text{ кВт}$;

статор тоғы $I_{1\text{ном}} = 250 \text{ А}$;

сырғу $s_{\text{ном}} = 1,7\% \text{ немесе } 0,017$;

айналу жиілігі $n_{\text{ном}} = 1500(1 - 0,017) = 1474 \text{ айн/мин}$;

пайдалы әрекет коэффициенті $\eta_{\text{ном}} = 0,92$;

қуат коэффициенті $\cos\varphi_{1\text{ном}} = 0,88$;

тұтынатын қуат $P_{1\text{ном}} = P_{\text{ном}}/\eta_{\text{ном}} = 250/0,92 = 271,7 \text{ кВт}$.

2. ПЭК-тің $\eta_{\text{max}} = 0,94$ максималды мәніне сәйкес келетін жүктеме

$$P_2 = 150 \text{ кВт, яғни } 0,6P_{\text{ном}} \text{ (2.1-қ. суретті қарау)}.$$

3. Қозғалтқыш $0,6P_{\text{ном}} = 150 \text{ кВт}$ жүктеме кезінде тұтынатын қуат

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

4. $P_2 = 0,6P_{\text{ном}} = 150 \text{ кВт}$ жүктеме кезіндегі жалпы шығындар

$$\Sigma P = P_1 - P_2 = 159,6 - 150 = 9,6 \text{ кВт}.$$

5. Тұрақты шығындар

$$P_{\text{тұр}} = P_{\text{м}} + P_{\text{мех}} = \Sigma P/2 = 9,6/2 = 4,8 \text{ кВт}.$$

6. Қозғалтқыштың номиналды жүктеме кезіндегі жалпы шығындары

$$\Sigma P_{\text{ном}} = P_{1\text{ном}} - P_{\text{ном}} = 271,7 - 250 = 21,7 \text{ кВт}.$$

7. Номиналды жүктеме режиміндегі айнымалы шығындар

$$P_{\text{айн.ном}} = \Sigma P_{\text{ном}} - P_{\text{тұр}} = 21\,700 - 4800 = 16\,900 \text{ Вт}.$$

8. Номиналды жүктеме кезіндегі тұрақты шығындардың номиналды жүктемеге қатынасы

$$P_{\text{айн.ном}}/P_{\text{тұр}} = 16\,900/4800 \sim 3,5$$

9. Номиналды жүктеме кезіндегі қосымша шығындар

$$P_{\text{қос}} = 0,005P_{1\text{ном}} = 0,005 \cdot 271\,700 = 1359 \text{ Вт}.$$

10. Бос жүріс иінкүші

$$M_0 = 9,55P_{\text{тұр}}/n_1 = 9,55 \cdot 4800/1500 = 31 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

11. Қозғалтқыштың білігіндегі номиналды иінкүш

$$M_{2\text{ном}} = 9,55P_{\text{ном}}/n_{\text{ном}} = 9,55 \cdot 250\,000/1474 = 1620 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

12. Номиналды режимдегі электромагниттік иінкүш

$$M_{\text{ном}} = M_{2\text{ном}} + M = 1620 + 31 = 1651 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

13. Номинкалды режимдегі электрмагниттік қуат

$$P_{эм·ном} = 0,105 M_{ном} n_I = 0,105 \cdot 1651 \cdot 1500 = 260\,032 \text{ Вт.}$$

14. Ротор орамындағы номиналды жүктеме кезіндегі электрлік шығындар

$$P_{э2ном} = s_{ном} P_{эм.ном} = 0,017 \cdot 260\,032 = 4420 \text{ Вт.}$$

15. Статор орамындағы номиналды жүктеме режиміндегі электрлік шығындар

$$P_{э1ном} = P_{айн.ном} - P_{э2ном} - P_{қос} = 16\,900 - 4420 - 1359 = 11121 \text{ Вт.}$$

16. Статор орамының фазасының активті кедергісі

$$r_I = P_{э1ном} / (m_I I_{1^2 ном}) = 11\,121 / (3 \cdot 250^2) = 0,059 \text{ Ом.}$$

3.16-есеп. Үш фазалы асинхронды қозғалтқыштың жеңілдетілген шеңбер диаграммасын құру және оның номиналды жұмыс режиміне сәйкес келетін параметрлерін анықтау. Диаграмманы құрастыруға қажетті мәліметтер 3.18-кестеде берілген: номиналды қуат $P_{ном}$; статор орамындағы (фазалық) кернеу Цф; статордың номиналдық (фазалық) тоғы $I_{Iф}$ полюстер саны 2р; жұмыс температурасындағы статордың фазалық орамының активті кедергісі r_1 ;

3.18-кесте

Параметр	Нұсқалар					
	1	2	3	4	5	6
$P_{ном}, кВт$	3,0	12	70	22	250	16
$U_{Iф}, в$	220	220	220	220	1730	220
$I_{Iф}, А$	6,3	25	190	54	60	40
$2p$	4	4	4	8	6	8
$r_I, Ом$	1,7	0,32	0,035	0,15	0,68	0,15
$I_{оф}, А$	1,83	9,7	55	32,8	17,5	9,6
$P_0, Вт$	300	565	6500	1340	10 750	950
$P'_0, Вт$	283	475	6180	1120	10125	890
$P_{мех}, Вт$	200	250	600	370	1350	270
$\cos \varphi_0$	0,24	0,10	0,20	0,064	0,12	0,15
$P_K, Вт$	418	1780	9500	2360	12160	1740
$U_K, в, В$	59,5	57,8	58,0	44,0	360	42,0
$\cos \varphi_K$	0,37	0,34	0,30	0,33	0,25	0,34

бос жүріс (фазалық) тоғы $I_{0\phi}$; бос жүріс қуаты P_0 ; мінсіз бос жүрістің қуаты $P'_0 = P_0 - 3 I_0 r_l$; механикалық шығындар $P_{мех}$; бос жүріс қуатының коэффициенті $\cos\phi_0$; қысқа тұйықталу қуаты P_k ; қысқа тұйықталу (фазалық) кернеуі U_k ; қысқа тұйықталу қуатының коэффициенті $\cos\phi_k$; ток жиілігі 50 Гц.

1 - н ұ с қ а н ы ң ш е ш у і

1. Бос жүріс $I_{0\phi}$ және қысқа тұйықталу I_{lk} тоқтарының $U_{1\phi}$ кернеуге қатысты фазалық ауытқу бұрыштары (3.11-сурет):

$$\phi_0 = \arccos 0,24 = 76^\circ;$$

$$\phi_k = \arccos 0,37 = 68^\circ.$$

2. Номиналды кернеуге келтірілген қысқа тұйықталу (фазалық) ток

$$I_{lk} = I_{l\phi}(U_{l\phi\phi}/U_{k\phi}) = 6,3(220/59,5) = 23 \text{ A}.$$

3. Ток масштабын диаграмма құрастырылатын парақ бетінің өлшемдеріне негізделе отырып қабылдаймыз; мысалы, егер А4 (210 x 297 мм) форматындағы парақ қолданылса, онда ток масштабы $m_i = 0,1 \text{ A/мм}$.

4. Ток векторларының ұзындығы:

бос жүріс тоғының

$$OH = I_{0\phi}/m_i = 1,83/0,1 = 18,3 \text{ мм};$$

статордың номиналдық тоғының

$$OD_l = I_{l\phi}/m_i = 6,3/0,1 = 63 \text{ мм};$$

қысқа тұйықталу тоғының

$$OK = I_{lk}/m_i = 23/0,1 = 230 \text{ мм}.$$

5. Қуат пен иінкүштің масштабтары

$$m_p = m_i U_{l\phi} m_i = 3 \cdot 220 \cdot 0,1 = 66 \text{ Вт/мм};$$

$$m_m = 9,55 m_p / n_1 = 9,55 \cdot 66 / 1500 = 0,42 \text{ Н} \cdot \text{м/мм}.$$

6. Ордината өсінде О нүктесін ұзындығы кез келген $i_1\phi$ кернеу векторын сызамыз және ордината өсіне j_0 бұрышпен $OH = 18,3$ мм бос жүріс тоғының векторын саламыз және ϕ_k бұрышпен $OK = 230$ мм қысқа тұйықталу тоғының векторын саламыз.

7. Н нүктесінен абсцисса өсіне параллель сызық жүргіземіз, оның бойында ток шеңберінің диаметріне тең НС кесіндісін аламыз.

$$D_i = (U_{l\phi}/x_k)/m_i = (220/8,78)/0,1 = 250 \text{ мм},$$

мұндағы

$$x_k = z_k \sin\phi_k = (U_{k\phi}/I_{l\phi}) \sin\phi_k = (59,5/6,3) 0,93 = 8,78 \text{ Ом}.$$

Мұнда $\sin\phi_k = 0,93$.

3.11-сурет. Асинхронды қозғалтқыштың шеңбер диаграммасы

8. Шеңбер диаметрінің ортасында жатқан O_1 нүктесінен радиусы $HC/2$ токтардың жартылай шеңберін жүргіземіз. Бұл кезде H және K нүктелері осы жартылай шеңберде болады. H және K нүктелерін қосамыз да, HK пайдалы қуат сызығын аламыз.

9. Шеңберде D_1 нүктесін белгілейміз (қозғалтқышты номиналды жүктеу нүктесі). Ол үшін O нүктесінен $OD_1 = 63$ мм кесіндісін аламыз.

10. O_1 кесіндісінің ортасында F нүктесін белгілейміз, ол арқылы HC диаметріне перпендикулярды қайта келтіреміз. Берілген перпендикулярда келесі кесіндіні белгілейміз

$$FF_1 = HF (r_1/x_K) = 180 (1,7/8,78) = 35 \text{ мм.}$$

11. H нүктесінен F_1 нүктесі арқылы токтар шеңберімен T нүктесінде қиылысқанша, $s = \pm$ те сырғу мәніне сәйкес келетін, түзу жүргіземіз. Алынған HT сызығы *электрмагниттік қуаттың (іінкүштің) сызығы* болып табылады.

12. O_1 нүктесінен HT сызығына перпендикуляр жүргіземіз және ол токтардың шеңберімен E нүктесінде қиылысқанша жалғастырамыз. Осылайша алынған E нүктесі максималды іінкүшке сәйкес келеді, өйткені EN сызығы іінкүштер масштабында қозғалтқыштың максималды іінкүшін көрсетеді, ал кесінділердің қатынасы

$$EN/D(C = M_{max}/M_{ном})$$

— қозғалтқыштың асқын жүктемелік қабілеті.

13. Токтардың шеңберіндегі D_1 нүктесі қозғалтқыштың номиналды жүктеме режиміне сәйкес келеді. OD_1 тікбұрышты үшбұрышы токтардың үшбұрышы болып табылады: OD_1 жағы – статордың номиналды тоғы (4-пункті қарау), D_1A жағы – статор тоғының активті құрамдас бөлігі, OA жағы – статор тоғының реактивті (индуктивті) құрамдас бөлігі.

14. Қозғалтқыш қуатының $\cos \varphi_1$ коэффициентін анықтау үшін қосымша құрастырулар жасаймыз: ординаталар өсінде радиусы 50 мм жартылай шеңбер жүргіземіз, ал OD_1 сызығын осы жартылай шеңбермен I нүктесінде қиылысқанша жалғастырамыз. $Oh = 88$ мм кесіндісінің жартылай шеңбер диаметріне қатынасы номиналды жүктеме режиміндегі қуат коэффициентін анықтайды:

$$\cos \varphi_1 = Oh/100 = 88/100 = 0,88.$$

15. Қозғалтқыш роторының айналу жиілігі мен сырғуын анықтау үшін де қосымша сызбалар жасау қажет: H нүктесінен ординаталар өсіне параллель HQ сызығын жүргіземіз, одан кейін Q нүктесінен HT электрмагниттік қуат сызығына параллель сызықты HK пайдалы қуат сызығының жалғасымен L нүктесінде қиылысқанша жүргіземіз. Осылайша алынған QL сызығы *сырғу шкаласы* болып табылады: H бос жүріс нүктесінде сырғусы $= 0$, ал K қысқа тұйықталу нүктесінде сырғу $s = 1$.

HD жесіндісін сырғу шкаласымен қиылысқанша жалғастыру арқылы сырғу шғаласында s_1 нүктесін аламыз, ол қозғалтқыштың номиналды жүктеме режиміндегі сырғуын $s_1 = 0,045$ анықтайды. Бұл кезде айналу жиілігі

$$n_{\text{ном}} = 1500(1 - 0,045) = 1430 \text{ айн/мин.}$$

16. Қозғалтқыштың номиналды қуаты (тексеру)

$$P_{\text{ном}} = D_1 b m_p = 46 \cdot 66 \cdot 10^{-3} = 3,0 \text{ кВт.}$$

17. Номиналды режимде тұтынылатын қуат

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

18. Қозғалтқыштың номиналды режимдегі ПӘК

$$\eta_{\text{ном}} = D_1 b / D_1 a = 46/55 = 0,84.$$

19. Номиналды режимдегі электрмагниттік иінкүш

$$M_{\text{ном}} = D_1 c m_m = 51 \cdot 0,42 = 21,4 \text{ Н} \cdot \text{м.}$$

3.17-есеп. 3.16-есепте келтірілген үш фазалы асинхронды қозғалтқыштың параметрлерінің мәндерін (3.18-кестені қарау) қолдана отырып, асинхронды қозғалтқыштың параметрлерін есептеп, жұмыс сипаттамасын құрастыру: I_1 , M_2 , n_2 , $\cos\varphi_1$, $\eta = f(P_2)$. Ол үшін 3.16-есепті шығарғанда құрастырылған жеңілдетілген шеңбер диаграмманы немесе жұмыс сипаттамасын аналитикалық есептеу әдісін қолдануға болады.

1 - н ұ с қ а н ы а н а л и т и к а л ы қ ә д і с п е н ш е ш у .

1. Бос жүріс тоғының активті және реактивті құрамдас бөліктері:

$$I_{0a} = I_{0\phi} \cos\varphi_0 = 1,83 \cdot 0,24 = 0,44 \text{ А;}$$

$$I_{0p} = I_{0\phi} \sin\varphi_0 = 1,83 \cdot 0,93 = 1,70 \text{ А.}$$

2. Қысқа тұйықталу кедергісі

$$z_k = U_{k\phi} / I_{1\phi} = 59,5/6,3 = 9,45 \text{ Ом.}$$

3. Қысқа тұйықталу кедергісінің активті және реактивті құрамдас бөліктері:

$$r_k = z_k \cos\varphi_k = 9,45 \cdot 0,37 = 3,5 \text{ Ом;}$$

$$x_k = z_k \sin\varphi_k = 9,45 \cdot 0,93 = 8,78 \text{ Ом.}$$

4. Ротор орамасының активті кедергісінің келтірілген мәні

$$r'_2 = r_k - r_l = 3,5 - 1,7 = 1,8 \text{ Ом.}$$

5. Критикалық сырғу

$$S_{KP} \approx r'_2/x_K = 1,8/8,78 = 0,20.$$

6. Номиналды сырғу (3.16-есептің берілгені бойынша) $s_{НОМ} = 0,045$.

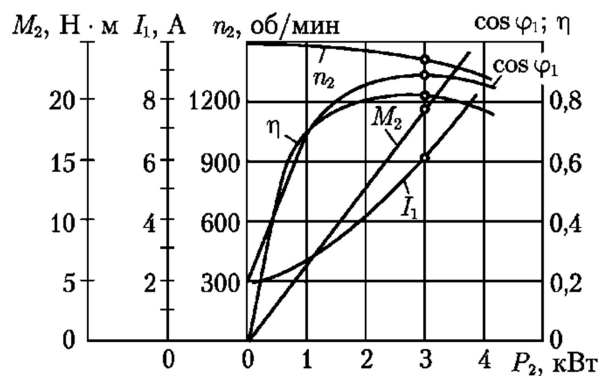
7. Магниттік шығындар

$$P_M = P'_0 - P_{мех} = 283 - 200 = 83 \text{ Вт.}$$

Келесі параметрлерді есептеу үшін бірқатар сырғу мәндерін аламыз
 $s = 0,01; 0,02; 0,03; 0,045; 0,06$ және олардың әрқайсысы үшін

3.19-кесте

Есептеу формулалары	s сырғу шамасына сәйкес параметр мәні				
	0,01	0,02	0,03	0,045	0,06
$r'_2/s = I_2/s, \text{ Ом}$	180	90	60	39,1	30
$r_K = r_1 + r'_2/s, \text{ Ом}$	181,7	91,7	61,7	40,8	31,7
$z_K = \sqrt{r_K^2 + r_K^2}, \text{ Ом}$	182	92	62,5	42	33,2
$\cos \varphi_2 = r_K/z_K$	0,998	0,996	0,987	0,971	0,955
$I'_2 = U_1/z_K, \text{ А}$	1,21	2,38	3,52	5,24	6,63
$I'_{2a} = I'_2 \cos \varphi_2, \text{ А}$	1,21	2,37	3,47	5,09	6,33
$I'_{2a} = I'_2 \sin \varphi_2, \text{ А}$	0,08	0,19	0,57	1,25	1,95
$I_{1a} = I_{0a} + I'_{2a}, \text{ А}$	1,65	2,82	3,91	5,54	6,77
$I_{1p} = I_{0p} + I'_{2p}, \text{ А}$	1,85	1,96	2,34	3,02	3,72
$I_1 = \sqrt{I_{1a}^2 + I_{1p}^2}, \text{ А}$	2,48	3,43	4,55	6,30	7,70
$\cos \varphi_1 = I_{1a}/I_1$	0,66	0,82	0,86	0,88	0,88
$P_1 = 3U_1 I_{1a}, \text{ Вт}$	1089	1861	2580	3652	4468
$n_2 = 1500(1 - s), \text{ айн/мин}$	1485	1470	1455	1430	1410
$P_{\text{эл}} = 3I_1^2 r, \text{ Вт}$	31,0	60,0	105	200	302
$P_{\text{эм}} = P_1 - P_{\text{эл}} - P_{\text{мр}}, \text{ Вт}$	975	1718	2392	3369	4083
$\beta_2 = (I_1/I_{НОМ}) \beta^2, \text{ Вт}$	0,15	0,29	0,52	1,0	1,44
$P_{\text{қос}} = (0,005 P_{I_{НОМ}}) \beta^2, \text{ Вт}$	2,7	5,2	9,4	18	26
$P_{\text{эм}} = P_1 - P_{\text{эл}} - P_{\text{мр}}, \text{ Вт}$	975	1718	2392	3369	4083
$P_{\text{эл}} = s P_{\text{эм}}, \text{ Вт}$	10	34	72	151	245
$P_2 = P_{\text{эм}} - P_{\text{эл}} - P_{\text{мех}} - P_{\text{қос}}, \text{ Вт}$	762	1479	2110	3000	3612
$M_2 = 9,55 P_2 / n_2$	4,9	9,6	13,8	20,0	24,5
$\eta = P_2 / P_1$	0,70	0,79	0,82	0,82	0,81



3.12-сурет. Үш фазалы асинхронды қозғалтқыштың жұмыс сипаттамасы

есептеулер жүргіземіз. Есептеу формулалары мен олардың нәтижелері 3.19-кестеде көрсетілген. Алынған мәліметтер бойынша қозғалтқыштың жұмыс сипаттамасын құрастырамыз (3.12-сурет).

Іске қосу және айналу жиілігін реттеу

3.18-есеп. Мәліметтері 3.20-кестеде берілген фазалық роторлы асинхронды қозғалтқыштың номиналды қуаты $P_{ном}$, номиналды сырғуы $S_{ном}$, асқын жүктемелік қабілеті λ_m , полюстер саны $2p$. Үш сатылы іске қосу реостатының ҚР резисторларының кедергілерін есептеу керек (3.13-сурет).

1 - н ұ с қ а н ы ң ш е ш у і

1. Номиналды айналу жиілігі

$$n_{ном} = n(1 - s_{ном}) = 750(1 - 0,05) = 712 \text{ айн/мин.}$$

2. Қозғалтқыштың номиналды иінкүші

$$M_{ном} = 9,55 P_{ном} / n_{ном} = 9,55 \cdot 15\,000 / 712 = 201 \text{ Н} \cdot \text{м.}$$

3.20-кесте

Параметр	Нұсқалар					
	1	2	3	4	5	6
$P_{ном}$, кВт	15	75	22	5,5	14	7,5
$2p$	8	4	8	8	4	6
$S_{ном}$, %	5	3,3	4	5,3	5	5
r_2 , Ом	0,37	0,014	0,053	0,150	0,095	0,130
$\lambda = M_{тах} / M_{ном}$	3,0	2,0	2,0	1,7	1,7	1,7

3. Ауыстыру иінкүшінің мәнін номиналдыға тең деп аламыз

$$M_2 = 1,0M_{ном} = 1,0 \cdot 201 = 201 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

4. Бастапқы іске қосу иінкүшінің ауыстыру иінкүшіне қатынасы

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

5. Бастапқы іске қосу иінкүші

$$M_1 = M_2 \lambda = 201 \cdot 2,1 = 422 \text{ Н} \cdot \text{м},$$

яғни $M_1/M_{max} = 422/(3 \cdot 201) = 0,7$; бұл іске қосу реостатының кедергілерін аналитикалық әдіспен есептеуге мүмкіндік береді.

6. ҚРның үшінші сатысының резисторының кедергісі

$$r_{қос3} = r_2(\lambda - 1) = 0,37/(2,1 - 1) = 0,41 \text{ Ом}.$$

7. ҚРның екінші сатысының резисторының кедергісі

$$r_{қос2} = r_{қос3} \lambda = 0,41 \cdot 2,1 = 0,86 \text{ Ом}.$$

8. Бірінші сатыдағы резистор кедергісі

$$r_{қос1} = r_{қос2} \lambda = 0,86 \cdot 2,1 = 1,80 \text{ Ом}.$$

9. ҚРның бірінші сатыдағы кедергісі

$$R_{ПР1} = r_{қос1} + r_{қос2} + r_{қос3} = 1,80 + 0,86 + 0,41 = 3,07 \text{ Ом}.$$

10. ҚРның екінші сатыдағы кедергісі

$$R_{ПР2} = r_{қос2} + r_{қос3} = 0,86 + 0,41 = 1,27 \text{ Ом}.$$

11. ҚРның үшінші сатыдағы кедергісі

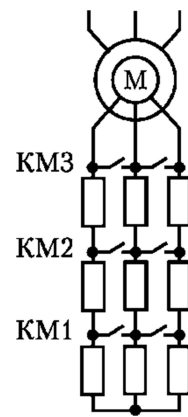
$$R_{ПР3} = r_{қос3} = 0,41 \text{ Ом}.$$

3.19-есеп. Фазалық роторлы үш фазалы асинхронды қозғалтқыш білігінде $M_2 = 0,75M_{ном}$ жүктемемен жұмыс істейді. Берілген жүктеме кезіндегі айналу жиілігі $n_2 = 0,5$ болатындай әрбір орамаға $r_{қос}$ кедергісі қандай резистор қосу керек екендігін анықтау. Қозғалтқыштың қажетті мәліметтері 3.21-кестеде берілген: номиналды қуат $P_{ном}$, статордың фазалық кернеуі $U_{ф}$, полюстер саны $2p$, номиналды жүктеме кезіндегі сырғу $s_{ном}$, жұмыс температурасы кезіндегі ротор орамасының кедергісі r_2 .

Шешуі

1. Номиналды режимдегі айналу жиілігі

$$n_{ном} = n_1(1 - s_{ном}) = 1500(1 - 0,05) = 1425 \text{ айн/мин}.$$



3.13-сурет. Үш сатылы іске қосу реостаты

Параметр	Нұсқалар					
	1	2	3	4	5	6
$P_{ном}, кВт$	10	75	22	5,5	14	7,5
$U_{1ф}, В$	220	220	220	220	220	220
$2p$	4	4	8	8	4	6
$S_{ном}, \%$	5	3,3	4	5,3	5	5
$r_2, Ом$	0,115	0,014	0,053	0,150	0,095	0,130

2. Номиналды жүктеме кезіндегі қозғалтқыш білігіндегі иінкүш

$$M_{ном} = 9,55P_{ном}/n_{ном} = 9,55 \cdot 10\,000/1425 = 67 Н \cdot м.$$

3. Қозғалтқыштың табиғи механикалық сипаттамасының жұмыстық бөлігін түзу сызықты деп есептесек, жүктеме иінкүштері мен сәйкес сырғулардың қатынасын аламыз

$$M_2/M_{ном} = s_{0,75}/s_{ном},$$

Одан қозғалтқыш білігіне түсірілетін $M_2 = 0,75M_{ном}$ жүктемеге сәйкес $s_{0,75}$ сырғу мәнін анықтаймыз:

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

4. Айналу жиілігі $n_2 = 0,5n_{ном}$ болғандағы сырғу

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

5. Сырғу мен ротор тізбегінің активті кедергісінің пропорционалдық ережесін қолдана отырып, қозғалтқыш білігіне $M_2 = 0,75M_{ном}$ жүктеме түсірілгенде $0,5n_{ном}$ айналу жиілігін алу үшін ротордың әрбір фазалық орамына $r_{қос}$ кедергісі қандай қосымша резистор қосу керек екенін анықтаймыз:

$$(r_{қос} + r_2)/r_2 = s/s_{0,75},$$

осыдан қосымша резистордың кедергісі

$$r_{қос} = (s - s_{0,75})r_2/s_{0,75} = (0,525 - 0,0375)0,115/0,0375 = 1,49 Ом,$$

мұндағы $s = 0,525$ — $n_2 = 0,5n_{ном}$ төмендетілген айналу жиілігі кезіндегі сырғу; $s_{0,75} = 0,0375$ — қозғалтқыш білігіне $M_2 = 0,75M_{ном}$ жүктеме түсірілгендегі сырғу; $r_2 = 0,115 Ом$ - ротордың фазалық орамасының жұмыс температурасындағы кедергісі.

3.20-есеп. Қысқатұйықталған роторлы үш фазалы асинхронды қозғалтқыштың статорын іске қосу тоғының шамасын екі есе азайту үшін статор орамасына $r_{қос}$ кедергісі қандай резистор қосу керек екендігін анықтау; мұндай жағдайда қозғалтқыштың иінкүші қаншалықты

қуат беруші желінің желілік сымдарына қосымша кедергіні тізбектей қосу арқылы алынады (3.14, б сурет). Іске қосуды QS2 ажыратқышымен тоқтатқаннан кейін, бұл кедергілер тұйықталып, қозғалтқыштың жұмысына ешқандай әсер тигізбейді. Қосымша индуктивті кедергі ретінде (білігі бар дроссельді) қолдану үнемдірек, өйткені бұл элементтердің белсенді кедергісі аса елеулі емес және олардың шығыны үлкен емес. Алайда қуаты көп емес қозғалтқыштардағы іске қосу тоғын шектеу үшін дросселдарға қарағанда арзан және габариттері кішірек резисторларды жиірек қолданады.

Іске қосу тоғын k есе азайту үшін қажетті қосымша кедергінің шамасын келесі өрнекпен анықтайды:

$$r_{доб} = \sqrt{(kz_k)^2 - x_k^2 - r_k};$$

$$x_{доб} = \sqrt{(kz_k)^2 - r_k^2 - x_k};$$

1. Статордың номиналдық тоғы (фазалық мәні)

$$I_{1\phi} = P_{ном} / (3U_{1\phi}\eta_{ном}\cos\varphi_{ном}) = 2200 / (3 \cdot 220 \cdot 0,81 \cdot 0,83) = 5 \text{ A}.$$

2. Бастапқы іске қосу тоғы (қысқа тұйықталу тоғы)

$$I_{1\phi.n} = I_{1\phi}(I_{1n}/I_{ном}) = 5 \cdot 6,5 = 32,5 \text{ A}.$$

3. Қозғалтқыштың қысқа тұйықталу кедергісі

$$z_k = U_{1\phi}/I_{1\phi.n} = 220/32,5 = 6,77 \text{ Ом}.$$

4. Қысқа тұйықталу кедергісінің активті және индуктивті құрамдас бөліктері

$$r_k = z_k \cos\varphi_k = 6,77 \cdot 0,86 = 5,82 \text{ Ом};$$

$$x_k = z_k \sin\varphi_k = 6,77 \cdot 0,51 = 3,45 \text{ Ом}.$$

5. Бастапқы іске қосу тоғын екі есе ($k=2$) азайту үшін қажет қосымша резистордың $r_{қос}$ кедергісі

$$r_{қос} = \sqrt{(kz_k)^2 - x_k^2 - r_k} = \sqrt{(2 \cdot 6,77)^2 - 3,45^2 - 5,82} = 7,27 \text{ Ом}.$$

6. Осы резисторда есептелетін қуат

$$P_{қос} = (I_{1\phi.n}/2)^2 r_{қос} = (32,5/2)^2 \cdot 7,27 = 1920 \text{ Вт},$$

тоқтың резистор арқылы аз уақытта өтетін ескерсек (әдетте бірнеше секунд), бұл қуатты екі есе азайтуға болады.

7. Қозғалтқыш статорының орама клеммаларындағы тікелей іске қосу кезіндегі кернеу

$$U'_{1\phi} \approx 220 - (I_{1\phi.n}/2)r_{доб} = 220 - (32,5/2) \cdot 7,27 = 102 \text{ В}.$$

Осылайша, статор орамаларының клеммаларына әкелінетін кернеу номиналды мәннің $102/220 = 0,46$ үлесі болады. Мұндағы қозғалтқыштың іске қосу иінкүші M_n ның $0,46^2 = 0,21$ үлесі болады, яғни оның мәні

$$0,21M_n = 0,21 \cdot 2,1 M_{ном} = 0,44M_{ном}.$$

Олай болса, бұл қозғалтқыштың іске қосылу кезіндегі жүктеме шамасы номиналды мәннің 44 % астам болмауы керек.

3.21-есеп. 4А топтамасының фазалық роторы бар үш фазалы асинхронды қозғалтқыштың тізімдеме мәліметтері 3.23-кестеде көрсетілген: номиналды қуат $P_{ном}$; номиналды сырғу $s_{ном}$; ПӘК $\eta_{ном}$; қуат коэффициенті $\cos\varphi_{ном}$; ротор тоғы $I_{2ном}$; ротор ЭҚКЕ₂; асқын жүктемелік қабілеті $\lambda_m = M_{max}/M_{ном}$.

Анықтау керек: номиналды $M_{ном}$ және M_{max} максималды иінкүштерді, табиғи механикалық сипаттама режиміндегі $s_{кр}$ критикалық сырғуды; іске қосу иінкүшінің еселігі $M_n/M_{ном} = 1,5$ болатындай қажетті іске қосу реостатының $R_{пр}$ кедергісі мен номиналды жүктемелік иінкүш кезіндегі айналу жиілігі $n_2 = 0,5n_1$ болатындай қажетті $r_{кoc}$ кедергіні.

4АНК225М8 қозғалтқышы нұсқасының шешуі.

1. Номиналды режимдегі айналу жиілігі

$$n_{ном} = n_1 (1 - s_{ном}) = 750 (1 - 0,05) = 712,5 \text{ айн/мин.}$$

2. Номиналды иінкүш

$$M_{ном} = 9,55P_{ном}/n_{ном} = 9,55 \cdot 30\,000/712,5 = 402 \text{ Н} \cdot \text{м.}$$

3. Максималды иінкүш

$$M_{max} = M_{ном} \lambda_m = 402 \cdot 1,8 = 723,6 \text{ Н} \cdot \text{м.}$$

3.23-кесте

Қозғалтқыш түрі	$P_{ном}$, кВт	2р	$s_{ном}$, %	$\eta_{ном}$, %	$\cos\varphi_{ном}$	$I_{2ном}$, А	Е2, В	$M_{max}/M_{ном}$
4АНК225М8	30	8	5	86,5	0,80	165	120	1,8
4АНК250SM8	37	8	5,5	87,5	0,80	190	115	2,2
4АНК250B8	45	8	4	89	0,82	190	140	2,2
4АНК250М8	55	8	3,5	89,5	0,83	185	190	2,2
4АНК280S8	75	8	4	90,5	0,84	257	190	1,9
4АНК280М8	90	8	4	90,5	0,84	267	214	1,9
4АНК315S8	110	8	3,5	91,5	0,84	311	225	1,9
4АНК315М8	132	8	3,5	92	0,84	364	247	1,9
4АНК355S8	160	8	2,7	92,5	0,86	353	285	1,7
4АНК355М8	200	8	2,7	92,5	0,86	359	350	1,7

4. Табиғи механикалық сипаттама режиміндегі критикалық сырғу

$$s_{кр} = s_{ном} (\lambda_m + \sqrt{\lambda_v^2 - 1}) = 0,05 (1,8 + \sqrt{1,8^2 - 1}) = 0,16.$$

5. Ротордың фазалық орамасының жұмыс температурасындағы активті кедергісі

$$r_2 = [E_2 / (\sqrt{3} I_{2ном})] s_{ном} = [120 / (1,73 \cdot 165)] 0,05 = 0,021 \text{ Ом}.$$

6. $1,5 M_{ном}$ тең жүктеме иінкүші кезіндегі табиғи механикалық сипаттамада режиміндегі s' сырғу ($R_{пр} = 0$). Табиғи механикалық сипаттаманың жұмыс аймағын біршама жуықтаумен аламыз, яғни $s < s^{\wedge}$ аймақты тура сызықты деп алып, келесі теңдеуді жазамыз

$$M_{ном} / s_{ном} = 1,5 M_{ном} / s',$$

осыдан

$$s' = 1,5 s_{ном} = 1,5 \cdot 0,05 = 0,075.$$

7. Ротордың фазалық орамдарындағы кедергілер мен бірдей жүктемелік иінкүштегі табиғи және жасанды механикалық сипаттамаларға сәйкес сырғу арасындағы қатынастың теңдік ережесін қолдана отырып, келесі теңдікті жазамыз:

$$(r_2 + R_{пр}) / r_2 = 1 / s',$$

Мұндағы $R_{пр} = r_2 + r_{кос}$ — іске қосу иінкүші $M_{п} = 1,5 M_{ном}$ болғандағы іске қосу реостатының кедергісі, осыдан қажетті іске қосу реостатының кедергісі

$$R_{пр} = (r_2 / s - r_2) = (0,021 / 0,075) - 0,021 = 0,26 \text{ Ом}.$$

8. Айналу жиілігі $n_2 = 0,5$ $n_1 = 375$ айн/мин болу үшін ротордың фазалық орамдарына $r_{кос}$ кедергісі қандай резисторларды тізбектей жалғау керек екенін анықтау үшін табиғи және жасанды сипаттама режимдеріндегі ротор тізбегінің кедергісінің қатынасы мен сәйкес сырғу мәндерінің қатынасының тең болу ережесін қолданамыз:

$$(r_2 + r_{доб}) / r_2 = s_{0,5} / s_{ном}$$

Мұндағы $s_{0,5} = 0,5$ – ротордың айналу жиілігі $0,5 n_1$ болғандағы сырғу.

Алынған теңдіктен қажетті резистор кедергісі

$$r_{кос} = r_2 (s_{0,5} / s_{ном}) - r_2 = 0,021 (0,5 / 0,05) - 0,021 = 0,19 \text{ Ом}.$$

3.22-есеп. 4А топтамасының үш фазалы асинхронды қозғалтқышы статор орамасын «үшбұрыш» етіп жалғағанда желілік кернеуі $U_{л} = 380 \text{ В}$ болатын желіге қосылған және оның келесі номиналды мәліметтері бар: қуат $P_{ном}$, айналу жиілігі $n_{ном}$, ПӘК $\eta_{ном}$, қуат коэффициенті

$\cos\varphi_{1ном}$, іске қосу тоғының еселігі λ , іске қосу иінкүшінің еселігі λ_n , максималды иінкүшінің еселігі λ_m (3.24-кесте).

Анықтау керек:

- 1) қозғалтқыштың айналмалы иінкүштері — номиналды, іске қосу, максималды;
- 2) қозғалтқыштың номиналды жүктеме кезінде тұтынатын қуаты мен тоғы;
- 3) статордың іске қосу тоғы мен иінкүшін, сондай-ақ қуат беруші желісінің бұрынғы кернеуі кезінде статор орамасын «жұлдыз» етіп қосқандағы қозғалтқыштың асқын жүктемелік қабілетін;
- 4) қозғалтқыш статордың фазалық кернеуінің қандай мәнінде асқын жүктемелік қабілетін жоғалтады, яғни $\lambda'_m = 1$.

3.24-кесте

Қозғалтқыш түрі	$P_{ном}, кВт$	$n_{ном}, айн/мин$	$\eta_{ном}, \%$	$\cos\varphi_{1ном}$	λ	λ_n	λ_m
4АН160S4	18,5	1450	88,5	0,87	6,5	1,3	2,1
4АН200M4	45	1475	91	0,89	6,5	1,3	2,5
4АН280M4	160	1470	93,5	0,90	6,0	1,2	2,0
4АН200M6	30	975	90	0,88	6,0	1,3	2,1
4АН280M6	110	980	92,5	0,89	6,0	1,2	2,0
4АН280M8	90	735	92,5	0,86	5,5	1,2	1,9

4АН160S4 қозғалтқышы нұсқасының шешуі.

1. Номиналды иінкүш

$$M_{ном} = 9,55 P_{ном} / n_{ном} = 9,55 \cdot 18\,500 / 1450 = 121,8 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

2. Іске қосу иінкүші

$$M_n = M_{ном} \lambda_n = 121,8 \cdot 1,3 = 158 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

3. Максималды иінкүш

$$M_{max} = M_{ном} \lambda_m = 121,8 \cdot 2,1 = 256 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

4. Қозғалтқыштың номиналды режимде тұтынатын иінкүші

$$P_{хном} = P_{ном} / \eta_{ном} = 18,5 / 0,885 = 20,9 \text{ кВт}.$$

5. Статор орамының тізбегіндегі номиналды ток:
фазалық ток

$$I_{1\phi} = P_{1ном} / (m_1 U_{1\phi} \cos\varphi_{1ном}) = 20900 / (3 \cdot 380 \cdot 0,87) = 21,1 \text{ А}.$$

желі тоғы

$$I_{1л} = \sqrt{3} I_{1\phi} = 1,73 \cdot 21,1 = 36,5 \text{ А}.$$

6. Қуат беруші желідегі іске қосу (желілік) ток

$$I_{п.л} = I_{1л} \lambda_i = 36,5 \cdot 6,5 = 237 \text{ А}.$$

7. Статор орамасын «жұлдыз» етіп жалғағандағы номиналды және іске қосу тоқтары

Бұл жағдайда статордың фазалық кернеуі келесі мәнге дейін азаяды

$$U_{I\phi Y} = U_{I\phi \Delta} / \sqrt{3} = 380/1,73 = 220 \text{ В.}$$

Статордың фазалық тоғы 1,73 есе азаяды, яғни

$$I_{I\phi Y} = I_{I\phi \Delta} / \sqrt{3} = 21,1/1,73 = 12,2 \text{ А,}$$

ал желілік тоқ жайлы айтатын болсақ, онда ол «жұлдыз» тәрізді қосылғанда 3 есе азаяды

$$I_{I\Delta Y} = I_{I\Delta \Delta} / 3 = 36,5/3 = 12,2 \text{ А.}$$

Оған қоса, қуат беруші желілік сымдардағы іске қосу тоқ та 3 есе азаяды

$$I_{II\Delta Y} = I_{II\Delta \Delta} / 3 = 237/3 = 79 \text{ А.}$$

8. Статор орамасын «жұлдыз» тәрізді қосқандағы қозғалтқыштың номиналды және іске қосу иінкүштері

Асинхронды қозғалтқыштың иінкүші статор кернеуінің квадратына пропорционал болғандықтан, фазалық кернеуді 3 есе азайтқанда, қозғалтқыштың иінкүштері де 3 есе азаяды:

$$M_Y = M_{\Delta} / 3 = 121,8/3 = 40,6 \text{ Н} \cdot \text{м};$$

$$M_{nY} = M_{n\Delta} / 3 = 158/3 = 52,7 \text{ Н} \cdot \text{м};$$

$$M_{maxY} = M_{max\Delta} / 3 = 256/3 = 85,3 \text{ Н} \cdot \text{м.}$$

Сонымен бірге, қозғалтқыштың асқын жүктемелік қабілеті 3 есе азайып, $X_{mY} = X_{m\Delta} / 3 = 2,1/3 = 0,7$ тең болады.

9. Қозғалтқыш асқын жүктемелік қабілетін жоғалтатын, яғни $X'_m = M_{\text{тах}}/M_{\text{ном}} = 1$ болатын кернеу (фазалық) U.

Асинхронды қозғалтқыштың иінкүші статор кернеуінің квадратына пропорционал болғандықтан, қозғалтқыш асқын жүктемелік қабілетін кернеуді төмендегі мәнге дейін азайтқанда жоғалтады

$$U'_{I\phi} = U_{I\phi} / \sqrt{\lambda_m} = 380/\sqrt{2,1} = 262 \text{ В.}$$

СИНХРОНДЫ МАШИНАЛАР

4.1. НЕГІЗГІ ТҮСІНІКТЕР

Ротордың айналу жиілігі n_1 мен статор орамындағы айнымалы ток жиілігінің f_1 арасындағы қатаң байланыс синхронды машиналардың сипатты белгісі болып табылады

$$n_1 = f_1 \cdot 60/p.$$

Басқалай айтқанда, статордың айналмалы магниттік өрісі мен синхронды машинаның роторы *синхронды* түрде, яғни бірдей жиілікпен айналады.

Өзінің құрылымы бойынша синхронды машиналар айқын полюсті және айқын емес полюсті болып бөлінеді. Айқын полюсті синхронды машиналардың роторында тұрақты тоқтан қуат алатын қоздыру орамдарының катушкалары орналасқан, айқын көрінетін полюстер болады. Мұндай машиналардың сипаттық белгісі - бойлық өс (полюстер өсі) бойынша магниттік кедергілер мен көлденең өс (полюсаралық жазықтықта жататын өс) бойынша магниттік кедергілердің әртүрлілігі. Статор ағынына бойлық өс бойынша dd магниттік кедергі статор ағынына көлденең өс бойынша qq магниттік кедергіден біршама азырақ. Айқын емес полюсті синхронды машиналарда бойлық және көлденең өстер бойынша магниттік кедергілер бірдей болады, өйткені бұл машиналардағы ауалық саңылау статор периметрі бойынша бірдей.

Синхронды машинаның статорының құрылысы асинхронды машина статорынан аса өзгешеленбейді. Статор орамында машинаның жұмыс істеу барысында ЭҚК индукцияланады және магнит қозғаушы күш (МҚК) тудыратын токтар өтеді, олардың максималды мәні

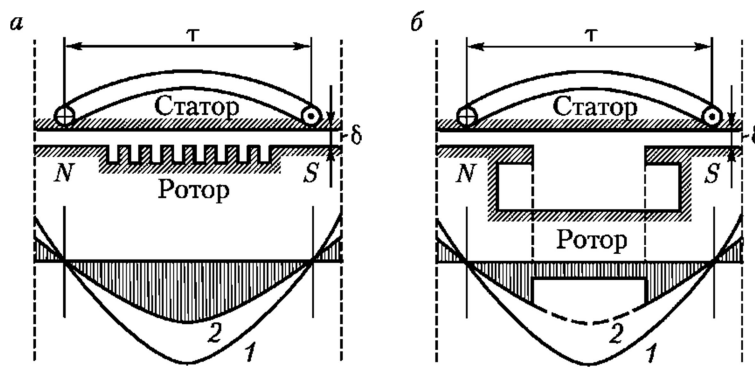
$$F_I = 0,45 m_I I_1 w_1 k_{об1} / p$$

Бұл МҚК айналмалы магниттік өріс тудырады, ал машинаның d ауалық саңылауында магниттік индукция пайда болады, оның әрбір полюстік бөлудің шекарасы бойынша таралу графигі ротордың құрылысына тәуелді (4.1-сурет).

Айқын полюсті синхронды машина үшін келесі кернеу теңдеуі сәйкес келеді:

$$U_I = E_0 + E_{Id} + E_{Iq} + E_{\sigma 1} - I_L r_L$$

Мұндағы E_0 – синхрондық машинаның Φ_0 негізгі магниттік ағынына пропорционал, синхронды машинаның негізгі ЭҚК; E_{Id} –



4.1-сурет. Айқын полюсті(*а*) және айқын емес полюсті(*б*) синхронды машиналардағы магниттік индукцияның бойлық өсі бойынша таралу графигі:

I — МҚК графигі; 2 — магниттік индукция графигі

синхронды машина зәкірінің бойлық өсі бойынша реакциясының F_{ld} МҚК-не пропорционал синхронды машина зәкірінің бойлық өсі бойынша реакциясының ЭҚК; E_{lq} — синхронды машина зәкірінің көлденең өсі бойынша реакциясының F_{lq} МҚК-не пропорционал синхронды машина зәкірінің көлденең өсі бойынша реакциясының ЭҚК; $E_{\sigma l} = \Phi_{\sigma}$ таралу магниттік ағынының болуымен шартталған таралу ЭҚК, бұл ЭҚК өлшемі статор орамасын таратудың x_1 индуктивті кедергісіне пропорционал

$$E_{\sigma l} = -jI_1 x_1;$$

$I_1 r_1$ — статордың фазалық орамасындағы кернеудің активті азаюы, әдетте есептерді шығарған кезде бұл өлшемді оның үлкен емес мәніне байланысты ескермейді.

Айқын емес полюсті синхронды машина үшін кернеулер теңдеуі төмендегідей

$$U_1 = E_0 + E_c - I_1 r_1.$$

Мұнда

$$E_c = E_1 + E_{\sigma 1},$$

мұндағы E_1 — айқын емес полюсті синхронды машина зәкірінің реакциясының ЭҚК.

Қарастырылған кернеу теңдеулеріне кернеулердің векторлық диаграммалары сәйкес келеді. Бұл диаграммаларды не машинаның негізгі ЭҚК E_0 , не статор орамасындағы U_1 кернеуді анықтау үшін құрастыруға тура келеді. Кернеу теңдеулері мен оларға сәйкес векторлық диаграммалар синхронды машинаның магнит өткізгішінің магниттік қанығуын ескермейтінін есте сақтаған жөн, ал олар индуктивті кедергілердің шамасына әсер тигізіп, азайтатыны белгілі. Бұл қанығуды есепке алу қиын тапсырма болып табылады, сондықтан синхронды машиналардың ЭҚК

мен кернеулерін есептеу кезінде, синхронды машины жүктеу кезінде зәкірдің реакциялық әрекетінен туындайтын магниттік жүйенің қанығу жағдайын ескеретін, ЭҚК *тәжірибелік диаграммасын* қолданады. ЭҚК тәжірибелік диаграммасын құрастыру кезінде зәкір реакциясының магниттеуші күшін бойлық және көлденең құрамдастарға бөлмейді, сондықтан бұл диаграмма айқын полюсті де, айқын емес полюсті де машиналарды есептегенде қолданыла алады.

Не желімен параллель қосылған синхронды генераторлармен, не синхронды қозғалтқыштармен байланысты есептерді шешкен кезде, М электрмагниттік иінкүшінің 0 жүктеме бұрышынан тәуелділіген көрсететін, синхронды машиналардың *бұрыштық сипаттамаларын* қолданады. Мұнда айқын полюсті синхронды машиналарда екі иінкүш әрекет ететінің есте сақтаған жөн: негізгі $M_{\text{нec}}$ және реактивті M_p , ал айқын емес полюсті машиналарды тек негізгі иінкүш ғана әрекет етеді:

$$M_{\text{оси}} = \frac{m_1 U_1 E_0}{\omega_1 x_d} \sin \theta;$$

$$M_p = \frac{m_1 U_1^2}{2\omega_1} \left(\frac{1}{x_q} - \frac{1}{x_d} \right) \sin 2\theta.$$

$\theta_{\text{ном}}$ жүктеме бұрышы $M_{\text{ном}}$ номиналды иінкүшіне сәйкес келеді. Синхронды машинаның максималды иінкүші синхронды машинаның асқын жүктемелік қабілетін анықтайды, бұл желімен параллель жұмыс істейтін синхронды генераторларға да, синхронды қозғалтқыштарға да аса маңызды болып табылады. Айқын емес полюсті синхронды машиналарда максималды иінкүш $\theta = 90^\circ$ жүктеме бұрышына сәйкес келеді, ал айқын полюсті синхронды машиналарда $\theta_{\text{кр}} < 90^\circ$ және осы машинаның негізгі және реактивті электрмагниттік иінкүштерінің қатынасына байланысты әдетте 60-80о болып келеді. Айқын полюсті синхронды машиналардың асқын жүктемелік қабілетін анықтайтын жүктеменің критикалық бұрышын есептеу үшін келесі өрнекті қолдануға болады:

$$\cos \theta_{\text{кр}} = \beta' + 0,5 - \beta,$$

мұндағы

$$\beta = E_0 / \left[4U_1 \left(x_d / x_q - 1 \right) \right].$$

Синхронды машинаның параметрлерін есептеу кезінде U-тәрізді сипаттамалар қолданылады, олар I_l статор тоғының P_2 тұрақты жүктеме кезіндегі қоздыру орамындағы I_e тоғына тәуелділігін көрсетеді. Мұндағы статор тізбегіндегі $I_l = I_{la} + jI_{lp}$ ток өзгерісі тек оның D_{lp} реактивті құрамдас бөлігінің есебінен пайда болады. Сондықтан I_e қоздыру тоғының өлшемін реттеу тек статор тоғының өзгеруімен ғана емес, $\cos \varphi$ қуат

коэффициентінің де өзгеруімен сүйемелденеді. Бұл кезде статор тоғының $I_{\text{а}}$ активті құрамдас бөлігі өзгеріссіз қалады. Тым қоздыру режимін $I_{\text{в}} > I_{\text{в0}}$ жасай отырып, $I_{\text{с}}$ желі тоғының U_1 кернеуге қатысты фазалық озуын тудырады, бұл желідегі қуат коэффициентінің артуына септігін тигізеді.

Синхронды машинадағы энергетикалық сипаттамалар оның жұмыс режиміне байланысты. Егер машина генератор режимінде жұмыс істесе, онда генераторға жеткізілетін механикалық қуат жетек қозғалтқыштың M_1 айналмалы иінкүші мен n_1 айналу жиілігімен анықталады.

$$P_1 = 0,105 M_1 n_1.$$

Бұл қуаттың бір бөлігі механикалық $P_{\text{мех}}$, магниттік $P_{\text{м}}$ және қосымша $P_{\text{к}}$ шығындарды жабуға жұмсалады. Егер генератордың қозуы ортақ жетек қозғалтқыштан айналатын қоздырғыштан туындаса, онда аталып өткен шығындарға тағы да қозуға кеткен шығындар қосылады

$$P = U_{\text{в}} I_{\text{в}} / \eta_{\text{в}}$$

Мұндағы $U_{\text{в}}$ және $I_{\text{в}}$ – қоздыру тізбегіндегі кернеу мен ток; $\eta_{\text{в}}$ – қоздырғыштың ПӘК.

Аталып өткен шығындарды азайтқаннан кейін қалған қуат генератор статорына электрмагниттік жолмен жіберілетін генератордың $P_{\text{эм}}$ электрмагниттік қуатын көрсетеді. Генератордың шығысындағы P_2 пайдалы қуат электрмагниттік қуаттан статор орамындағы электрлік шығындардың мәніне аз болып келеді

$$P_{\text{эл}} = m_1 I_1^2 r_1$$

Синхронды генератордың жалпы шығындары

$$\Sigma P = P_{\text{мех}} + P_{\text{м}} + P_{\text{в}} + P_{\text{қос}} + P_{\text{эл}}$$

Генератордың пайдалы қуаты

$$P_2 = S_2 \cos \varphi_1 = m_1 U_1 I_1 \cos \varphi_1,$$

Мұндағы $S_2 = m_1 U_1 I_1$ – генератор шығысындағы толық қуат, $B \cdot A$; $\cos \varphi_1$ – генераторды жүктеу тізбегіндегі қуат коэффициенті.

Егер синхронды машина қозғалтқыш режимінде жұмыс жасаса, онда шығын түрлері бұрынғыдай қалады, бірақ қозғалтқыш кірісіндегі электрлік қуат

$$P_1 = S_1 \cos \varphi_1 = m_1 U_1 I_1 \cos \varphi_1,$$

ал қозғалтқыш шығысындағы қуат механикалық болады

$$P_2 = 0,105 M_2 n_1.$$

Синхронды машинаның пайдалы әрекетінің коэффициенті

$$\eta = P_2 / P_1$$

4.2. ЕСЕПТЕР

Синхронды генераторлар

4.1-есеп. Үш фазалы синхронды генератордың параметрлері (4.1-кесте): тоқ жиілігі 50 Гц болғандағы шығындағы номиналды (желілік) кернеу $U_{ном}$, статор орамы «жұлдыз» тәрізді жалғанған, статордың номиналды тоғы $I_{ном}$, генератордың номиналды жүктеме кезіндегі ПӘК $\eta_{ном}$, полюстер саны $2p$, генератор кірісіндегі қуат $P_{ном}$, генератор шығысындағы пайдалы қуат $P_{ном}$, номиналды режимдегі жалпы шығындар $\Sigma P_{ном}$, шығыдағы толық номиналды қуат $S_{2ном}$ генераторға қосылған жүктеме қуатының коэффициенті $\cos\varphi_{ном}$, генераторды номиналды жүктеу кезіндегі бірінші реттік қозғалтқыштың айналмалы иіңкүші $M_{Iном}$. 4.1-кестеде мәндері көрсетілмеген параметрлерді анықтау керек.

4.1-кесте

Параметр	Нұсқалар									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$S_{ном}, \text{кВ} \cdot \text{А}$	330	—	270	470	—	600	780	450	700	500
$U_{Iном}, \text{кВ}$	6,3	3,2	0,4	—	0,7	3,2	6,3	0,4	—	3,2
$\eta_{ном}, \%$	92	—	—	91	90	93	—	—	93	92
$2p$	6	8	—	6	10	12	6	—	6	10
$P_{ном}, \text{кВт}$	—	—	206	—	—	—	667,4	369,5	—	—
$\Sigma P_{ном}, \text{кВт}$	—	27	18	—	—	—	—	—	—	—
$\cos \varphi_{Iном}$	0,9	—	0,85	0,9	—	0,92	—	0,9	0,92	0,85
$I_{Iном}, \text{А}$	—	72,2	—	43,1	190	—	—	—	64,2	—
$P_{ном}, \text{кВ}$	—	340	—	—	190	—	717,6	—	—	—
$M_{Iном}, \text{Н} \cdot \text{М}$	—	—	—	—	—	—	—	7735	—	—

1 - нұсқаның шешуі

1. Генератор шығысындағы пайдалы қуат

$$P_{ном} = S_{ном} \cos\varphi_{Iном} = 330 \cdot 0,9 = 297 \text{ кВт}.$$

2. Генератор кірісіндегі қуат

$$P_{Iном} = P_{ном} / \eta_{ном} = 297 / 0,92 = 322,8 \text{ кВт}.$$

3. Жалпы шығындар

$$\Sigma P_{ном} = P_{Iном} - P_{ном} = 322,8 - 297 = 25,8 \text{ кВт}.$$

4. Номиналды режимдегі статор тоғы

$$I_{I\text{ном}} = S_{\text{ном}} / (\sqrt{3} U_{I\text{ном}}) = 330 / (1,73 \cdot 6,3) = 30,2 \text{ A.}$$

5. $2p = 6$ және тоқ жиілігі $f = 50$ Гц болғанда синхронды айналу жиілігі:

$$n_1 = f_1 \cdot 60 / p = 50 \cdot 60 / 3 = 1000 \text{ айн/мин.}$$

6. Генератор роторының номиналды жүктеме режимінде синхронды айналу жиілігімен айналуы үшін қажетті жетек қозғалтқыштың иінкүші

$$M_{I\text{ном}} = 9,55 \cdot 10^3 \cdot P_{I\text{ном}} / n_1 = 9,55 \cdot 10^3 \cdot 322,8 / 1000 = 3083 \text{ Н} \cdot \text{м.}$$

4.2-есеп. Үш фазы синхронды айқын емес полюсті генератордың техникалық мәліметтері 4.2-кестеде берілген: генератордың негізгі ЭҚК (фазалық мәні) E_0 , генераторды жүктеудің номиналды тоғы (фазалық) $I_{I\text{ном}}$, E_0 негізгі ЭҚК мен $I_{I\text{ном}}$ жүктеме тоғының векторлары арасындағы ψ_1 фазалық ауытқу бұрышы (активті-индуктивті жүктеме), индуктивті кедергілер — статор орамының таралуы $x^{\wedge}$, зәкірдің бойлық ось бойынша реакциясы x_{ad} , зәкірдің көлденең ось бойынша реакциясы x_{aq} .

Генератордың векторлық диаграммасын құрастырып, $I_{I\text{ном}}$ номиналды кернеуді анықтау керек; генератор шығысындағы толық $\xi_{\text{ном}}$ және активті $P_{\text{ном}}$ қуаттың номиналды мәндерін және жүктемені D и $i_{\text{ном}}$ шамасына түсіргенде кернеудегі өзгерісті анықтау қажет. Тоқ жиілігі 50 Гц; статор орамдары «жұлдыз» тәрізді жалғанған, статор орамдарының активті кедергісін ескермеу.

4.2-кесте

Параметр	Нұсқалар						
	1	2	3	4	5	6	7
$E_0, \text{ В}$	280	275	284	298	260	265	290
$I_{I\text{ном}}, \text{ А}$	54	90	108	120	36	28	140
$\psi_1, \text{ град}$	50	48	50	45	55	48	54
$x_l, \text{ Ом}$	0,52	0,15	0,12	0,08	0,44	0,48	0,07
$x_{ad}, \text{ Ом}$	1,0	1,32	1,24	1,18	1,65	1,82	1,05
$x_{aq}, \text{ Ом}$	0,74	0,55	0,48	0,32	1,15	1,22	0,90

1 - нұсқаның шешуі

1. Айқын полюсті синхронды генератор кернеуінің теңдеуі

$$U_1 = E_0 + E_{ld} + E_{lq} + E_{\sigma l}.$$

2. Зәкір реакциясының бойлық ось бойынша ЭҚК

$$E_{ld} = -j I_{I\text{ном}} x_{ad} \sin \psi_1 = -j 54 \cdot 1,0 \cdot 0,766 = -j 41,4 \text{ В.}$$

3. Зәкір реакциясының көлденең ось бойынша ЭҚК

$$E_{Iq} = -jI_{ном} \cos \psi_1 = -j54 \cdot 0,74 \cdot 0,643 = -j25,7 \text{ В.}$$

4. Таралу ЭҚК

$$E_{I\sigma} = -jI_{ном} x_l = -j54 \cdot 0,52 = -j28 \text{ В.}$$

5. Кернеулердің векторлық диаграммаларын келесі ретпен құрастырамыз (4.2-сурет): диаграмманың басынан (О нүктесі) кез келген бағытта $I_{ном}$ тоқ векторын жүргіземіз; осы вектордан алынған $m_U = 2$ В/мм кернеу масштабында ψ_1 бұрышпен E_0 негізгі ЭҚК векторын жүргіземіз. Индуктивті сипаттағы жүктеме кезінде зәкір реакциясының магнитсіздендіруші әсерін ескере отырып, E_0 ЭҚК векторының соңынан қарама-қарсы бағытта зәкір реакциясының бойлық ось бойынша ЭҚК E_{Iq} векторын жүргіземіз. Одан кейін, осы вектордың соңынан E_0 негізгі ЭҚК векторына 90° бұрышпен зәкір реакциясының көлденең ось бойынша ЭҚК $E_{I\sigma}$ векторын жүргіземіз, одан кейін E_{Iq} векторының соңынан тоқ векторына 90° бұрышпен $E_{I\sigma}$ таралу ЭҚК векторын саламыз. Диаграмманың басы (О нүктесі) мен $F_{I\sigma T}$ векторының соңын қосу арқылы генератор шығысындағы $U_{ном}$ номиналды кернеуінің векторын аламыз. Оның ұзындығын өлшеп (115,5 мм), $m_U = 2$ А/мм кернеу масштабына көбейткенде, осы кернеудің өлшемін анықтаймыз

$$U_{ном} = 115,5 \cdot 2 = 231 \text{ В.}$$

Статор орамын «жұлдыз» тәрізді қосқан кезде, статор орамының шығысындағы кернеу $U_{I\lambda} = 231 \cdot 1,73 = 400 \text{ В}$ болады.

$U_{ном}$ және $I_{ном}$ векторларының арасындағы бұрышты өлшегеннен кейін, $\varphi_{ном} = 40^\circ$ фазалық ауытқу мен $\cos \varphi_{ном} = 0,766$ (инд.) қуат коэффициентін анықтаймыз.

6. Генератор шығысындағы толық номиналды қуат

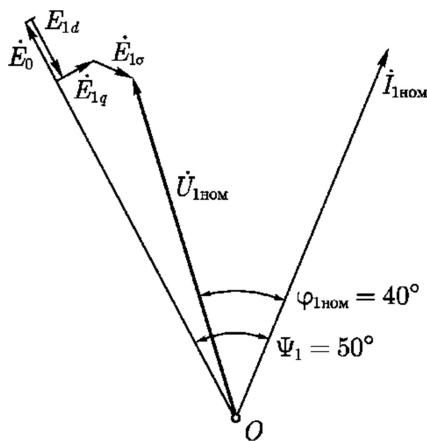
$$S_{ном} = 3U_{ном} I_{ном} = 3 \cdot 231 \cdot 54 \cdot 10^{-3} = 37,4 \text{ кВ} \cdot \text{А.}$$

7. Генератор шығысындағы активті қуат

$$P_{ном} = S_{ном} \cos \varphi_{ном} = 37,4 \cdot 0,766 = 28,6 \text{ кВт.}$$

8. Жүктемені түсіргенде кернеудегі номиналды өзгеріс

$$\Delta U_{ном} = [(E_0 - U_{ном})/U_{ном}]100 = [(280 - 231)/231]100 = 21,2 \%,$$



4.2-сурет. Синхронды айқын полюсті генератордың активті-индуктивті жүктеме кезіндегі ЭҚК векторлық диаграммасы

яғни жүктемені номиналдыдан бос жүріс режиміне түсіргенде генератор шығысындағы кернеу 21,2 % артады.

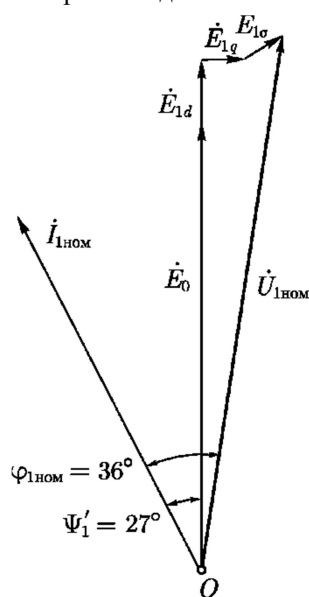
4.3-есеп. 4.2-кестеде келтірілген өлшем мәндерін қолдана отырып, активті-сыйымдылықты жүктеме жағдайы үшін генератордың қажетті параметрлерін анықтау: E_0 ЭҚК мен $I_{ном}$ жүктеме тоқ векторлары арасындағы фазалық ауытқу бұрышын, $\Psi'_1 = 0,5\Psi_1$ деп алу.

1 - н ұ с қ а н ы ң ш е ш у і

1. 4.2-есепті шығару барысында келесі өлшемдер анықталды:

$$E_{1d} = -j41,4 \text{ В}; E_4 = -j25,7 \text{ В}; E_{1\sigma} = -j28 \text{ В}.$$

2. Жүктеменің сыйымдылықты сипатында тоқ ЭҚКті фаза бойынша озады, сондықтан векторлық диаграмманы құрастырған кезде жүктеменің $I_{ном}$ тоқ векторын E_0 ЭҚК векторынан солға қарай $\Psi'_1 = 0,5\Psi = 0,5 \cdot 54 = 27^\circ$ бұрышқа жылжытамыз (4.3-сурет). Жүктеменің сыйымдылықты сипаты кезінде зәкір реакциясы генераторға магниттеуші әсер ететіні белгілі. Сондықтан E_{1d} ЭҚК векторын E_0 негізгі ЭҚК векторының бағытында қалдырады. Векторлық диаграмманы құрастыру ретінің өзге тұстары 4.2-есепте диаграмманы құрастырғандағыдай қалады. Құрастырулар нәтижесінде ұзындығы 170 мм $U_{ном}$ номиналды кернеу векторы алынды.



4.3-сурет. Синхронды айқын полюсті генератордың активті-индуктивті жүктеме кезіндегі кернеуінің векторлық диаграммасы

Алынған $m_u = 2 \text{ В/мм}$ кернеу масштабын ескере отырып, $U_{ном} = 340 \text{ В}$ кернеуін анықтаймыз, мұндағы желілік кернеу $U_{л} = 640 \text{ В}$. $I_{ном}$ тоқ векторы мен $U_{ном}$ кернеу векторының арасындағы фазалық ауытқу бұрышы $\varphi_{1ном} = 36^\circ$ болса, ал қуат коэффициенті $\cos\varphi_{1ном} = 0,809$ (сый.).

3. Генератор шығысындағы толық қуат

$$S_{ном} = 3U_{ном}I_{ном} \cdot 10^{-3} = \\ = 3 \cdot 340 \cdot 54 \cdot 10^{-3} = 55 \text{ кВ} \cdot \text{А}$$

4. Генератор шығысындағы активті қуат

$$P_{ном} = S_{ном} \cos\varphi_{1ном} = \\ = 55 \cdot 0,809 = 44,5 \text{ кВт}$$

5. Жүктемені түсіру кезіндегі генератор кернеуіндегі номиналды өзгеріс

$$\Delta U_{ном} = [(E_0 - U_{ном})/U_{ном}]100 = \\ = [(280 - 340)/340]100 = -17,6\%,$$

яғни жүктемені түсіргенде генератор шығысындағы кернеу 17,6 % артады.

4.2 және 4.3-есептердің нәтижелерін салыстыру синхронды генераторлардың қасиеттері (толық және активті қуаттардың номиналды мәндері, жүктемені түсіргенде кернеудің номиналды мәнінің өзгеруі) едәуір деңгейде жүктеме сипатынан тәуелді екенін көрсетеді.

4.4-есеп. Номиналды қуаты $P_{ном}$ және номиналды (фазалық) кернеуі $U_{1ф-ном}$ үш фазалы синхронды генератор $\cos\varphi_{ном} = 0,8$ (инд.) қуат коэффициентімен жұмыс істейді. Статор фазасының орамының индуктивті таралу кедергісі x_l (4.3-кесте); қысқа тұйықталу қатынасы ҚТҚ, айнымалы тоқ жиілігі 50 Гц.

ЭҚК тәжірибелік диаграммасын құрастырып, ол бойынша жүктемені $A_{ном}$ түсіргенде генератордың номиналды кернеуіндегі өзгерісті анықтау керек. Статор орамасы фазасының активті кедергісін есепке алмау. Генератордың бос жүріс сипаттамасы қалыпты.

4.3-кесте

Параметр	Нұскалар									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$U_{1ном}, В$	230	230	230	400	400	400	400	230	230	230
$OK3$	1,4	1,2	1,3	1,1	1,4	1,1	1,2	1,3	1,2	1,4
$x_l, Ом$	0,15	0,32	0,45	0,32	0,28	0,25	0,18	0,32	0,32	0,18

1 - н ұ с қ а н ы ң ш е ш у і

1. Статордың номиналды тоғы

$$I_{ном} = S_{ном} / (m_1 U_{1ном} \cos\varphi_{1ном}) = 55000 / (3 \cdot 230 \cdot 0,8) = 100 \text{ A.}$$

2. Кернеудің индуктивті азаюы

$$E_{l\sigma} = j I_{ном} x_l = 100 \cdot j 0,15 = j 15 \text{ В,}$$

немесе салыстырмалы бірліктерде

$$E_{\sigma*} = E_{l\sigma} / U_{1шж} = j 15 / 230 = j 0,15.$$

3. ЭҚК тәжірибелік диаграммасын құрастыру (4.4-бет).

3.1. Төмендегі мәліметтер бойынша бос жүрістің қалыпты сипаттамасын $E_{0*} = f(I_{\theta*})$ салыстырмалы бірліктер өлшемімен құрастырамыз:

E_{0*}	0,58	1,0	1,21	1,33	1,40	1,46	1,51
I_{B*}	0,5	1,0	1,5	2,0	2,5	3,0	3,5

мұндағы $E_{0*} = E_0 / U_{1ном}; I_{\theta*} = I_{\theta} / I_{\thetaном}$



Мұндағы E_0 – генератордың негізгі ЭҚК; I_e – генератордың бос жүріс режимінде қоздыру тоғы; $I_{e0ном}$ – генератордың бос жүріс режиміндегі E_0 негізгі ЭҚК сәйкес келетін қоздыру тоғы.

3.2. Тура осы координаталар өсінде (4.4-суретті карау) қысқа тұйықталу сипаттамасын $I_{\kappa^*} = f(I_{\kappa^*})$ салыстырмалы бірліктері өлшемiмен саламыз, мұндағы

$$I_{K^*} = I_{IK}/I_{I_{HOM}}$$

Қысқа тұйықталудың тура кескінді сипаттамасын екі нүкте арқылы саламыз: О нүктесі – координатала осьтерінің басталуы мен координаталары $I_{K^*} = I$ және $I_{\phi-K-ном}$ К нүктесі.

$I_{В*К*НОМ}^*$ тоғы, генераторды жүктеудің $I_{НОМ}$ номиналды тоғына сәйкес, қоздыру тоғы болып табылады, оның шамасын $ҚТҚ = 1,4$ (қысқа тұйықталу қатынасы) арқылы анықтаймыз

$$KTK = I_{\theta_{\text{ном}}} / I_{\text{в.к.ном}},$$

осыдан

$$I_{B.K.HOM^*} = I_{B.K.HOM} / I_{B0HOM} = 1 / KTK = 1/1,4 = 0,71.$$

3.3. Ордината өсінде $U_{\text{НОМ}^*} = 1$ векторын саламыз және

$$\varphi_{1\text{HOM}} = \arccos 0,8 = 37^\circ$$

бұрышпен тік сызық, статор тоғының бағытын, жүргіземіз, оның бойында $I_{ном}^* = 1$ векторын саламыз, ол үшін ордината өсінің 1 с бөлігін циркуль арқылы тоқ бағытының сызығына белгілейміз.

3.4. $U_{ном}^*$ кернеу векторының соңынан 90° бұрышпен статор тоғының бағытында ЭҚК таралу векторын жүргіземіз (кернеудің индуктивті құлауы)

$$E_{I\sigma}^* = j0,15.$$

3.5. Координаталар осінің басы О нүктесін 4* векторының соңымен косу арқылы жүктелген генератордың ЭҚК векторын аламыз

$$E_{нз}^* = U_{ном}^* + E_{I\sigma}^* = 1,09$$

3.6. $E_{нг}^*$ векторының соңын бос жүріс сипаттамасына проекциялаймыз да, ВС кесіндісін аламыз, одан кейін оны абсцисса өсіне проекциялап, жүктелген генератордың $E_{нг}^* = 1,09$ ЭҚК сәйкес келетін қоздыру тоғының $I'_в = 1,17$ өлшемін анықтаймыз.

3.7. $E_{I\sigma}^* = j0,15$ таралу ЭҚК орнын толтыратын $I_{вх}^*$ қоздыру тоғының шамасын анықтайық; бұл мақсатпен ордината өсінің О нүктесінде E_{σ}^* векторын саламыз, алынған Н нүктесін бос жүріс сипаттамасына, одан кейін абсцисса өсіне көшіреміз де, $E_{I\sigma}^* = j0,15$ таралу ЭҚК баламалы қоздыру тоғының $I_{вх} = 0,11$ өлшемін аламыз.

3.8. Синхронды генератор жүктемесіз жұмыс істеген кезде (бос жүріс режимі), оның E_0^* негізгі ЭҚК $E_{нг}^*$ ЭҚКнен зәкір реакциясының бойлық ось бойынша ЭҚК E_{ld}^* шамаға артық, яғни

$$E_0^* = E_{нз}^* + E_{ld}^*.$$

E_{ld}^* есептеу үшін зәкір реакциясының бойлық-магнитсіздендіруші әрекетіне сәйкес келетін $I_{вд}^*$ қоздыру тоғын анықтаймыз. $I_{вд}^*$ шамасы абсцисса өсіндегі LG кесіндісі арқылы анықталады: $I_{вд}^* = 0,6$.

3.9. D нүктесінен

$$\varphi'_l = \gamma + \phi I_{ном} = 7 + 37 = 44^\circ$$

бұрышпен CD вертикаль сызыққа қарай $DM = I_{вд}^* = 0,6$ вектор сызамыз. Одан кейін О нүктесінен радиусы OM доғаны абсцисса өсімен N нүктесінде қиылысқанша саламыз. Алынған $ON = 1,65$ кесіндісі генератордың негізгі ЭҚК сәйкес келетін $I_{в0ном}$ қоздыру тоғын көрсетеді

$$E_0^* = PN = 1,3.$$

3.10. Барлық жасалған құрастырулар нәтижесінде жүктеме түсірген кездегі кернеудегі номиналды өзгерісті анықтаймыз

$$\Delta U_{ном} = (E_0^* - U_{1ном}^*) / U_{1ном}^* = (1,3 - 1) / 1 = 0,3 \text{ немесе } 30\%.$$

4.5-есеп. Номиналды қуаты $S_{\text{ном}}$ және полюстер саны $2p$ үш фазалы, құрылымы айқын полюсті синхронды генератор кернеуі U_1 , жиілігі $f = 50$ Гц желімен параллель жұмысқа жалғанған. Генератор статорының ұзындығы l_l және диаметрі D_l ; ауалық саңылаудағы магниттік индукция B_δ , статор білігінің болатпен толтырылу коэффициенті $k_c = 0,95$. Статордың фазалық орамы орамалық коэффициенті $k_{\text{айн1}} = 0,92$ тізбектей жалғанған w_l орамдардан тұрады. Статордың фазалық орамалары «жұлдыз» тәрізді жалғанған. Генератордың синхронды индуктивті кедергілері: бойлық ось бойынша x_d , көлденең ось бойынша. Аталған параметрлердің мәндері 4.4-кестеде берілген.

Генератор роторына әрекет ететін тежегіш иінкүштерді анықтау керек: негізгі $M_{\text{нег}}$, реактивті M_p және қорытқы $M = M_{\text{нег}} + M_p$ және осы иінкүштердің графиктерін θ бұрышының функциясында салу; егер номиналды жүктеме режимі $\theta_{\text{ном}} = 16,5^\circ$ жүктеме бұрышына сәйкес болса, генератордың асқын жүктемелік қабілетін анықтау.

4.4-кесте

Параметр	Нұсқалар						
	1	2	3	4	5	6	7
$S_{\text{ном}}, \text{kB} \cdot \text{A}$	640	400	700	950	630	460	570
U_1, B	6000	660	6000	6000	6000	660	660
$2p$	12	8	10	16	12	8	10
$D_l, \text{м}$	0,80	0,92	0,86	1,80	1,0	0,80	1,0
$l_l, \text{м}$	0,52	0,25	0,35	0,50	0,50	0,30	0,32
$B_\delta, \text{Тл}$	0,88	0,78	0,80	0,85	0,78	0,76	0,80
орам саны w_l	420	66	480	450	380	62	58
$x_d, \text{Ом}$	89	1,70	85	62,7	96,5	1,50	0,95
$x_q, \text{Ом}$	41,4	0,78	36,6	21,5	33,6	0,45	0,37

1 - нұсқаның шешуі

1. Генератордың фазалық кернеуі

$$U_{1\phi} = 6000/1,73 = 3468 \text{ В.}$$

2. Полюстік бөліну

$$\tau = \pi D_l / 2p = 3,14 \cdot 0,80 / 12 = 0,21 \text{ м.}$$

3. Негізгі магниттік ағын

$$\Phi = (2/\pi) B_\delta \tau l_l k_c = 0,64 \cdot 0,88 \cdot 0,21 \cdot 0,52 \cdot 0,95 = 0,058 \text{ Вб.}$$

4. Генератордың негізгі ЭҚК

$$E_0 = 4,44 f_l \Phi w_l k_{o6l} = 4,44 \cdot 50 \cdot 0,058 \cdot 420 \cdot 0,92 = 4975 \text{ В.}$$

5. Синхронды бұрыштық айналу жиілігі

$$\omega_1 = 2\pi f_1/p = 2 \cdot 3,14 \cdot 50/6 = 52,3 \text{ рад/с немесе } n = 500 \text{ айн/мин.}$$

6. Генератордың негізгі элеткрмагниттік иінкүшінің максималды мәні ($\theta = 90^\circ$)

$$M_{\text{осн max}} = \frac{m_1 U_{1\phi} E_0}{\omega_1 x_d} = \frac{3 \cdot 3468 \cdot 4975}{52,3 \cdot 89} = 11\,120 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

7. Генератордың реактивті иінкүшінің максималды мәні

$$M_{p \text{ max}} = \frac{m_1 U_{1\phi}^2}{2\omega_1} \left(\frac{1}{x_q} - \frac{1}{x_d} \right) = \frac{3 \cdot 3468^2}{2 \cdot 52,3} \left(\frac{1}{41,4} - \frac{1}{89} \right) = 4484 \text{ Н} \cdot \text{м.}$$

8. Негізгі иінкүшті есептеу нәтижелері

$$M_{\text{нер}} = M_{\text{нерmax}} \sin \theta,$$

реактивті иінкүш үшін

$$M_p = M_{p \text{ max}} \sin 20$$

қорытқы иінкүш үшін

$$M = M_{\text{нер}} + M_p$$

0 жүктеме бұрышының бірқатар мәндері 4.5-кестеде көрсетілген.

9. Қорытқы иінкүштің максималды мәніне сәйкес келетін $\theta_{\text{кр}}$ жүктеме бұрышының критикалық мәні

$$\cos \theta_{\text{кр}} = \sqrt{\beta^2 + 0,5 - \beta} = \sqrt{0,25^2 + 0,5 - 0,25} = 0,49; \sin \theta_{\text{кр}} = 0,857,$$

осыдан

$$\theta_{\text{кр}} = \arccos 0,49 = 59^\circ,$$

мұндағы

$$\beta = E_0/[4U_{1\phi}(x_d/x_q - 1)] = 4975/[4 \cdot 3468(89/41,4 - 1)] = 0,31.$$

4.5 - кесте

Параметр	Параметр мәні					
$\theta, \text{град.}$	20	30	45	60	70	90
$\sin \theta$	0,342	0,500	0,707	0,866	0,940	1,00
$M_{\text{нер}}, \text{Н} \cdot \text{м}$	3803	5560	7861	9629	10 452	11120
$\sin 2\theta$	0,643	0,866	1,00	0,866	0,643	0,00
$M_p, \text{Н} \cdot \text{м}$	2883	3883	4484	3883	2883	0,00
$M, \text{Н} \cdot \text{м}$	6686	9443	12 345	13 512	13 335	11120

$\theta_{кр} = 59^\circ$ бұрышына келесі иінкүштер сәйкес келеді:

$$M'_{нег} = M_{нег\ max} \sin \theta_{кр} = 11\ 120 \cdot 0,857 = 9530\ H \cdot м;$$

$$M'_p = M_{p\ max} \sin 2\theta_{кр} = 4484 \cdot 0,883 = 3960\ H \cdot м;$$

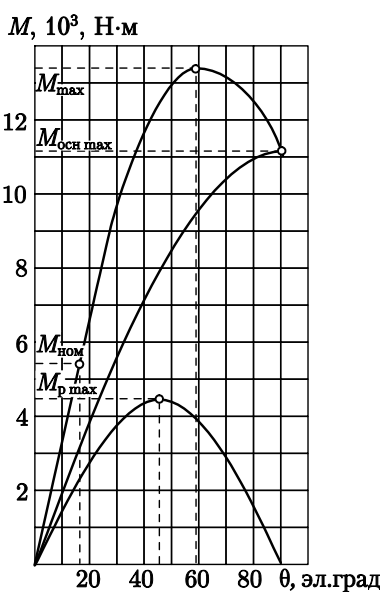
$$M_{max} = M'_{нег} + M'_p = 9530 + 3960 = 13\ 490\ H \cdot м.$$

10. Есептеулер нәтижелері бойынша синхронды айқын полюсті генератордың бұрыштық сипаттамалары құрастырылды (4.5-сурет).

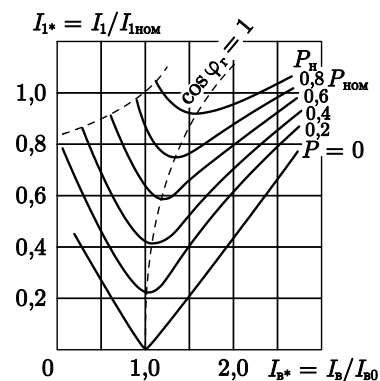
$M = f(\theta)$ қорытқы иінкүштің сипаттамасы бойынша $\theta_{ном} = 16,5^\circ$ болғандағы номиналды режим иінкүшін анықтаймыз: $M_{ном} = 5600\ H \cdot м$, олай болса, генератордың асқын жүктемелік қабілеті $M_{max}/M_{ном} = 13\ 490/5600 = 2,4$ тең.

4.6-есеп. Қуаты $S_{ном}$ үш фазалы синхронды генератор, салыстырмалы бірліктерде салынған U-тәрізді сипаттамада координаталары I_{I*} және I_{B*} нүкте режимінде, кернеуі U желімен параллель жұмыс істейді (4.6-сурет).

Анықтау керек: статор тізбегіндегі I_I тоқ күші мен оның активті және реактивті құрамдас бөліктерін; генератордың желіге беретін S_r қуатын және оның активті және реактивті құрамдас бөліктерін;



4.5-сурет. Синхронды генератордың бұрыштық сипаттамасы U-тәрізді сипаттамасы



4.6-сурет. Желімен параллель жұмысқа қосылған үш фазалы генератордың

Параметр	Нұсқалар					
	1	2	3	4	5	6
$S_{ном}, \text{кВ} \cdot \text{А}$	500	1000	1300	300	800	2000
$U_c, \text{кВ}$	0,4	6,3	10,5	0,4	6,3	10,5
I_{I*}	0,6	0,8	0,5	0,8	0,88	0,6
I_{B*}	1,9	2,0	1,4	1,15	2,0	1,9

Генератордың $\cos \varphi_r$ қуат коэффициентін. Есепті шешуге қажетті параметрлердің мәндері 4.6-кестеде берілген.

Сұрақтарға жауап беру:

а) қандай жағдайларда желімен параллель жұмысқа қосылған синхронды генератордың тым қозып жұмыс істегені дұрыс, ал қандай жағдайларда жете қозбай жұмыс істегені дұрыс?

б) неге генератордың активті қуаты артқан сайын, $\cos \varphi_r = 1$ сәйкес келетін қоздыру тоғының мәні артады?

1 - н ұ с қ а н ы ң ш е ш у і

1. Статордың номиналды тоғы

$$I_{ном} = S_{ном} / (\sqrt{3} U_c) = 500 / (1,73 \cdot 0,4) = 722 \text{ А.}$$

2. Синхронды генератордың U-тәрізді сипаттамасынан координаталары $I_{I*} = 0,6$ және $I_{B*} = 1,9$ нүкте режимінде генератордың жұмысы $P = 0,2 P_{ном}$ активті жүктеме кезіндегі сипаттамасын анықталатынын көруге болады; генератордың статор тізбегіндегі ток

$$I_1 = 0,6 I_{ном} = 0,6 \cdot 722 = 433 \text{ А.}$$

3. $0,2 P_{ном}$ сипаттамасындағы I_{B0} қоздыру тоғына сәйкес келетін координата арқылы анықталатын статор тоғының активті құрамдас бөлігі:

$$I_{1a} = 0,22 I_{ном} = 0,22 \cdot 722 = 159 \text{ А.}$$

4. Генератордың қуат коэффициенті

$$\cos \varphi_e = I_{1a} / I_1 = 159 / 433 = 0,367.$$

5. Генератордың тым қоздыру ($I_{B*} = 1,9$) нәтижесінде туындаған реактивті (индуктивті) тоғы

$$I_{1p} = I_1 \sin \varphi_e = 433 \cdot 0,930 = 403 \text{ А.}$$

6. Генератор жүктемесінің толық қуаты

$$S_r = \sqrt{3} U_1 I_1 = 1,73 \cdot 0,4 \cdot 433 = 300 \text{ кВ} \cdot \text{А.}$$

7. Генератор жүктемесінің қуатының активті құрамдас бөлігі

$$P_r = S_r \cos \varphi_e = 300 \cdot 0,367 = 110 \text{ кВт.}$$

8. Генератор жүктемесінің қуатының реактивті құрамдас бөлігі

$$Q_r = S_r \sin \varphi_r = 300 \cdot 0,930 = 279 \text{ квар.}$$

9. $\cos \varphi_r = 1$ сәйкес, яғни $I_1 = I_{1a} = 159 \text{ А}$ статор тоғына сәйкес келетін қоздыру тоғы сипаттама бойынша $I_{B*} = 1,1$ екенін анықтаймыз.

4.7-есеп. Желімен параллель жұмысқа қосылған синхронды қозғалтқыштың U-тәрізді сипаттамасын (4.6-суретті қарау) қолдана отырып, генератордың қуат коэффициенті $\cos \varphi_r = \text{const}$ тұрақты болғандағы генератордың $I_{B*} = f(P_*)$ реттемелік сипаттамасын құрастыру, қуат коэффициентінің мәндері төменде ұсынылған:

Нұсқалары	1	2	3	4	5	6
$\cos \varphi_r$	0,7	0,75	0,8	0,85	0,9	0,95

4.7-кесте

P_*	I_{1a*}	L	Жете қозбауы I_{B*1}	Тым қозуы I_{B*2}
0,2	0,22	0,31	0,75	1,25
0,4	0,41	0,58	0,53	1,52
0,6	0,58	0,83	0,52	2,2
0,8	0,72	1,02	—	2,8

1 - нұсқаның шешуі

1. Генератор қуатының коэффициенті $\cos \varphi_r = 1$ қуат коэффициентіне сәйкес келетін статор тоғының активті құрамдас бөлігінің толық статор тоғына қатынасы арқылы анықталады:

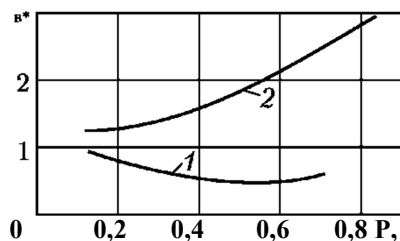
$$\cos \varphi_r = I_{1a*} / I_1^*,$$

осыдан қуат коэффициентінің берілген мәніндегі статор тоғы

$$I_1^* = I_{1a*} / \cos \varphi_r.$$

2. Статор тоғының активті құрамдас бөлігінің мәндерін

$$I_{1a*} = 0,2; 0,4; 0,6 \text{ және } 0,8,$$



4.7-сурет. Синхронды генератордың реттемелік сипаттамасы

деп алып, статор тоғының толық тоғының I_{1a*} сәйкес мәндерін анықтаймыз және осы мәндердің әрқайсысы үшін U-тәрізді сипаттама бойынша екі I_{B*} қозу тоқтарын анықтаймыз — біреуі генератордың жете қозбау режиміне, ал екіншісі — тым қозу режиміне. Барлық алынған мәліметтерді 4.7-кестеге жазамыз.

3. 4.7-кестенің берілгені бойынша екі реттемелік сипаттама құрастырамыз (4.7- сурет):

$$I_{\phi*1} = f(P_*) \text{ жете қозбау режимі үшін (1-график);}$$

$$I_{B*2} = f(P_*) \text{ тым қозу режимі үшін (2-график).}$$

Синхронды қозғалтқыштар мен компенсаторлар

4.8-есеп. СДН2 топтамасының үш фазалы синхронды қозғалтқышының тізімдемедегі мәліметтері: номиналды қуат $P_{\text{ном}}$, полюстер саны $2p$, ПӘК $\eta_{\text{ном}}$; еселіктер — іске қосу тоғының $I_{\Pi}/I_{\text{ном}}$, іске қосу иінкүшінің $M_{\Pi}/M_{\text{ном}}$, максималды синхронды иінкүштің $M_{\text{max}}/M_{\text{ном}}$, $s = 5\%$ сырғу кезіндегі асинхронды иінкүштің (синхронизмге кіру иінкүші) $M_{5\%}/M_{\text{ном}}$; статор орамдары «жұлдыз» етіліп қосылған. Аталып өткен өлшемдердің мәндері 4.8-кестеде берілген.

Анықтау керек: айналу жиілігін, статор тізбегіндегі номиналды және іске қосу тоқтарын, номиналды, максималды синхронды, іске қосу иінкүштері мен синхронизмге кірудің асинхронды иінкүшін ($s = 5\%$ болғанда). 50 Гц жиілікте қуат беруші желінің кернеуі $U_c = 10$ кВ, қуат коэффициенті $\cos\varphi_1 = 0,8$.

4.8-кесте

Қозғалтқыш түрі	$P_{\text{ном}}$, кВт	$2p$	$\eta_{\text{ном}}$, %	$M_{\text{max}}/M_{\text{ном}}$	$M_{5\%}/M_{\text{ном}}$	$M_{\Pi}/M_{\text{ном}}$	$I_{\Pi}/I_{\text{ном}}$
16-36-12	500	12	93,7	1,9	1,3	1,0	5,2
16-44-12	630	12	94,2	1,9	1,3	1,0	5,1
17-31-12	800	12	94,3	1,9	1,1	1,0	4,7
17-39-12	1000	12	94,9	1,8	1,0	1,0	4,5
17-49-12	1250	12	95,3	1,9	1,2	1,1	5,2
18-64-12	2500	12	96,2	1,8	1,4	1,2	6,5
16-36-10	630	10	94,4	1,8	1,4	0,75	5,0
16-44-10	800	10	94,9	1,8	1,3	0,75	5,0
17-44-10	1250	10	95,5	1,9	1,2	1,1	5,4
17-51-10	1600	10	95,9	1,8	1,2	1,0	5,2

СДН2-16-36-12 нұсқасының шешуі.

1. Айналу жиілігі

$$n_1 = 60f/p = 60 \cdot 50/6 = 500 \text{ айн/мин.}$$

2. Қозғалтқыштың номиналды жүктеме режимінде тұтынатын қуаты

$$P_{1\text{ном}} = P_{\text{ном}}/\eta_{\text{ном}} = 500/0,937 = 534 \text{ кВт.}$$

3. Статор тізбегіндегі номиналды жүктеме режиміндегі ток

$$I_{\text{ном}} = P_{\text{ном}} / (\sqrt{3} U_1 \cos \varphi_1) = 534 / (1,73 \cdot 10 \cdot 0,8) = 39 \text{ A.}$$

4. Статор тізбегіндегі іске қосу тоғы

$$I_{\text{п}} = I_{\text{ном}} (I_{\text{п}} / I_{\text{ном}}) = 39 \cdot 5,2 = 203 \text{ A.}$$

5. Номиналды жүктеме режиміндегі қозғалтқыш білігіндегі иінкүш

$$M_{\text{ном}} = 9,55 P_{\text{ном}} / n_1 = 9,55 \cdot 500 \cdot 10^3 / 500 = 9550 \text{ H} \cdot \text{м.}$$

6. Максималды (синхронды) иінкүш

$$M_{\text{мах}} = M_{\text{ном}} (M_{\text{мах}} / M_{\text{ном}}) = 9550 \cdot 1,9 = 18145 \text{ H} \cdot \text{м.}$$

7. Іске қосу иінкүші

$$M_{\text{п}} = M_{\text{ном}} (M_{\text{п}} / M_{\text{ном}}) = 9550 \cdot 1,0 = 9550 \text{ H} \cdot \text{м.}$$

8. Синхронизмге кіру иінкүші (5% сырғу кезіндегі асинхронды иінкүш)

$$M_{5\%} = M_{\text{ном}} (M_{5\%} / M_{\text{ном}}) = 9550 \cdot 1,3 = 12415 \text{ H} \cdot \text{м.}$$

4.9-есеп. 50 Гц жиіліктегі номиналды қуаты $P_{\text{ном}}$ және жеткізу кернеуі U_1 , полюстер саны $2p$ (4.9-кесте) үш фазалы синхронды қозғалтқыш үшін, салыстырмалы бірліктегі жұмыс сипаттамасын қолдана отырып (4.8-сурет), анықтау керек: толық S , активті P_I және реактивті Q қуаттарды, ПӘК η , $\cos \varphi$ қуат коэффициенті мен қуат коэффициентінің ең үлкен мәні мен ПӘК-тің ең үлкен мәніне сәйкес келетін жүктеме кезіндегі қозғалтқыш білігіндегі M_2 иінкүшін.

4.9-кесте

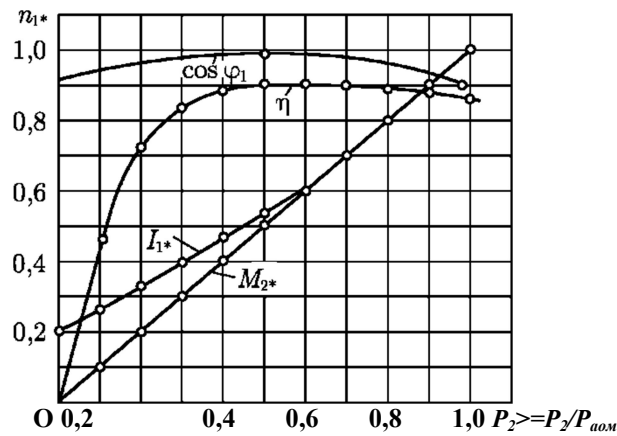
Параметр	Нұсқалар							
	1	2	3	4	5	6	7	8
$P_{\text{ном}}, \text{kВт}$	132	200	315	630	400	250	500	315
$U_1, \text{kВ}$	0,38	0,38	6,0	6,0	6,0	0,38	6,0	0,38
$2p$	12	12	8	6	8	10	8	10

1 - нұсқаның шешуі

1. Қозғалтқыштың $P_{2*} = 1$ номиналды жүктеме режиміне параметрлердің келесі номиналды мәндері сәйкес келеді: қуат коэффициенті $\cos \varphi_{\text{ном}} = 0,890$; ПӘК $\eta_{\text{ном}} = 86 \%$. Осы өлшемдерді пайдалана отырып, анықтаймыз:

а) статордың номиналды тоғын

$$I_{\text{ном}} = P_{\text{ном}} / (\sqrt{3} U_1 \eta_{\text{ном}} \cos \varphi_{\text{ном}}) = 132 / (1,73 \cdot 0,38 \cdot 0,86 \cdot 0,89) = 262 \text{ A};$$



4.8-сурет. Үш фазалы синхронды қозғалтқыштың жұмыс сипаттамасы

б) қозғалтқыш білігіндегі номиналды иінкүшті

$$M_{2\text{ном}} = 9,55 P_{\text{ном}} / n_1 = 9,55 \cdot 132 \cdot 10^3 / 500 = 2521 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

2. Қозғалтқыштың жұмыс сипаттамасынан қуат коэффициентінің ең үлкен мәні $\cos \varphi_{\text{max}} = 0,980$ жүктеменің $P_{21*} = 0,5$ мәніне сәйкес келетінін көреміз, яғни қозғалтқыштың пайдалы қуаты

$$P_{21} = 0,5 P_{\text{ном}} = 0,5 \cdot 132 = 66 \text{ кВт},$$

ал ПЭК-тің ең үлкен мәні $\eta_{\text{max}} = 0,90$ $P_{22*} = 0,6$ жүктемеге сәйкес келеді, яғни қозғалтқыштың пайдалы қуаты

$$P_{22} = 0,6 P_{\text{ном}} = 0,6 \cdot 132 = 79,2 \text{ кВт}.$$

3. Көрсетілген жүктеме мәндеріне келесі мәндер сәйкес келеді (4.8-суретті қарау):

а) статор токтары:

$$I_{11} = 0,52 I_{1\text{ном}} = 0,52 \cdot 262 = 136 \text{ А},$$

$$I_{12} = 0,61 I_{1\text{ном}} = 0,61 \cdot 262 = 160 \text{ А};$$

б) толық қуат

$$S_1 = \sqrt{3} U_1 I_{11} = 1,73 \cdot 0,38 \cdot 136 = 89 \text{ кВ} \cdot \text{А},$$

$$S_2 = \sqrt{3} U_1 I_{12} = 1,73 \cdot 0,38 \cdot 160 = 105 \text{ кВ} \cdot \text{А};$$

в) қуат коэффициенті

$$\cos \varphi_u = \cos \varphi_{\text{max}} = 0,980; \sin \varphi_n = 0,199;$$

$$\cos \varphi_{12} = 0,970; \sin \varphi_{12} = 0,242;$$

г) реактивті қуат

$$Q_1 = S_1 \sin \varphi_{11} = 89 \cdot 0,199 = 17,7 \text{ квар},$$

$$Q_2 = S_2 \sin \varphi_{12} = 105 \cdot 0,242 = 25,4 \text{ квар};$$

д) тұтынатын активті қуат

$$P_{11} = S_1 \cos \varphi_{11} = 89 \cdot 0,980 = 87 \text{ кВт},$$

$$P_{12} = S_2 \cos \varphi_{12} = 105 \cdot 0,970 = 102 \text{ кВт};$$

е) қозғалтқыш білігіндегі иінкүш

$$M_{21} = 0,5 M_{2\text{ном}} = 0,5 \cdot 2521 = 1260 \text{ Н} \cdot \text{м},$$

$$M_{22} = 0,6 M_{2\text{ном}} = 0,6 \cdot 2521 = 1513 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

4.10-есеп. Үш фазалы синхронды турбоқозғалтқыштың ($2p = 2$) техникалық мәліметтері 4.10-кестеде берілген: номиналды қуат $P_{\text{ном}}$, $f = 50$ Гц жиіліктегі кернеу (желілік) U_l , ПӘК $\eta_{\text{ном}}$, қуат коэффициенті $\cos \varphi_{1\text{ном}} = 0,9$, статордың синхронды индуктивті кедергісі x_c ; статор орамасы «жұлдыз» етіліп қосылған; статор орамының активті кедергісін ескермеу. Мәліметтерді есептеп, қозғалтқыштың бұрыштық сипаттамасын құрастырып, оның асқын жүктемелік қабілетін анықтау керек.

4.10-кесте

Параметр	Нұсқалар					
	1	2	3	4	5	6
$P_{\text{ном}}$, кВт	2500	630	800	1250	1600	1000
U_l , кВ	6,0	6,0	6,0	10,0	10,0	10,0
$\eta_{\text{ном}}$, %	96,4	93,8	94,4	94,8	95,6	95,4
x_c , Ом	7,2	27,0	21,5	39,5	30,0	48,0

1 - нұсқаның шешуі

1. Статордың номиналды режимдегі тоғы

$$I_{1\text{ном}} = P_{\text{ном}} / \sqrt{3} U_l \eta_{\text{ном}} \cos \varphi_{1\text{ном}} =$$

$$= 2500 / (1,73 \cdot 6,0 \cdot 0,964 \cdot 0,9) = 278 \text{ А}.$$

2. Статордың фазалық орамындағы индуктивті кернеудің құлауы ескерілген, айқын емес полюсті қозғалтқыш зәкірінің реакциясының ЭҚК

$$E_c = j I_{1\text{ном}} x_c = j 278 \cdot 7,2 = j 2000 \text{ В}.$$

3. Статордың E_0 ЭҚК графикалық жолмен кернеулердің векторлық диаграммасын құру арқылы анықтаймыз. Диаграмма А4 форматындағы

қағазда құрастырылатынын ескере отырып, кернеу масштабын $m_U = 20$ В/мм деп аламыз. Онда төмендегі фазалық кернеу векторының ұзындығы

$$U_{1\phi} = 6000/1,73 = 3468 \text{ В}$$

173 мм болады, ал зәкір реакциясының $E_c = 2000$ В ЭҚК векторының ұзындығы 100 мм болады. $U_{1\phi}$ және $I_{1\text{ном}}$ векторлар арасындағы фазалық ауытқу бұрышы

$$\varphi_{1\text{ном}} = \arccos 0,9 = 26^\circ.$$

4. Векторлық диаграмма құрастыру (4.9-сурет). $U_{1\phi}$ кернеу векторын саламыз және оған сағат бағытымен $\varphi_{1\text{ном}} = 26^\circ$ бұрышта (ұзындығы кез келген) $I_{1\text{ном}}$ ток векторын жүргіземіз. $U_{1\phi}$ кернеу векторының соңынан $I_{1\text{ном}}$ векторына тік бұрышпен зәкір реакциясының ЭҚК E_c векторын саламыз. E_c векторының басын диаграмма басымен (О нүктесімен) қосқанда, ұзындығы 156 мм болатын E_0 негізгі ЭҚК векторын аламыз. Алынған $m_U = 20$ В/мм кернеу масштабын ескерсек, ЭҚК E_0 өлшемінің мәні

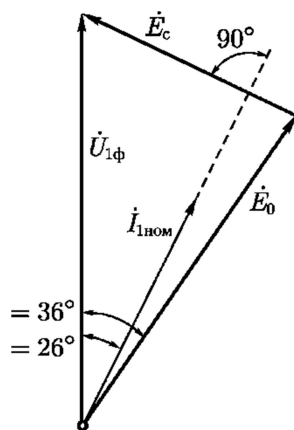
$$E_0 = 156 \cdot 20 = 3120 \text{ В}.$$

5. Турбоқозғалтқыш иінкүшінің максималды мәнін есептеу. Турбоқозғалтқыш айқын емес полюсті синхронды машина болғандықтан, онда тек негізгі электромагниттік иінкүш қана әрекет етеді, оның максималды мәні

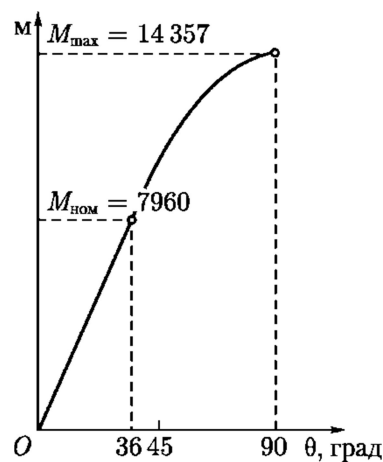
$$M_{\text{негmax}} = m_I U_{1\phi} E_0 / (\omega_1 x_c) = 3 \cdot 3468 \cdot 3120 / (314 \cdot 7,2) = 14\,357 \text{ Н} \cdot \text{м},$$

мұндағы синхронды бұрыштық айналу жиілігі

$$\omega_1 = 2\pi f_1 / p = 2 \cdot 3,14 \cdot 50 / 1 = 314 \text{ рад/с}.$$



4.9-сурет. Кернеулердің векторлық диаграммасы



4.10-сурет. Синхронды турбоқозғалтқыштың бұрыштық сипаттамасы

6. Турбоқозғалтқыштың $M_{нег} = f(\theta)$ синусоидты бұрыштық сипаттамасын құрастырамыз (4.10-сурет):

$$M_{нег} = M_{нег.макс} \sin \theta.$$

7. Қозғалтқыштың номиналды жүктеме кезіндегі иінкүші

$$M_{ном} \approx P_{ном}/\omega_1 = 2500 \cdot 10^3/314 = 7960 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

8. Қозғалтқыштың асқын жүктемелік қабілеті

$$\lambda_m = M_{макс}/M_{ном} = 14\,357/7960 = 1,8.$$

9. Бұрыштық сипаттама бойынша қозғалтқыштың номиналды жүктеме бұрышы

$$\theta_{ном} = 36^\circ,$$

бұл кернеулердің векторлық диаграммасын құрастыру кезінде алынған $\theta_{ном}$ бұрышқа сәйкес келеді (4.9-суретті қарау).

4.11-есеп. Үш фазалы синхронды қозғалтқыштардың U-тәрізді салыстырмалы бірлікте құрастырылған сипаттамалары 4.11-суретте көрсетілген.

Анықтау керек:

а) $I_{в1*}$ қоздыру тоғы мен P_{2*} қуатының берілген салыстырмалы мәндеріндегі қозғалтқыштың $\cos\varphi_1$ қуат коэффициентін (4.11-кесте);

б) қуат коэффициенті $\cos\varphi_1$ тұрақты болғанда, $I_{в*}$ қоздыру тоғының қозғалтқыштың P_{2*} жүктемесінен тәуелділігін; $\cos\varphi_1 = \text{const}$ болғанда $I_{в*} = f(P_{2*})$ графигін салу.

Параметр	Нұсқалар					
	1	2	3	4	5	6
$I_{в*}$	1,6	1,3	1,6	1,0	1,2	1,7
P_{2*}	0,8	0,4	0,4	0,0	0,4	0,8

1 - н ұ с қ а н ы ң ш е ш у і

1. $\cos\varphi_1$ қуат коэффициенті статор тоғының I_{1a*} активті құрамдас бөлігінің статордың I_{1*} толық тоғына қатынасымен анықталады:

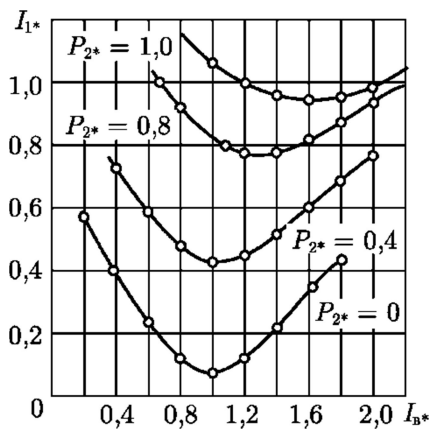
$$\cos\varphi_1 = I_{1a*}/I_{1*}$$

мұндағы $I_{1a*} = 0,77$.

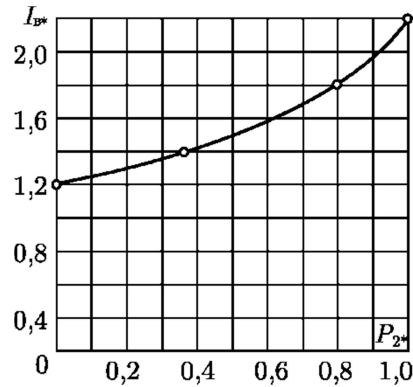
Олай болса, берілген $I_{в*} = 1,6$ және $P_{2*} = 0,8$ мәндер бойынша статор тоғы $I_{1*} = 0,81$ екенін анықтағаннан кейін, есептейміз

$$\cos\varphi_1 = 0,77/0,81 = 0,95.$$

2. U-тәрізді сипаттамалардың көмегімен (4.11-суретті қарау) сәйкес $\cos\varphi_1 = 0,95$, I_{1*} статор тоғын және оған сәйкес келетін қозғалтқыштың әртүрлі P_{2*} жүктемелері үшін $I_{в*}$ қоздыру тоғын анықтаймыз:



4.11- сурет. Синхронды турбокозғалтқыштың U-тәрізді сипаттамалары



4.12-сурет. $\cos\varphi_1 = 0,95 = \text{const}$ болғандағы $I_{в*} = f(P_{2*})$ графигі

жүктеме $P_{2*} = 0$ болғанда

$$I_{1a*} = 0,080; I_{1*} = I_{1a*}/\cos\varphi_1 = 0,080/0,95 = 0,084; I_{в*} = 1,1;$$

жүктеме $P_{2*} = 0,4$ болғанда

$$I_{1a*} = 0,42; I_{1*} = I_{1a*}/\cos\varphi_1 = 0,42/0,95 = 0,44; I_{в*} = 1,2;$$

жүктеме $P_{2*} = 1,0$ болғанда

$$I_{1a*} = 0,93; I_{1*} = I_{1a*}/\cos\varphi_1 = 0,93/0,95 = 0,98; I_{в*} = 2,0.$$

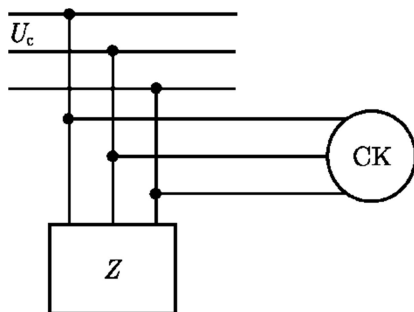
Есептеу нәтижелерін 4.12-кестеге енгіземіз.

3. 4.12-кестенің берілгені бойынша $\cos\varphi_1 = 0,95 = \text{const}$ болған кезде $I_{в*} = f(P_{2*})$ графигін саламыз (4.12-сурет).

4.12-кесте

Параметр	Параметр мәндері			
P_{2*}	0,0	0,4	0,8	1,0
I_{1a*}	0,080	0,42	0,77	0,93
I_{1*}	0,084	0,44	0,81	0,98
$I_{в*}$	1,1	1,2	1,6	2,0

4.12-сурет. Кернеуі U_c үш фазалы желіге қуат коэффициенті $\cos\varphi_1 = 0,95$ шамасына дейін көтерілетіндей, тұтынушыға $Q_{с.к}$ қуаты қандай СК синхронды компенсатор қосқан жөн екенін анықтау (4.13-сурет). Егер шығындардың өлшемі желідегі тоқтың квадратына пропорционал болса, онда желідегі энергия шығыны қаншалықты төмендейді?



Оған қоса, желідегі қуат коэффициентін $\cos \varphi = 1$ шамасына дейін көтеру үшін синхронды компенсатордың қуатын қаншалықты көбейту керек екендігін анықтау. Берілген параметрлердің мәндері 4.13-кестеде көрсетілген.

1 - н ұ с қ а н ы ң ш е ш у і

1. Желідегі жүктеме тоғы

$$I_c = S / (\sqrt{3} U_c) =$$

$$= 1600 / (1,73 \cdot 6,0) = 154 \text{ A.}$$

4.13-сурет. Синхронды компенсаторды қосу сызбасы

2. Осы тоқтың активті құрамдас бөлігі

$$I_{c,a} = I_c \cos \varphi = 154 \cdot 0,70 = 108 \text{ A.}$$

3. Желідегі синхронды компенсаторды қосуға дейінгі реактивті қуат

$$Q = S \cdot \sin \varphi = 1600 \cdot 0,70 = 1120 \text{ квар.}$$

4. Желідегі синхронды компенсаторды қосқаннан кейінгі реактивті қуат

$$Q' = S \cdot \sin \varphi' = 1600 \cdot 0,312 = 499 \text{ квар.}$$

5. Қуат коэффициентін $\cos \varphi$ ($= 0,95$ дейін арттыру үшін Z жүктемесіне реактивті қуаты төмендегідей синхронды компенсаторды параллель қосу керек

$$Q_{ск} = Q - Q' = 1120 - 499 = 621 \text{ квар.}$$

6. Синхронды компенсаторды қосқан кезде, желідегі тоқтың активті құрамдас бөлігі өзгермейді ($I_{ca} = 108 \text{ A}$), ал тоқтың реактивті құрамдас бөлігінің мәні

$$I'_{c,p} = Q' / (\sqrt{3} U_c) = 499 / (1,73 \cdot 6,0) = 48 \text{ A}$$

тең болады.

4.13-кесте

Параметр	Нұсқалар									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
U_c , кВ	6,0	10,0	20,0	35,0	6,0	10,0	20,0	35,0	6,0	10,0
S , МВ · А	1,6	4,5	1,8	2,4	0,8	1,7	1,5	3,5	2,0	3,5
$\cos \varphi$	0,70	0,72	0,70	0,75	0,70	0,72	0,75	0,74	0,78	0,72

7. Синхронды компенсаторды қосқаннан кейінгі желідегі ток

$$I_c = \sqrt{I_{c.a}^2 + I_{c.p}^2} = \sqrt{108^2 + 48^2} = 118 \text{ A.}$$

8. Синхронды компенсаторды қосқаннан кейін желідегі шығындар синхронды компенсаторды қоспағанға дейінгі шығындар мәнінің

$$\Delta P'_c = (I'/I_c)^2 100 = (118/154)^2 100 = 0,59 \%$$

үлесіне тең болады, яғни желідегі шығындар 41 % азаяды.

9. Қуат коэффициентін $\cos\varphi' = 1$ дейін арттырған кезде, синхронды компенсатордың оған қажетті реактивті қуаты синхронды компенсаторды қосқанға дейінгі желідегі барлық реактивті қуатқа тең болар еді (3-пунктті қарау), яғни $Q_{ск} = Q = 1120$ квар. Олай болса, қуаты, қуат коэффициентін $\cos\varphi' = 0,95$ дейін көтеру сызбасында қолданылған СК қуатынан $(1120/621) = 1,8$ есе үлкен синхронды компенсатор керек болар еді. Бұл қарастырылып жатқан электрлік құрылғыны жасауға жұмсалатын шығындардың артуына әкеліп, қуат коэффициентін бірлікке дейін арттыру үшін синхронды компенсаторды қолдануды тиімсіз етер еді.

ТҰРАҚТЫ ТОҚ КОЛЛЕКТОРЛЫҚ МАШИНАЛАРЫ

5.1. НЕГІЗГІ ТҮСІНІКТЕР

Тұрақты тоқ коллекторлық машинасының ерекше белгісі – онда щеткалы-коллекторлық тораптың, механикалық өңдегіштің болуы. Егер машина генератор болса, коллектор мен щеткалар арқылы жұмыстық ораманың (зәкір орамасының) электрлік жүктемемен, егер машина қозғалтқыш болса, қуат беру көзімен байланысы орнатылады.

Жұмыстық орама машинаның айналмалы бөлігі – зәкірде орналасқан және зәкір орамасы деп аталады. Бұл орама зәкір білігіндегі белгілі бір тәртіппен орнатылған және коллекторға қосылған секциялардан тұрады.

Зәкір орамасы өткізгіштердің тұйық жүйесі болып табылады және ол, әдетте, екі қабатты болып келеді. Орама секциялары бір орамалы немесе көп орамалы болуы мүмкін. Зәкір орамасы толқынды және тұзақша, қарапайым, күрделі және біріктірілген болуы мүмкін.

Ораманың параллель орамдарының ЭҚК теңестіру үшін немесе күрделі орама құрастыратын қарапайым орамдардың ЭҚК теңестіру үшін теңгермелі байланыстар қолданады.

Зәкір ораманың E_a ЭҚК қоздырудың Φ негізгі магниттік ағынына және n айналу жиілігіне пропорционал

$$E_a = c_e \Phi n,$$

Мұндағы c_e – зәкір ораманың құрылымына байланысты анықталатын коэффициент: полюс жұптарының саны p , ораманы құрастыратын ойықтық жақтардың (өткізгіштердің) саны N , және орамадағы параллель орамдар саны a

$$c_e = pN/(60a).$$

Зәкір орамы бойынша I_a тоқ өткенде зәкірде пайда болатын электромагниттік иінкүш M , Н · м,

$$M = c_m \Phi I_w$$

мұндағы c_m – зәкір ораманың құрылымына байланысты анықталатын коэффициент,

$$c_m = pN/(2\pi a).$$

Тұрақты тоқ машинасының негізгі магниттік ағыны келесі өрнекпен анықталады, Вб,

$$\Phi = B_{\delta} l_i \tau \alpha_i,$$

Мұндағы B_{δ} – машинаның ауалық саңылауындағы магниттік индукция, Тл; l_i – зәкір білігінің есептік ұзындығы, м; τ – полюстік бөлу, м; $\alpha_i = 0,6 - 0,8$ – полюстік жабу коэффициенті.

Тұрақты тоқ машинасының M электрмагниттік иінкүші $P_{эм} = E_a I_a$ электрмагниттік қуатқа тура пропорционал және n зәкірдің айналу жиілігіне кері пропорционал

$$M = 9,55 P_{эм} / n.$$

Тұрақты тоқ машинасының жұмыс қасиеттеріне әсер ететін маңызды үдеріс – зәкір реакциясы. Бұл үдеріс әсерінің нәтижесінде ауалық саңылау мен машина зәкірінің тістік қабатындағы магниттік өрістің бұрмаланып, магнитсізденеді. Тұрақты тоқ машиналарындағы зәкір реакциясының жағымсыз әсерін әлсірету үшін қосымша полюстерді, ал қуаты едәуір машиналарға, оған қоса, өтемдеуші орамаларды да қолданады.

Зәкір реакциясының көлденең ось бойынша магнитсіздеуші әсерін ескеруге тура келеді. Әдетте, оны, зәкір реакциясының көлденең ось бойынша әсерін өтемдейтін МҚК есептеу кезінде қолданатын, $k_{р.я}$ зәкір реакциясының коэффициенті арқылы жасайды.

$$F_{qд} = k_{р.я} F_a$$

Мұндағы F_a – зәкір орамының бір полюс жұбына келетін МҚК, А,

$$F_a = NI_a / (4ap).$$

Зәкір реакциясының коэффициентін анықтау үшін $k_{р.я} = f(F_a / F_{в0})$ графигін қолданады (5.1-сурет), мұндағы графиктің төменгі шекарасы зәкір білігінің тістеріндегі магниттік индукцияға сәйкес $B_z = 1,7$ Тл, ал жоғарғысы – $B_z = 2,3$ Тл.

$F_{в0}$ өлшемі козу орамасының бос жүріс режиміндегі МҚК көрсетеді, А,

$$F_{в0} = 2F_{\delta} k_{\mu},$$

Мұндағы F_{δ} – ауалық саңылаудың магниттік кернеуі, А, $F_{\delta} = 0,8 \times B_{\delta} \delta k_{\delta} 10^3$; $k_{\mu} = 1,2 - 1,7$ – машинаның магниттік тізбегінің магниттік қанығу коэффициенті; B_{δ} – машинаның ауалық саңылауындағы магниттік индукция, Тл; k_{δ} – ауалық саңылау коэффициенті, зәкірдің тісті бетінің әсерінен ауалық саңылаудың үлкеюін есепке алады.

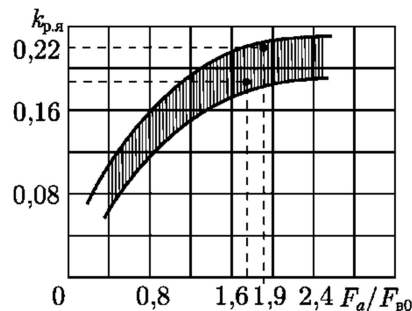
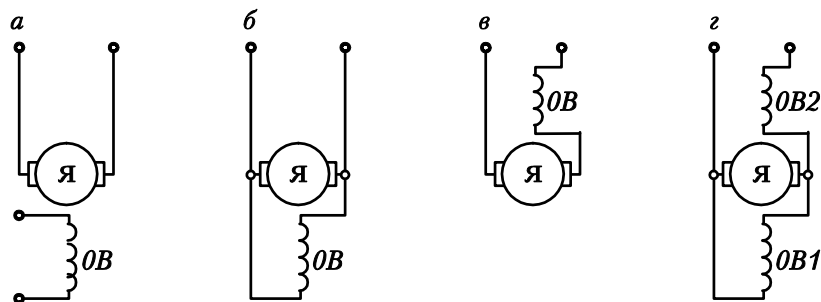


Рис. 5.1. График $k_{р.я} = f(F_a / F_{в0})$



5.2-сурет. Тұрақты ток машинасын қоздыру жолдары:

a – тәуелсіз; *б* – параллель; *в* – тізбектес; *г* – аралас

Тұрақты ток машинасын қоздыратын негізгі магниттік ағын қоздыру орамасынан пайда болады. Бұл ораманы зәкір орамасына қатысты қосу жолына байланысты, тұрақты ток машиналары тәуелсіз, параллель, тізбектес, аралас қоздырылатын машиналар болып бөлінеді (5.2-сурет). Қоздыру тәсілі тұрақты ток қозғалтқыштары мен генераторларының қасиеттеріне едәйір деңгейде әсер етеді.

Тұрақты ток генераторлары үшін келесі кернеу теңдеуі сәйкес келеді

$$U = E_a - I_a \Sigma r - \Delta U_{\text{щ}}$$

Мұндағы Σr – зәкір орамының тізбегіндегі кедергілер қосындысы: зәкір орамасының өзінің, қосымша полюс орамаларының және т.б.; $\Delta U_{\text{щ}}$ – щеткалы байланыс кезіндегі щетка жұбына түсетін кернеу, машинада қолданылған щетка маркасына байланысты (5.1-кесте).

Тұрақты ток генераторларының қасиеттерін бағалау кезде генератор шығысындағы жүктемені түсіргенде номиналды кернеудің өзгерісі түсінігі қолданылады:

$$\Delta U_{\text{ном}} = \frac{U_0 + U_{\text{ном}}}{U_{\text{ном}}} 100,$$

мұндағы U_0 – генератор шығысындағы бос жүріс режиміндегі кернеу.

5.1- кесте

Щетка маркасы	$I_{\text{ном}}$ номиналды ток кезінде бір щетка жұпқа түсетін аралық кернеу $\Delta U_{\text{щ}}$, В
Электрграфиттелген ЭГ	2,0 - 2,7
Көмір-графитті КГ, Т	2,0
Мыс-графитті М, МГ	0,2 - 1,5

$\Delta U_{ном}$ шамасы генераторды қоздыру жолына тәуелді. Мысалы, тәуелсіз қоздырылатын генератор үшін ол 5 -10% болады.

Тұрақты тоқ қозғалтқыштары үшін кернеу теңдеуі төмендегідей:

$$U = E_a + I_a \Sigma r + \Delta U_{щ},$$

яғни зәкір орамында индукцияланатын E_a ЭҚК жеткізілетін U кернеуден зәкір тізбегіндегі кернеудің $I_a \Sigma r$ ішкі төмендеу мәніне кем. Осыдан зәкір тоғы

$$I_a = (U - E_a) / \Sigma r.$$

Тұрақты тоқ қозғалтқышының электрмагниттің иінкүші, Н · м,

$$M = c_m \Phi I_a = 9,55 P_{эм} / n.$$

Қозғалтқыш білігіндегі иінкүш, яғни пайдалы иінкүш

$$M_2 = M - M_0 = 9,55 P_2 / n,$$

мұндағы M_0 – бос жүріс иінкүші; P_2 – қозғалтқыштың пайдалы қуаты,

$$P_2 = P_1 \eta,$$

η – қозғалтқыш ПӘК.

Тұрақты тоқ қозғалтқышының зәкірінің айналу жиілігі, айн/мин,

$$n = \frac{U - I_a \Sigma r}{c_e \Phi},$$

Тұрақты тоқ машинасының пайдалы әрекет коэффициенті

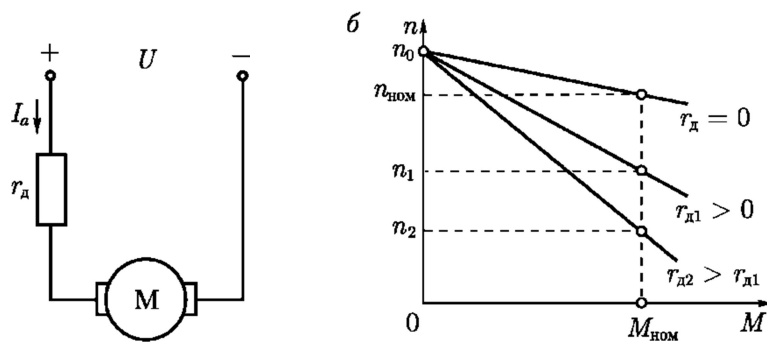
$$\eta = P_2 / P_1 = 1 - \frac{\Sigma P}{P_2 + \Sigma P},$$

мұндағы ΣP – машинадағы жалпы шығындар.

Тұрақты тоқ қозғалтқыштарының реттемелік қасиеттерін бағалау кезінде $n = f(M)$ механикалық сипаттамасы ең маңызды болып табылады. Олардың қаттылығы мен сызықтылығы бұл сипаттамалардың маңызды көрсеткіштері болып табылады.

Механикалық сипаттамының қаттылығы сипаттаманың ордината өсіне көлбелену бұрышына байланысты анықталады: бұр бұрыш кіші болған сайын, сипаттама қаттылығы азаяды (жұмсарады).

Тәуелсіз қоздырылатын қозғалтқыштардың механикалық сипаттамалары түзу сызықты болып келеді. Табиғи механикалық сипаттама ең қатты болып табылады, оның ордината өсіне көлбеуі 90° сәл төмен. Жұмсағырақ механикалық сипаттама алу үшін, әдетте, зәкір тізбегіне қосымша r_d кедергі жасайтын резисторды тізбектес қосады:



5.3-сурет. Тәуелсіз қоздырылатын тұрақты ток қозғалтқышын қосу сызбасы (а) мен механикалық сипаттамасы (б)

r_d артқан сайын, механикалық сипаттамалар «жұмсарады», ал сипаттамалар түзу сызықты болып қалады (5.3-сурет). Қозғалтқыш білігіндегі жүктеме иінкүші өзгермеген жағдайда, резистордың r_d кедергісі көбейген сайын, айналу жиілігі азаяды. Тәуелсіз (параллель) қоздыру қозғалтқыштарына берілген жүктеме (әдетте номиналды) түсірілгенде, қажетті n айналу жиілігіне сәйкес келетін жасанды механикалық сипаттаманы алу үшін қажет резистордың r_d кедергісін келесі формула бойынша есептейді:

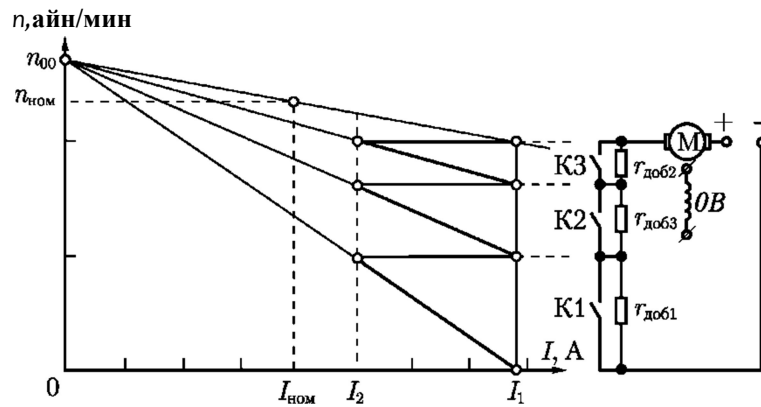
$$r_d = (U/I_a)[1 - (n/n_0)] - \Sigma r$$

мұндағы U – қозғалтқыш зәкірінің тізбегіне қуат беруші кернеу, В; I_a – қозғалтқыштың берілген жүктемесіне сәйкес зәкір тоғы, А; n — қажетті айналу жиілігі, айн/мин; n_0 – мінсіз бос жүрістегі айналу жиілігі, айн/мин.

Мінсіз бос жүріс жиілігі n_0 айналу жиілігінің шекарасын көрсетеді, қозғалтқыш одан асқан жағдайда генераторлық режимге ауысады. Бұл айналу жиілігі $n_{ном}$ номиналды айналу жиілігін, зәкір тізбегіне жеткізілетін $n_{ном}$ номиналды кернеу қозғалтқыштың E_a ЭҚК қаншаға асса, соншаға артады:

$$n_0 = n_{ном}(U_{ном}/E_{a ном}).$$

Тұрақты ток қозғалтқышын іске қосу процессі ең жауапты болып табылады. Осылайша, қозғалтқыштың бастапқы іске қосу тоғы оны тікелей желіге жалғаған кезде, щеткалы-коллекторлық тораптың жұмысын бұзып, коллекторда «шеңберленген от» тудыра алатын, қозғалтқыш үшін қауіпті шамаға жетуі мүмкін. Одан басқа, мұндай ток, электр жетектерінің айналмалы бөліктерін сындыра алатындай әсер тигізетін, тым үлкен іске қосу иінкүшін тудырады.



5.4- сурет. Үш сатылы іске қосу реостаты бар тұрақты тоқ қозғалтқышын іске қосу диаграммасы

Осыған байланысты, тұрақты тоқ қозғалтқыштарының *іске қосу реостаттарын есептеу* бойынша есептер шығару үлкен тәжірибелік маңызға ие. Іске қосу реостаттарын есептеудің екі әдісі қолданылады: *графикалық* және *аналитикалық*. Графикалық әдістің негізінде қозғалтқышты іске қосу диаграммасы жатыр. 5.4-суретте көрсетілген үш сатылы іске қосу реостаты қолданылған іске қосу диаграммасында K1, K2 және K3 күш түйістіргіштердің контактілері болып табылады, олар арқылы реостат сатыларының арасында ауысу жүзеге асырылады, ал $r_{\text{кoc1}}$, $r_{\text{кoc2}}$ және $r_{\text{кoc3}}$ іске қосу реостаты сатыларының резисторлары.

Бастапқы іске қосу тоғы I_1 мен ауыстыру тоғының I_2 мәндері әдетте келесідей алынады:

$$I_1 = (1,5 \dots 2,5) I_{\text{аном}}; I_2 = (1,0 \dots 1,3) I_{\text{аном}}.$$

Бұл кезде I_2 ауыстыру тоғы, қозғалтқышты жүктеуден пайда болатын кедергінің M_c статикалық иінкүшіне сәйкес келетін, жүктеме тоғынан кем болмау керек. Кейбір арнайы қолданысқа, ауыр жұмыс жағдайларына арналған қозғалтқыштар, мысалы кран-металлургиялық топтама қозғалтқыштары үшін токтардың берілген мәндерін үлкейтуге болады.

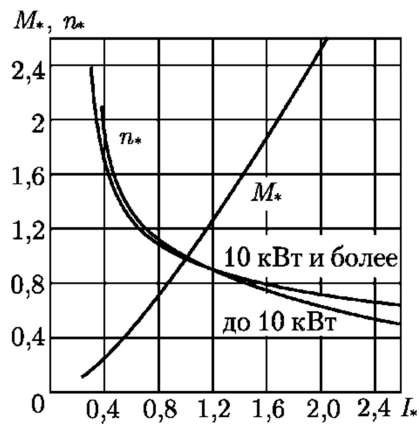
Іске қосу реостатының резисторларының кедергісін есептеу келесі формулалар бойынша жүргізіледі:

$$r_{\text{д3}} = \Sigma r(\lambda - 1); r_{\text{д2}} = r_{\text{д3}}\lambda; r_{\text{д1}} = r_{\text{д2}}\lambda$$

Бұл өрнектерде λ бастапқы I_1 іске қосу тоғының I_2 ауыстыру тоғына қатынасын білдіреді

$$\lambda = I_1/I_2.$$

Тізбектей қоздырылатын қозғалтқыштардың ерекше белгісі: қоздыру тоғы, сонымен қатар, жүктеме тоғы да болып табылады. Сол себепті, тізбектей



5.5-сурет. МП, ДП және Д кран-металлургиялық топтамаларының тізбектей қоздырылатын қозғалтқыштардың эмбебап табиғи сипаттамалары

сызықтық емес болады және оның түрлі бөліктеріндегі қаттылық әртүрлі болады: аз жүктеме кезінде қозғалтқыштың айналу жиілігі едәуір және сипаттамасы жұмсақ болады, жүктемені арттырған сайын, сипаттама қаттырақ бола бастайды, айналу жиілігі азаяды, ал номиналдыға жақын жүктеме кезінде, сипаттама одан ары қатая түседі. Бұл мұндай жүктеме кезінің магниттік жүйе қанығып, магниттік ағынның өлшемі жүктеме тоғының шамасынан тәуелсіз болуымен түсіндіріледі.

Тізбектей қоздырылатын қозғалтқыштардың механикалық сипаттамаларын есептеп, құрастыруға мүмкіндік беретін теңдеулер болмағандықтан, оларды құрастыру үшін, тізбектей қоздырылатын тұрақты ток қозғалтқыштарына тізімдемелерде берілетін, эмбебап табиғи сипаттамаларды (5.5-сурет) қолданады.

Эмбебап табиғи сипаттамалар ток $I_* = I_a / I_{a \text{ ном}}$, иінкүш $M_* = M / M_{\text{ном}}$, айналу жиілігі $n = n / n_{\text{ном}}$ секілді салыстырмалы бірліктерде жасалған.

Тізбектей қоздырылатын қозғалтқыштың $n = f(M)$ табиғи механикалық сипаттамасын эмбебап сипаттамалар бойынша құрастыруды келесі түрде жасайды.

I_* жүктеме тоғының бірқатар салыстырмалы мәндерін алады да, 5.5-сурет бойынша M_* иінкүш пен n_* айналу жиілігінің сәйкес салыстырмалы мәндерін анықтайды. Одан кейін, зәкір тоғының, иінкүші мен айналу жиілігінің номиналды мәндерін қолдана отырып, тоқтың $I_a(A)$, иінкүштің $M(N \cdot m)$ және айналу жиілігінің $n(\text{айн/мин})$ атаулы мәндерін анықтайды.

қоздыру қозғалтқышындағы қозудың магниттік ағыны жүктемеге байланысты болып келеді.

Қозғалтқышты шамалы ғана жүктеген кезде оның магниттік жүйесі қанықпайды және магниттік ағын жүктеме тоғына пропорционал болады

$$\Phi = c_\Phi I_a$$

ал қозғалтқыштың айналу иінкүші

$$M = c_M \Phi I_a = c_M c_\Phi I_a^2$$

тең болады.

Жүктеме артқан сайын, қозғалтқыштың магниттік жүйесі қаныға түседі, сонымен бірге $M = f(I_a)$ тәуелділігі сызықтық емес бола бастайды. Қозғалтқыштың $n = f(M)$ механикалық сипаттамасы да

Алынған өлшемдердің мәндері бойынша қозғылтқыштың $n = f(M)$ табиғи механикалық сипаттамасын құрастырады.

5.2. ЕСЕПТЕР

Зәкір орамасы, ЭҚК, зәкір реакциясы

5.1-есеп. Тұрақты тоқ машинасының зәкірінің орамасы полюстер саны $2p$ болғанда, қарапайым ойықтан тұрады $Z_{эл}$. 5.2-кестеде берілген мәліметтер бойынша зәкірдің жай толқындық (ЖТ) немесе жай ілмекті (ЖІ) орамының параметрлерін есептеп, толық сызбасын сызу. Сызбада полюстерді белгілеу, щеткаларды анықтау және зәкірдің айналу бағытын тандап, машина жұмысының генераторлық режиміндегі щеткалардың полярлығын анықтау. Зәкір орамындағы параллель тармақтарының сызбасын жасау және бір секцияның кедергісін $r_c = 0,02$ Ом деп алып (секциялар бір тармақты), оның жалпы кедергісін анықтау.

5.2-кесте

Параметр	Орам түрлерінің нұсқалары									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
	ЖТ	ЖТ	ЖТ	ЖІ	ЖТ	ЖІ	ЖТ	ЖІ	ЖТ	ЖІ
$Z_{эл}$	17	25	33	32	23	24	29	30	27	28
$2p$	4	6	8	4	4	8	4	6	4	6

1 - нұсқаның шешуі (жай толқындық орам) .

- Коллектор бойынша орама қадамы (сол жүрісті орама)

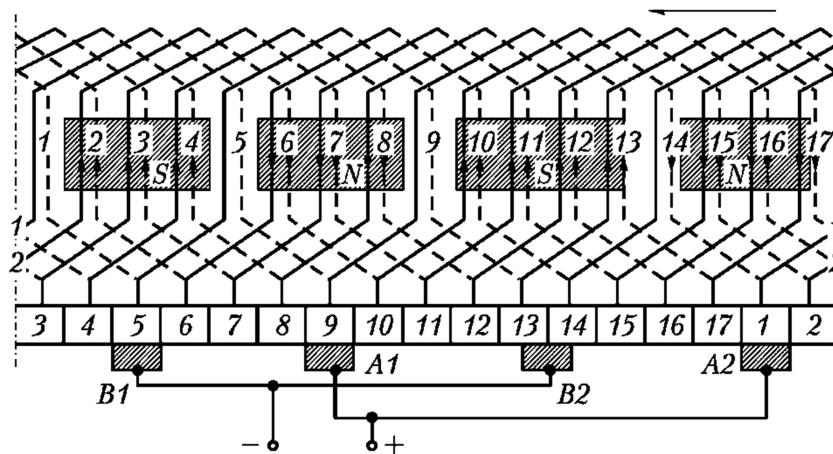
$$y_k = y = (K - 1) / p = (17 - 1) / 2 = 8 \text{ бөліктер.}$$

- Ораманың ойықтар бойынша бірінші қадамы

$$y_l = (Z_{эл} / 2p) \pm \varepsilon = (17 / 4) - 0,25 = 4 \text{ паза.}$$

3. Ораманың толық сызбасы (5.6-сурет). А4 форматындағы парақта 17 паз белгілейміз, олардың әрқайсысында жоғарғы қабаттың активті бөлігін (тұтас сызық) және төменгі қабаттың активті жағы (нүкте сызық) мен 17 коллекторлық бөлулерді белгілейміз.

4. Зәкір мен коллектор бойынша бірінші айналымды 1 коллекторлық бөлуден бастаймыз және активті жақтары 1, 5, 9 және 13 ойықтарда орналасқан 1 және 9 секцияларды саламыз. 9-секцияның соңын 1-бөлудің жанында (сол жағында) орналасқан 17-коллекторлық бөлумен қосамыз. Одан кейін екінші айналым жасаймыз да, 17 және 8-секцияларды орнатамыз, оларды 16-коллекторлық бөлумен қосамыз, яғни солға қарай тағы бір коллекторлық бөлуге жылжымыз. Одан кейін үшінші айналым



5.6-сурет. Зәкірдің жай толқындық орамасының толық сызбасы:
 $2p = 4$; $Z = 17$; $y_l = 4$ ойық

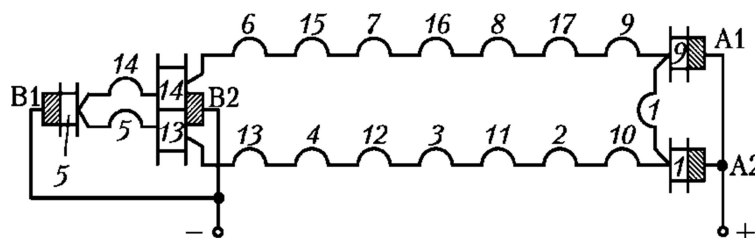
жасаймыз және тура осылай орама біткенше жалғастырамыз, бұл кезде соңғы айналымның 10-секциясын 1-секция мен 1-коллекторлық бөлуге қосамыз.

Одан кейін полярлығын кезектістері отырып төрт полюсті белгілейміз және коллекторда щеткаларды геометриялық нейтраль бойынша орналастырамыз.

Зәкірдің айналу бағытын таңдап, полюстер орама үстінде «орналасқан» деп есептей отырып, орама секцияларындағы ЭҚК бағытын анықтаймыз.

Одан кейін параллель тармақтар сызбасын жасаймыз (5.7-сурет). Коллектор щеткаларға қатысты 5.6-суреттегідей орналасқан кезде 1-секция A1 және A2 щеткаларымен қысқа тұйықталған, ал 5 және 14 секциялар B1 және B2 щеткаларымен қысқа тұйықталған. Басқа секциялар екі параллель тармақтар бойынша әрбір тармақта жетіден орналасқан. Ораманың «қосу» және «минус» клеммалары арасында өлшенген тұрақты токқа кедергісі:

$$r_a = (r_c \cdot 7) / 2 = (0,02 \cdot 7) / 2 = 0,07 \text{ Ом.}$$



5.7-сурет. Жай толқындық ораманың параллель тармақтарының сызбасы
 (5.6-суретті қарау)

5.2-есеп. Тұрақты ток машинасы зәкірінің орамасы $2p=4$ полюстер саны кезінде N активті жақтан тұрады, негізгі магниттік ағыны Φ , c_e коэффициенті кезіндегі зәкір орамының ЭҚК E_a , зәкірдің айналу жиілігі p . 5.3-кестенің берілгенін қолдана отырып, жетіспейтін параметрлерді анықтау.

5.3-кесте

Параметр	Орама түрлерінің нұсқалары				
	1	2	3	4	5
	ЖТ	ЖІ	ЖТ	ЖТ	ЖІ
n , айн/мин	1500	1200	—	—	1500
N	500	—	—	120	240
c_e	—	12	20	—	—
E_0 , В	—	—	400	200	120
Φ , Вб	0,008	0,14	0,020	0,025	—

1 - н ұ с қ а н ы ң ш е ш у і

(жай толқындық орама, $2a=2$). Зәкір орамының ЭҚК

$$E_a = c_e \Phi n = 16,6 \cdot 0,008 \cdot 1500 = 200 \text{ В},$$

мұндағы

$$c_e = pN/(60a) = 2 \cdot 500/(60 \cdot 1) = 16,6.$$

5.3-есеп. Номиналды қуаты $P_{\text{ном}}$ тұрақты ток параллель қоздырылатын қозғалтқыштың кернеуі U_c желіге қосылған; қозғалтқыштың ПӘК $\eta_{\text{ном}}$, зәкір орамасы жай толқындық ($2a=2$), полюстер саны $2p=4$, орамадағы белсенді өткізгіштер саны N ; қоздыру орамындағы ток $I_e = 0,02I_{a \text{ ном}}$, біржақты ауалық саңылаудың өлшемі δ , саңылаудағы магниттік индукция B_δ , зәкір тістеріндегі магниттік индукция B_z , ауалық саңылау коэффициенті $k_\delta = 1,3$, қозғалтқыштың магнит өткізгішінің магниттік қанығу коэффициенті $k_\mu = 1,35$. Аталып өткен параметрлердің мәндері 5.4-кестеде берілген.

Зәкір реакциясының көлденең ось бойынша F_{qd} МҚК мен, қозғалтқышты номиналды жүктеген кезде зәкірдің бойлық ось бойынша реакциясын компенсациялауға қажетті полюстік қоздыру катушкасындағы w_K орамдар санын анықтау керек.

1 - н ұ с қ а н ы ң ш е ш у і

1. Қозғалтқыш номиналды режимде тұтынатын ток

$$I_{\text{ном}} = P_{\text{ном}}/(U_c \eta_{\text{ном}}) = 100 \cdot 10^3/(440 \cdot 0,89) = 255 \text{ А}.$$

2. Қоздыру орамындағы ток

$$I_B = 0,02/I_{\text{ном}} = 0,02 \cdot 255 = 5 \text{ А}.$$

Параметр	Нұсқалар						
	1	2	3	4	5	6	7
$P_{ном}, кВт$	100	120	85	30	45	90	75
$U_c, В$	440	440	220	220	440	440	220
$\eta_{ном}, \%$	89	90	87	85	85	87	86
N	280	300	150	120	260	240	120
$\delta, мм$	2,0	2,0	1,8	1,8	1,6	1,8	1,6
$B_z, Тл$	2,2	2,3	1,8	1,9	1,7	1,9	2,0
$B_\delta, Тл$	0,82	0,85	0,80	0,83	0,80	0,83	0,82

3. Номиналды жүктеме кезіндегі зәкір тізбегіндегі ток

$$I_{аном} = 255 - 5 = 250 A.$$

4. Ауалық саңылаудың магниттік кернеуі

$$F_\delta = 0,8 B_\delta \delta k_\delta I_0^3 = 0,8 \cdot 0,82 \cdot 2,0 \cdot 1,3 \cdot 10^3 = 1700 A.$$

5. Бос жүріс режиміндегі қоздыру орамының полюстер жұбына түсіретін МҚК

$$F_{в0} = 2 F_\delta k_\mu = 2 \cdot 1700 \cdot 1,35 = 4590 A.$$

6. Номиналды жүктеме режимінде зәкірдің полюстер жұбына түсіретін МҚК

$$F_{аном} = N I_{аном} / (4ap) = 280 \cdot 250 / (4 \cdot 1 \cdot 2) = 8750 A.$$

7. Зәкір реакциясының көлденең ось бойынша коэффициенті (5.1-суретті қарау); $B_z = 2,2$ Тл (графиктің жоғарғы шекарасы) және $F_a/F_{в0} = 8750/4590 = 1,9$ болғанда, коэффициент $k_{р.я} = 0,22$.

8. Зәкір реакциясының көлденең ось бойынша әсерін компенсациялайтын қоздыру МҚК өсімі

$$F_{qd} = k_{ps} F_{аном} = 0,22 \cdot 8750 = 1925 A.$$

9. Зәкір реакциясының әсерін компенсациялауға жеткілікті, қозғалтқышы номиналды жүктеу кезінде полюстер жұбына түсірілетін қоздырудың МҚК

$$F_{в.ном} = F_{в0} + F_{qd} = 4590 + 1925 = 6515 A.$$

10. Қоздыру орамының полюстік катушкасындағы орамдар саны

$$w_{к.в} = F_{в.ном} / (2I_\delta) = 6515 / (2 \cdot 5) = 651 \text{ орамдар}.$$

5.4-есеп. Номиналды кернеуі $U_{ном}$ және номиналды айналу жиілігі $n_{ном}$ тәуелсіз қоздырылатын тұрақты ток генераторының зәкірінде

Параметр	Нұсқалар									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
U _{НО} , В	230	230	460	460	460	115	460	230	230	230
«ном. °б/мин	1500	2300	3000	2300	1500	1000	2300	1000	3000	2300
ξ _с , Ом	0,175	0,08	0,17	0,3	0,7	0,09	0,27	0,25	0,08	0,14
N	100	118	280	240	200	80	270	114	100	138
F, 10-2, Вб	4,8	2,6	1,7	2,6	4,8	4,5	2,4	6,1	2,4	2,3

N өткізгіштен тұратын жай толқындық орама бар. Генератордың полюстерінің саны $2p = 4$, жұмыс температурасы кезіндегі зәкір тізбегіндегі орамдар кедергісі Σr , көмір-графитті щеткалар $\Delta U_{щ} = 2В$, негізгі магниттік ағын Φ . Аталып өткен параметрлердің мәндері 5.5-кестеде берілген. Генератордың номиналды жұмыс режимі үшін анықтау керек: E_a зәкірдің ЭҚК, $I_{ном}$ жүктеме тоғын (зәкір реакциясының магнитсіздендіру әсерін есепке алмау), $P_{ном}$ пайдалы қуатын, $P_{эм}$ электрмагниттік қуаты мен $M_{ном}$ электрмагниттік иінкүшін.

1 - н ұ с қ а н ы ң ш е ш у і

- Номиналды айналу жиілігіндегі генератор зәкірінің ЭҚК

$$E_{a ном} = c_e \Phi n_{ном} = 3,33 \cdot 4,8 \cdot 10^{-2} \cdot 1500 = 240 В,$$

мұндағы

$$c_e = pN/(60a) = 2 \cdot 100/(60 \cdot 1) = 3,33;$$

жай толқындық орамдағы параллель тармақтар саны $a=1$.

- Номиналды режимдегі зәкір тоғын генераторға арналған кернеулер тендеуін қолдану арқылы анықтауға болады

$$U = E_a - I_a \Sigma r - \Delta U_{щ},$$

осыдан номиналды режимдегі зәкір тоғы

$$I_{a ном} = (E_{a ном} - U_{ном} - \Delta U_{щ}) / \Sigma r = (240 - 230 - 2) / 0,175 = 45,7 А.$$

- Генератордың пайдалы (номиналды) қуаты

$$P_{ном} = U_{ном} I_{a ном} = 230 \cdot 45,7 = 10\,511 Вт \text{ немесе } 10,51 кВт.$$

- Генератордың электрмагниттік қуаты

$$P_{эм} = E_{a ном} I_{a ном} = 240 \cdot 45,7 = 10\,968 Вт \text{ немесе } 10,97 кВт.$$

- Номиналды режимдегі электрмагниттік иінкүш

$$M_{ном} = 9,55 P_{эм} / n_{ном} = 9,55 \cdot 10\,968 / 1500 = 69,8 Н \cdot м.$$

Тұрақты тоқ генераторлары

5.5-есеп. Қуаты $P_{\text{ном}}$ және кернеуі $U_{\text{ном}}$ тәуелсіз қоздырылатын тұрақты тоқ генераторының зәкірінің тізбегіндегі орамдар кедергісі жұмыс температурасына келтірілгенде Σr тең; генераторда ЭГ маркасының электрграфитті щеткалары қолданылған ($\Delta U_{\text{щ}} = 2,5 \text{ В}$). Жүктемені түсіргендегі номиналды кернеу өзгерісін анықтау. Параметрлердің мәндері 5.6-кестеде берілген.

5.6-кесте

Параметр	Нұсқалар						
	1	2	3	4	5	6	7
$P_{\text{ном}}, \text{кВт}$	20	45	15	90	80	30	18
$U_{\text{ном}}, \text{В}$	230	460	230	460	460	230	230
$\Sigma r, \text{Ом}$	0,12	0,22	0,15	0,12	0,11	0,08	0,13

1 - нұсқаның шешуі

- Номиналды режимдегі ток

$$I_{\text{аном}} = P_{\text{ном}} / U_{\text{ном}} = 20 \cdot 10^3 / 230 = 87 \text{ А.}$$

- Генератордың ЭҚК

$$E_a = U_0 = U_{\text{ном}} + I_{\text{аном}} \Sigma r + \Delta U_{\text{щ}} = 230 + 87 \cdot 0,12 + 2,5 = 243 \text{ В.}$$

- Жүктемені түсіру кезіндегі номиналды кернеу өзгерісі

$$\Delta U_{\text{ном}} = \frac{U_0 - U_{\text{ном}}}{U_{\text{ном}}} 100 = \frac{243 - 230}{230}$$

5.6-есеп. Параллель қоздырылатын тұрақты тоқ генераторының номиналды мәліметтері: қуат $P_{\text{ном}}$, кернеу $U_{\text{ном}}$, айналу жиілігі $n_{\text{ном}}$, жұмыс температурасына келтірілген зәкір тізбегінің орамасындағы кедергі Σr , щеткалар жұбының щеткалық түйіспелеріндегі кернеудің құлауы $\Delta U_{\text{щ}} = 2 \text{ В}$, қоздыру орамасының тізбегінің кедергісі $r_{\text{в}}$, номиналды режимдегі ПЭК $\eta_{\text{ном}}$, генератор тоғы $I_{\text{ном}}$, қоздыру тізбегіндегі ток $I_{\text{в}}$, зәкір тізбегіндегі ток $I_{\text{аном}}$, зәкірдің ЭҚК $E_{\text{аном}}$, электрмагниттік қуат $P_{\text{эм}}$, номиналды жүктеме кезіндегі электрмагниттік иінкүш $M_{\text{ном}}$, жетек қозғалтқыштың қуаты $P_{\text{Iном}}$.

Аталып өткен параметрлердің мәндері 5.7-кестеде берілген. Кестеде көрсетілмеген параметрлердің мәндерін анықтау керек.

1 - нұсқаның шешуі

- Генератор шығысындағы номиналды ток

$$I_{\text{ном}} = P_{\text{ном}} / U_{\text{ном}} = 10\,000 / 230 = 43,5 \text{ А.}$$

Параметр	Нұсқалар				
	1	2	3	4	5
$P_{\text{ном}}, \text{кВт}$	10	—	—	18	45
$U_{\text{ном}}, \text{В}$	230	230	460	230	—
$n_{\text{ном}}, \text{айн/мин}$	1450	—	—	1500	1000
$\Sigma r, \text{Ом}$	0,3	0,15	—	—	—
$r_{\text{в}}, \text{Ом}$	150	100	—	—	92
$\eta_{\text{ном}}, \%$	86,5	—	88	—	88
$I_{\text{ном}}, \text{А}$	—	87	—	—	97,8
$I_{\text{в}}, \text{А}$	—	—	4	—	—
$I_{\text{а ном}}, \text{А}$	—	—	—	75	—
$E_{\text{а}}, \text{В}$	—	—	480	240	477
$P_{\text{эм. ном}}, \text{кВт}$	—	—	55	—	—
$M_{\text{ном}}, \text{Н} \cdot \text{м}$	—	280	525	—	—
$P_{\text{л ном}}, \text{кВт}$	—	23	—	21	—

2. Қоздыру орамындағы ток

$$I_{\text{в}} = U_{\text{ном}} / r_{\text{в}} = 230 / 150 = 1,5 \text{ А.}$$

3. Номиналды жүктеме кезіндегі зәкір тізбегіндегі ток

$$I_{\text{а ном}} = I_{\text{ном}} + I_{\text{в}} = 43,5 + 1,5 = 45 \text{ А.}$$

4. Номиналды режимдегі зәкірдің ЭҚК

$$E_{\text{а}} = U_{\text{ном}} + I_{\text{а ном}} \Sigma r + \Delta U_{\text{щ}}, = 230 + 45 \cdot 0,3 + 2 = 245,5 \text{ В.}$$

5. Номиналды жүктеме кезіндегі генератордың электрмагниттік қуаты

$$P_{\text{эм. ном}} = E_{\text{а}} I_{\text{а ном}} = 245,5 \cdot 45 = 11\,047 \text{ Вт.}$$

6. Генератордың номиналды режимдегі электрмагниттік иінкүші

$$M_{\text{ном}} = 9,55 P_{\text{эм. ном}} / n_{\text{ном}} = 9,55 \cdot 11\,047 / 1450 = 73 \text{ Н} \cdot \text{м.}$$

Тұрақты ток қозғалтқыштары

5.7-есеп. Параллель қоздырылатын тұрақты ток қозғалтқышының мәліметтері келесідей: номиналды қуат $P_{\text{ном}}$, жеткізілетін кернеу $U_{\text{ном}}$, номиналды айналу жиілігі $n_{\text{ном}}$,

Параметр	Нұскалар				
	1	2	3	4	5
$P_{\text{ном}}$, кВт	25	15	45	4,2	18
$U_{\text{ном}}$, В	440	220	440	220	220
$n_{\text{ном}}$, айн/мин	1500	1000	1500	1500	1200
$\eta_{\text{ном}}$, %	85	83,8	88	78	84
Σr , Ом	0,15	0,12	0,13	0,15	0,12
$r_{\text{в}}$, Ом	88	73	88	64	73

зәкір тізбегіндегі орамдар кедергісі Σr , қоздыру тізбегінің кедергісі $r_{\text{в}}$, щеткалардың щеткалық түйіспесіндегі кернеудің құлауы $\Delta U_{\text{щ}} = 2$ В. Аталып өткен параметрлердің мәндері 5.8-кестеде берілген.

Қозғалтқыштың номиналды жүктеме режимінде тұтынатын $I_{\text{ном}}$ тоқты, қозғалтқыш зәкірінің тізбегіндегі бастапқы іске қосу тоқ $2,5I_{\text{аном}}$ тең болатындай іске қосу реостатының $R_{\text{п.р}}$ кедергісін, M_n бастапқы іске қосу иінкүшін, n_0 айналу жиілігін және бос жүріс режиміндегі I_0 тоғын, жүктемені түсіргенде қозғалтқыш зәкірінің айналу жиілігінің өзгерісін анықтау керек. Зәкір реакциясының әсерін ескермеу.

1 - н ұ с қ а н ы ң ш е ш у і

1. Номиналды жүктеме кезінде қозғалтқыштың тұтынатын қуаты

$$P_{\text{Iном}} = P_{\text{ном}} / \eta_{\text{ном}} = 25 / 0,85 = 29,4 \text{ кВт}.$$

2. Номиналды жүктеме кезінде қозғалтқыш тұтынатын тоқ

$$I_{\text{ном}} = P_{\text{Iном}} / U_{\text{ном}} = 29,4 \cdot 103 / 440 = 67 \text{ А}.$$

3. Қоздыру орамының тізбегіндегі тоқ

$$I_{\text{в}} = U_{\text{ном}} / r_{\text{в}} = 440 / 88 = 5 \text{ А}.$$

4. Зәкір орамындағы тоқ

$$I_{\text{аном}} = I_{\text{ном}} - I_{\text{в}} = 67 - 5 = 62 \text{ А}.$$

5. Еселік мәні 2,5 деп алынғанда зәкірдің бастапқы іске қосу тоғы

$$I_{\text{ап}} = 2,5I_{\text{аном}} = 2,5 \cdot 62 = 155 \text{ А}.$$

6. Іске қосу тоғының еселігі 2,5 деп алынғанда зәкір тізбегінің қажетті кедергісі

$$R_a = R_{\text{п.р}} + \Sigma r = U_{\text{ном}} / I_{\text{ап}} = 440 / 155 = 2,83 \text{ Ом}.$$

7. Іске қосу реостатының кедергісі

$$R_{\text{н.р}} = R_a - \Sigma r = 2,83 - 0,15 = 2,68 \text{ Ом}.$$

8. Номиналды жүктеме режиміндегі зәкірдің ЭҚК

$$E_{\text{аном}} = U_{\text{ном}} - I_{\text{аном}} \Sigma r - \Delta U_{\text{ш}} = 440 - 62 \cdot 0,15 - 2 = 428,7 \text{ В.}$$

9. Төмендегі өрнектен

$$E_a = c_e \phi n,$$

анықтаймыз

$$c_e \phi = E_a / n = 428,7 / 1500 = 0,285;$$

коэффициенттердің қатынасы

$$c_m / c_e = [pN / (2\pi a)] / [pN / (60a)] = 9,55;$$

олай болса, берілген жағдайда

$$c_m \Phi = 9,55 c_e \Phi = 9,55 \cdot 0,285 = 2,72.$$

10. Іске қосу тоғының еселігі 2,5 деп алынғанда бастапқы іске қосу иінкүші

$$M_{\Pi} = c_m \phi I_{a\Pi} = 2,72 \cdot 155 = 422 \text{ Н} \cdot \text{м.}$$

11. Номиналды жүктеме кезіндегі қозғалтқыш білігіндегі иінкүш

$$M_{2\text{ном}} = 9,55 P_{\text{ном}} / n_{\text{ном}} = 9,55 \cdot 25 \cdot 10^3 / 1500 = 159 \text{ Н} \cdot \text{м.}$$

12. Номиналды жүктеме кезіндегі электрмагниттік иінкүш

$$M_{\text{ном}} = 9,55 P_{\text{эм}} / n_{\text{ном}} = 9,55 \cdot 26\,579 / 1500 = 169 \text{ Н} \cdot \text{м},$$

мұндағы номиналды жүктеме кезіндегі электрмагниттік қуат

$$P_{\text{эм.ном}} = E_{\text{аном}} I_{\text{аном}} = 428,7 \cdot 62 = 26\,579 \text{ Вт.}$$

13. Бос жүріс иінкүші

$$M_0 = M_{\text{ном}} - M_{2\text{ном}} = 169 - 159 = 10 \text{ Н} \cdot \text{м.}$$

14. Бос жүріс режиміндегі зәкір тоғы

$$I_{a0} = M_0 / (c_m \Phi) = 10 / 2,72 = 3,68 \text{ А.}$$

15. Бос жүріс режиміндегі зәкірдің ЭҚК ($\Delta U_{\text{ш}} = 0$ деп аламыз)

$$E_{a0} = U_{\text{ном}} - I_{a0} \Sigma r = 440 - 3,68 \cdot 0,15 = 439 \text{ В.}$$

16. Бос жүріс режиміндегі зәкірдің айналу жиілігі

$$n_0 = E_{a0} / (c_e \Phi) = 439 / 0,285 = 1540 \text{ айн/мин.}$$

17. Жүктемені түсіргенде қозғалтқыштың номиналды айналу жиілігінің өзгерісі

$$\Delta n_{\text{ном}} = \frac{n_0 - n_{\text{ном}}}{n_{\text{ном}}} 100 = \frac{1540 - 1500}{1500} 100 = 2,66\%$$

5.8-есеп. 5.9-кестеде тәуелсіз қоздырылатын тұрақты ток қозғалтқышының параметрлерінің мәндері берілген: қозғалтқыштың номиналды қуаты $P_{\text{ном}}$, зәкір тізбегінің қорек көзінің кернеуі $U_{\text{ном}}$, қоздыру тізбегінің қорек көзінің кернеуі $U_{\text{в}}$, зәкірдің номиналды режимдегі айналу жиілігі $n_{\text{ном}}$, жұмыс температурасына келтірілген зәкір тізбегінің кедергісі Σr мен қоздыру тізбегінің кедергісі $r_{\text{в}}$, номиналды ток кезінде щеткалық түйіспедегі кернеудің құлауы $\Delta U_{\text{щ}} = 2$ В, жүктемені түсіргендегі номиналды кернеудің өзгерісі $\Delta n_{\text{ном}} = 8,0$ %, бос жүріс режиміндегі зәкірдің тоғы I_0 . Барлық шығын түрлері мен қозғалтқыштың ПӘК-ін анықтау керек.

5.9-кесте

Параметр	Нұсқалар					
	1	2	3	4	5	6
$P_{\text{ном}}$, кВт	25	40	53	75	16	11
$U_{\text{ном}}$, В	440	440	440	440	220	220
$U_{\text{в}}$, В	220	220	220	220	220	110
I_0 , А	6,0	7,5	8,0	10,8	8,7	5,8
Σr , Ом	0,30	0,17	0,12	0,70	0,18	0,27
$r_{\text{в}}$, Ом	60	55	42	40	60	27
$n_{\text{ном}}$, айн/мин	2200	1000	2360	3150	1500	800

1 - нұсқаның шешуі

1. Бос жүріс режиміндегі айналу жиілігі

$$n_0 = n_{\text{ном}}[1 + (\Delta n_{\text{ном}}/100)] = 2200(1 + 8/100) = 2376 \text{ айн/мин.}$$

2. Бос жүріс режиміндегі зәкірдің ЭҚК (бос жүріс режимінде щеткалық түйіспедегі кернеу құлауының мәні елеусіз болғандықтан, оны ескермейміз)

$$E_{a0} = U_{\text{ном}} - I_0 \Sigma r = 440 - 6 \cdot 0,3 = 438,2 \text{ В.}$$

3. Бос жүріс режиміндегі иінкүш

$$M_0 = 9,55 E_{a0} I_0 / n_0 = 9,55 \cdot 438,2 \cdot 6 / 2376 = 10,6 \text{ Н} \cdot \text{м.}$$

4. Номиналды жүктеме режиміндегі қозғалтқыш білігіндегі иінкүш

$$M_{2\text{ном}} = 9,55 P_{\text{ном}} / n_{\text{ном}} = 9,55 \cdot 25 \cdot 10^3 / 2200 = 108,5 \text{ Н} \cdot \text{м.}$$

5. Номиналды жүктеме кезіндегі қозғалтқыштың электрмагниттік иінкүші

$$M_{\text{ном}} = M_0 + M_{2\text{ном}} = 10,6 + 108,5 = 119 \text{ Н} \cdot \text{м.}$$

6. Номиналды жүктеме режиміндегі қозғалтқыштың электрмагниттік қуаты

$$P_{\text{эм.ном}} = 0,105 M_{\text{ном}} n_{\text{ном}} = 0,105 \cdot 119 \cdot 2200 = 27\,490 \text{ Вт.}$$

7. Бос жүріс режиміндегі зәкірдің ЭҚК төмендегідей көрсетуге болады

$$E_{a0} = c_e \Phi n_0$$

осыдан

$$c_e \Phi = E_{a0}/n_0 = 438,2/2376 = 0,185,$$

бірақ $c_m/c_e = 9,55$ болғандықтан, онда

$$c_m \Phi = 9,55 c_e \Phi = 9,55 \cdot 0,185 = 1,77.$$

Номиналды жүктеме режиміндегі электрмагниттік иінкүштің өрнегінен

$$M_{\text{ном}} = c_m \Phi I_{\text{аном}}$$

номиналды жүктеме режиміндегі зәкір тоғының мәнін анықтаймыз

$$I_{a \text{ ном}} = M_{\text{ном}}/(c_m \Phi) = 119/1,77 = 67 \text{ A}.$$

8. Қозғалтқыштың магниттік және механикалық шығындарының қосындысы бос жүріс иінкүшіне пропорционал

$$P_{\text{магн}} + P_{\text{мех}} = 0,105 M_0 n_0 = 0,105 \cdot 10,6 \cdot 2376 = 2644 \text{ Вт}.$$

9. Зәкір орамының тізбегіндегі электрлік шығындар

$$P_{a\sigma} = I_{\text{аном}}^2 \Sigma r = 67^2 \cdot 0,3 = 1347 \text{ Вт}.$$

10. Зәкірдің щеткалық түйіспесіндегі электрлік шығындар

$$P_{\text{щ.э}} = I_{\text{аном}} \Delta U_{\text{щ}} = 67 \cdot 2 = 134 \text{ Вт}.$$

11. Номиналды режимде зәкір тізбегіне жеткізілетін қуат

$$P_{\text{Iаном}} = U_{\text{ном}} I_{\text{ном}} = 440 \cdot 67 = 29\,480 \text{ Вт}.$$

12. Қоздыру орамындағы ток

$$I_B = U_B/r_B = 220/60 = 3,7 \text{ A}.$$

13. Қоздыру тізбегіндегі қуат

$$P_B = U_B I_B = 220 \cdot 3,7 = 814 \text{ Вт}.$$

14. Қозғалтқыштың номиналды жүктеме режимінде тұтынатын қуаты

$$P_{\text{Iном}} = P_{\text{Iаном}} + P_B = 29\,480 + 814 = 30\,295 \text{ Вт немесе } 30,3 \text{ кВт}.$$

15. Қозғалтқыштың номиналды режимдегі ПӘК

$$\eta_{\text{ном}} = (P_{\text{ном}}/P_{\text{Iном}})100 = (25/30,3)100 = 82,5\%.$$

5.9-есеп. 5.10-кестеде 2П топтамасының тәуелсіз қоздырылатын тұрақты ток қозғалтқышының тізімдемедегі мәліметтерді берілген: номиналды қуат $P_{\text{ном}}$, зәкір тізбегіне жеткізілетін номиналды кернеу $U_{\text{ном}}$, номиналды айналу жиілігі $n_{\text{ном}}$, қозғалтқыштың ПӘК $\eta_{\text{ном}}$, жұмыс температурасына келтірілгендегі зәкір тізбегіндегі кедергі Σr .

Қозғалтқыш түрі	$P_{\text{ном}}$, кВт	$U_{\text{ном}}$, В	$n_{\text{ном}}$, айн/мин	$\eta_{\text{ном}}$, %	Σr , Ом
2ПО200L	7,1	220	750	83,5	0,48
2ПО200М	20	440	2200	90	0,28
2ПФ200М	30	440	2200	90	0,22
2ПФ200L	20	220	1000	85,5	0,18
2ПН225М	37	220	1500	86,5	0,07
2ПФ225М	10	220	500	74,5	0,58
2ПО180М	17	440	3000	90	0,31

Қозғалтқышты номиналды жүктегенде зәкірдің айналу жиілігі $0,5n_{\text{ном}}$ болу үшін зәкір тізбегінде кедергісі қандай қосымша r_d резисторды қосу керек екенін анықтау керек; қозғалтқыштың табиғи және жасанды механикалық сипаттамаларын құрастыру.

2ПО200L қозғалтқышы нұсқасының шешуі.

1. $n_{\text{ном}} = 750$ айн/мин болғанда номиналды жүктеме режиміндегі зәкір тізбегіндегі ток

$$I_{\text{аном}} = P_{\text{ном}} / (\eta_{\text{ном}} U_{\text{ном}}) = 7,1 \cdot 10^3 / (0,835 \cdot 220) = 38,6 \text{ A}.$$

2. Номиналды жүктеме режиміндегі ЭҚК (щеткалық түйіспедегі кернеу құлауын ескермейміз)

$$E_{\text{ном}} = U_{\text{ном}} - I_{\text{аном}} \Sigma r = 220 - 38,6 \cdot 0,48 = 201,5 \text{ В}.$$

3. Мінсіз бос жүрістің айналу жиілігі (шектік айналу жиілігі)

$$n_{00} = n_{\text{ном}} (U_{\text{ном}} / E_{\text{ном}}) = 750 (220 / 201,5) = 820 \text{ айн/мин}.$$

4. Қозғалтқыш білігіндегі номиналды иінкүш

$$\begin{aligned} M_{2\text{ном}} &= 9,55 P_{\text{ном}} / n_{\text{ном}} = \\ &= 9,55 \cdot 7,1 \cdot 10^3 / 750 = 90 \text{ Н} \cdot \text{м}. \end{aligned}$$

Алынған мәліметтер бойынша табиғи механикалық сипаттама құрастырамыз (5.8-сурет, 1-график).

5. r_d резисторды қосқандағы айналу жиілігі

$$\begin{aligned} n'_{\text{ном}} &= 0,5 n_{\text{ном}} = 0,5 \cdot 750 = \\ &= 375 \text{ айн/мин} \end{aligned}$$

5.8-сурет. Тұрақты ток қозғалтқышының механикалық сипаттамасы

Есептелген мәліметтер бойынша қозғалтқыштың жасанды механикалық сипаттамасын құрастырамыз (5.8-сурет, 2-график).

6. r_d резисторының кедергісі

$$r_d = (U_{ном}/I_{аном})[1 - (n'_{ном}/n_{00})] - \Sigma r = \\ = (220/38,6)[1 - (375/820)] - 0,48 = 2,61 \text{ Ом}.$$

5.10-есеп. Параллель қоздырылатын тұрақты ток қозғалтқышы кернеуі $U_c = 220$ В желіден жұмыс істейді. Қозғалтқыштың техникалық мәліметтері (5.11-кесте): жүктеменің номиналды тоғы $I_{ном}$, номиналды айналу жиілігі $n_{ном}$, бос жүріс тоғы I_0 , жұмыс температурасына келтірілген зәкір тізбегіндегі кедергі Σr , қоздыру тоғы I_θ (қозғалтқышты жүктеудің барлық диапазонында өзгермей қалады); қозғалтқышта көмір-графитті щеткалар қолданылған (5.1-кестені қарау), бір щеткалар жұбына сәйкес кернеу құлауы $\Delta U_{щ} = 2$ В.

Мәліметтерді есептеп, h ПӘК-тің, p айналу жиілігінің, M_2 біліктегі иінкүштің қозғалтқыш білігіндегі P_2 қуатына тәуелділік графиктерін сызу керек.

Зәкір реакциясының әсерін ескермей, $\Phi = \text{const}$ деп алу.

5.11-кесте

Параметр	Нұсқалар					
	1	2	3	4	5	6
$I_{ном}, \text{А}$	65	86	116	192	44	33
$n_{ном}, \text{айн/мин}$	770	690	650	575	840	1100
$I_0, \text{А}$	6,5	9,0	9,8	13,4	6,6	5,8
$\Sigma r, \text{Ом}$	0,28	0,17	0,11	0,055	0,42	0,57
$I_\theta, \text{А}$	1,6	2,2	2,7	4,0	1,5	1,18

1 - нұсқаның шешуі

1. Қозғалтқыштың шығындары мен ПӘК

Қозғалтқыштың тұрақты шығындары магниттік P_m , механикалық $P_{мех}$ шығындар мен қоздыруға кететін шығындардан тұрады

$$P_b = U_c I_\theta = 220 \cdot 1,6 = 352 \text{ Вт},$$

яғни

$$P_{\text{пост}} = P_m + P_{\text{мех}} + P_b$$

Қозғалтқыш бос жүріс режимінде жұмыс істеген кезде, қозғалтқыш желіден $P_{10} = I_{a0} U_c$ қуат тұтынады, ол өзіне $P_{\text{тұр}}$ тұрақты шығындардан басқа, $P_{\text{пер}}$ айнымалы шығындарды да қосады, айнымалы шығындарға жатады:

зәкір тізбегіндегі электрлік шығындар

$$P_{\text{эл}} = I_{a0}^2 \Sigma r$$

щеткалық түйіспедегі шығындар

$$P_{ш0} = I_{a0} \Delta U_{ш};$$

қосымша шығындар

$$P_{\text{кос}} = 0,01 P_{10} = 0,01 I_0 U_c.$$

Осылайша, қозғалтқыштың тұрақты шығындары

$$\begin{aligned} P_{\text{тұр}} &= P_{10} - P_{\text{э0}} - P_{ш0} = I_0 U_c - I_{a0}^2 \Sigma r - I_{a0} \Delta U_{ш} - 0,01 I_0 U_c = \\ &= 6,5 \cdot 220 - 4,9^2 \cdot 0,28 - 4,9 \cdot 2 - 0,01 \cdot 6,5 \cdot 220 = 1399 \text{ Вт}, \end{aligned}$$

мұндағы бос жүрістегі зәкір тоғы

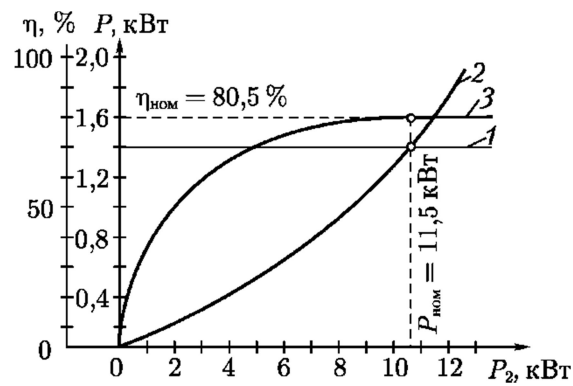
$$I_{a0} = I_0 - I_b = 6,5 - 1,6 = 4,9 \text{ А}.$$

$\eta = f(P_2)$ графигін сызу үшін қажетті мәліметтерді алу үшін жүктеме коэффициентіне $\beta = I_a / I_{\text{аном}}$ бірқатар мәндер берейік те, олардың әрқайсысы үшін қозғалтқыш ПЭК-ін анықтайық. Номиналды жүктеме режиміндегі зәкір тізбегіндегі ток $I_{\text{аном}} = I_{\text{ном}} - I_b = 65 - 1,6 = 63,4 \text{ А}$.

Жүктеме коэффициентінің ең кіші мәні бос жүріс режиміне сәйкес келеді $\beta = I_{a0} / I_{\text{аном}} = 4,9 / 63,4$ және 0,08. Жүктеме коэффициенті үшін келесі мәндерді аламыз: $\beta = 0,08; 0,25; 0,50; 0,75; 1,0; 1,20$.

5.12-кесте

Параметр	Параметр мәні					
$\beta = I_a / I_{\text{аном}}$	0,08	0,25	0,50	0,75	1,0	1,20
$I_a = I_{\text{аном}} \beta, \text{ А}$	4,9	15,85	31,7	47,55	63,4	76,1
$I = I_a + I_b, \text{ А}$	6,5	17,45	33,3	49,15	65	77,7
$P_1 = I U_c, \text{ Вт}$	1430	3839	7326	10 813	14 300	17 094
$P_{\text{тұр}}, \text{ Вт}$	1399	1399	1399	1399	1399	1399
$P_{\text{эа}} = I_a^2 \Sigma r, \text{ Вт}$	6,7	70,34	281,16	633,1	1125	1621
$P_{\text{кос}} = 0,01 P_1, \text{ Вт}$	14,3	38,39	73,26	108,13	143	170,9
$P_{\text{ш}} = I_a \Delta U_{ш}, \text{ Вт}$	9,8	31,7	63,4	95,1	126,8	152,2
$P_{\text{айт}} = P_{\text{эа}} + P_{\text{ш}} + P_{\text{кос}}, \text{ Вт}$	33,5	140,4	417,8	836,3	1395	1944
$\Sigma P = P_1 + P_{\text{айт}}, \text{ Вт}$	1430	1539	1817	2235	2794	3343
$P_2 = P_1 - \Sigma P, \text{ Вт}$	0	2300	5509	8578	11 506	13 751
$\eta = (P_2 / P_1) 100$	0	59,9	75,2	79,3	80,5	80,4



5.9-сурет. Параллель қоздырылатын тұрақты ток қозғалтқышының тұрақты шығындарының(1), айнымалы шығындарының(2) және пайдалы әрекет коэффициентінің (3) графиктері

Барлық есептеу формулалары мен есептеу нәтижелері 5.12-кестеде берілген.

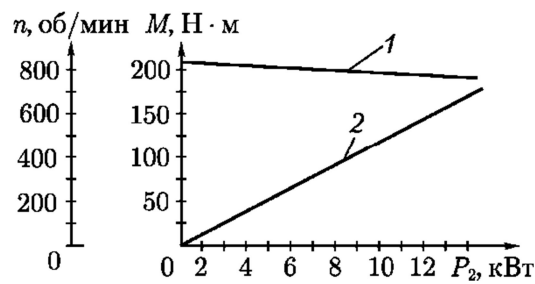
5.12-кестенің берілгені бойынша $P_{\text{тұр}} = f(P_2)$, $P_{\text{айн}} = f(P_2)$ және $\eta = f(P_2)$ графиктері салынды. Тұрақты шығындар (5.9-сурет, 1-график) мен айнымалы шығындар (2-график) графиктерінің қиылысу нүктесі шығындар теңдігіне сәйкес келеді, олай болса, бұл нүкте ПӘК-тің $\eta_{\text{max}} = 80,5\%$ максималды мәніне сәйкес келеді. Көрсетілген нүкте қозғалтқыштың номиналды жүктемесімен ($b=1$) сәйкес келеді, олай болса, $\eta_{\text{ном}} = \eta_{\text{max}} = 80,5\%$.

2. Айналу жиілігі мен қозғалтқышты жүктеуден біліктегі иінкүш тәуелділіктері. Тұрақты ток қозғалтқышының айналу жиілігі келесі өрнекпен анықталады:

$$n = \frac{U_c - I_a \sum r}{c_e \Phi}.$$

5.13-кесте

Параметр	Параметр мәндері					
$\beta = I_a / I_{a \text{ ном}}$	0,08	0,25	0,50	0,75	1,0	1,20
$I_a = I_{a \text{ ном}} \beta, \text{ А}$	4,9	15,85	31,7	47,55	63,4	76,1
$I_a \sum r, \text{ В}$	1,37	4,44	8,87	13,31	17,75	21,31
$E_a = U_c - I_a \sum r, \text{ В}$	218,6	215,6	211,1	206,7	202,25	198,7
$n = E_a / c_e \Phi, \text{ айн/мин}$	831	820	803	786	769	755
$P_2, \text{ Вт}$	0	2300	5509	8578	11 506	13 751
$M_2 = 9,55 P_2 / n, \text{ Н} \cdot \text{м}$	0	26,8	65,5	104,2	143	174



5.10-сурет. Параллель қоздырылатын тұрақты ток қозғалтқышының айналу жиілігі (1) мен біліктегі иінкүшінің (2) жүктемеге тәуелділік графиктері

Қозғалтқышты номиналды жүктеу режимінің параметрлерін қолдана отырып, келесі шаманы анықтаймыз

$$c_e \Phi = \frac{U_c I_{a \text{ ном}} \sum r}{n_{\text{ном}}} = \frac{220 - 63,4 \cdot 0,28}{770} = 0,263$$

Алынған $c_e \Phi = 0,263$ шамасын берілген қозғалтқыш үшін тұрақты деп аламыз, өйткені есептің шарты бойынша $\Phi = \text{const}$.

5.12-кестесінің берілгенін қолдана отырып, жүктеме коэффициентінің берілген $\beta = I_a / I_{a \text{ ном}}$ мәндері үшін қозғалтқыштың айналу жиілігін есептейміз.

Есептеу формулалары мен есептеу нәтижелері 5.13-кестеде берілген.

3. Біліктегі M_2 иінкүшінің қозғалтқыш жүктемесіне тәуелділігі.

Қозғалтқыш білігіндегі иінкүш келесі өрнекпен анықталады

$$M_2 = 9,55 P_2 / n.$$

5.12-кестенің берілгенін қолдана отырып, жүктеме коэффициентінің алынған $\beta = I_a / I_{a \text{ ном}}$ мәндері үшін M_2 иінкүш мәндерін есептейміз. Нәтижелерді 5.13-кестеге енгіземіз, одан кейін 5.10-суретте көрсетілген $n = f(P_2)$ және $M_2 = f(P_2)$ тәуелділік графиктерін саламыз.

5.11-есеп. Техникалық мәліметтері 5.10-кестеде берілген, тәуелсіз қоздырылатын тұрақты ток қозғалтқышы үшін үш сатылы іске қосу реостатын есептеу.

2ПО200L қозғалтқышы нұсқасының шешуі ($P_{\text{ном}} = 7,1$ кВт; $U_{\text{ном}} = 220$ В; $\eta_{\text{ном}} = 82,5$; $\sum r = 0,48$ Ом; $I_{a \text{ ном}} = 38,6$ А).

1. Аламыз:

бастапқы іске қосу тоғының мәнін

$$I_1 = 2,0 I_{a \text{ ном}} = 2,0 \cdot 38,6 = 77,2 \text{ А},$$

ауыстыру тоғының мәнін

$$I_2 = I_{a \text{ ном}} = 38,6 \text{ А}.$$

2. Тоқтардың қатынасы

$$\lambda = I_1/I_2 = 2,0.$$

3. Іске қосу реостатының үшінші сатысының резисторының кедергісі (5.4-суретті қарау)

$$r_{\text{кoc3}} = \Sigma r(\lambda - 1) = 0,48(2,0 - 1) = 0,48 \text{ Ом}.$$

4. Іске қосу реостатының екінші сатысының резисторының кедергісі

$$r_{\text{кoc2}} = r_{\text{кoc3}}\lambda = 0,48 \cdot 2,0 = 0,96 \text{ Ом}.$$

5. Іске қосу реостатының бірінші сатысының резисторының кедергісі

$$r_{\text{кoc1}} = r_{\text{кoc2}}\lambda = 0,96 \cdot 2,0 = 1,92 \text{ Ом}.$$

6. Барлық үш резистор тізбектей жалғанған кездегі, іске қосу реостатының бірінші сатысындағы кедергі

$$R_{\text{ПР1}} = r_{\text{кoc1}} + r_{\text{кoc2}} + r_{\text{кoc3}} = 1,92 + 0,96 + 0,48 = 3,36 \text{ Ом}.$$

7. Іске қосу реостатының екінші сатысындағы кедергі

$$R_{\text{ПР2}} = r_{\text{кoc2}} + r_{\text{кoc3}} = 0,96 + 0,48 = 1,44 \text{ Ом}.$$

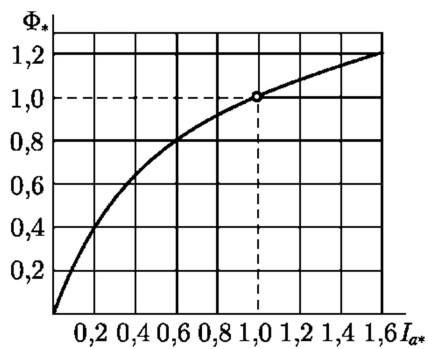
8. Іске қосу реостатының үшінші сатысындағы кедергі

$$R_{\text{ПР3}} = r_{\text{кoc3}} = 0,48 \text{ Ом}.$$

5.12-есеп.Қуаты $P_{\text{ном}}$ Д топтамасының тізбектей қоздырылатын тұрақты тоқ қрандық қозғалтқышы кернеуі 220 В және номиналды жүктеме кезінде $n_{\text{ном}}$ айналу жиілігін дамытады. Мәліметтерді есептеп, жүктеме тоғының қозғалтқышты жүктеу иінкүшінен тәуелділігінің $I_a—f(M)$ графигін сызу керек. Бос жүріс иінкүшін ескермеу. Қозғалтқыштың аталып өткен параметрлерінің мәндері 5.14-кестеде берілген.

5.14-кесте

Қозғалтқыш түрі	$P_{\text{ном}}$, кВт	$U_{\text{нов}}$, В	$\eta_{\text{ном}}$, %	$n_{\text{ном}}$, айн/мин
Д-806	22	220	85	575
Д-808	37	220	88	525
Д-810	55	440	89	500
Д-812	75	440	89,5	475
Д-814	110	440	90	460
Д-32	12	220	80	675
Д-41	16	220	82	650



5.11 - сурет. Негізгі магниттік ағынның зәкір тізбегіндегі тоқтан тәуелділігі

Д-806 қозғалтқышы нұсқасының шешуі.

Параллель қоздырылатын қозғалтқышта зәкір тоғы қоздыру тоғы да болғандықтан, қозғалтқыштың Φ негізгі магниттік ағыны I_a жүктеме тоғына тәуелді. Бірақ қозғалтқыштың магниттік жүйесі магниттік қанығу жағдайында болғандықтан, көрсетілген тәуелділік сызықтық емес.

5.11-суретте, есепті шешу кезінде қолданған жөн, магниттік ағынның $\Phi^* = \Phi/\Phi_{\text{ном}}$ салыстырмалы мәндерінің $I_{a*} = I_a/I_{a\text{ном}}$ зәкір тоғынан тәуелділік графигі көрсетілген

$$I_a = M/(c_M \Phi).$$

Тоқ пен иінкүштің номиналды мәндері үшін бұл тәуелділік келесідей:

$$I_{a\text{ном}} = M_{\text{ном}}/(c_M \Phi_{\text{ном}}).$$

Жүктеме тоғының $I_{a*} = I_a/I_{a\text{ном}}$ салыстырмалы бірліктерін ауыстырсақ, келесіні аламыз

$$I_{a*} = \frac{M/(c_M \Phi)}{M_{\text{ном}}/(c_M \Phi_{\text{ном}})} = \frac{M/\Phi}{M_{\text{ном}}/\Phi_{\text{ном}}} = (M/M_{\text{ном}})(\Phi_{\text{ном}}/\Phi) = M_*/\Phi_*$$

немесе

$$I_{a*}\Phi_* = M_*.$$

I_{a*} жүктеме тоғының бірқатар салыстырмалы мәндерін алып, $\Phi_* = f(I_{a*})$ графигі бойынша Φ_* анықтайды, одан кейін бұл мәндерді көбейтіп,

5.15-кесте

Параметр	Параметр мәндері				
I_{a*}	0,2	0,6	1,0	1,2	1,6
Φ_*	0,4	0,8	1,0	1,08	1,2
M_*	0,08	0,48	1,0	1,3	1,9
$I_{a\text{н}}$, А	24	71	118	142	189
M , Н · м	28	175	365	475	694

M^* өлшемдерін алады. Салыстырмалы өлшемдерді номиналдыға көбейту арқылы тоқтың I_a (А) және $M(H \cdot м)$ атаулы мәндерін есептейді.

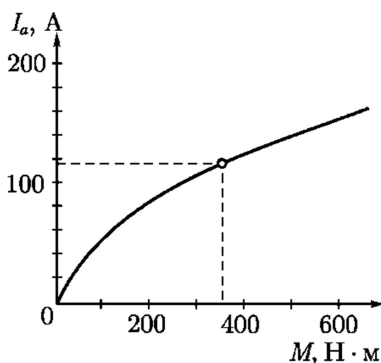
Есептеулер нәтижелерін 5.15-кестеге жазады, одан кейін 5.12-суретте көрсетілген қажетті $I_a = f(M)$, графикті сызады.

Зәкір тоғының номиналды мәні

$$I_{аном} = P_{ном} / (\eta_{ном} U_{ном}) = 22 \cdot 10^3 / (0,85 \cdot 220) = 118 \text{ А.}$$

Иінкүштің номиналды мәні

$$M_{ном} = 9,55 P_{ном} / n_{ном} 9,55 = 22 \cdot 10^3 / 575 = 365 \text{ Н} \cdot \text{м.}$$



5.12-сурет. Тізбектей қоздырылатын тұрақты ток қозғалтқышының $I_a = f(M)$ тәуелділігі

5.13-есеп. Кернеуі 220 В желіден жұмыс істейтін, Д топтамасының тізбектей қоздырылатын тұрақты ток қрандық қозғалтқышының мәліметтері 5.16-кестеде келтірілген (қуат $P_{ном}$; ток $I_{ном}$; айналу жиілігі $n_{ном}$). Қозғалтқыштың табиғи ($r_{кос} = 0$) және жасанды ($r_{кос} = 2\Sigma r$) механикалық сипаттамаларын есептеп, құрастыру керек.

Д12 қозғалтқышы нұсқасының шешуі.

Тізбектей қоздырылатын қозғалтқыштың механикалық сипаттамасын құрастыруға қажетті мәліметтерді алу үшін тізбектей қоздырылатын тұрақты ток қозғалтқыштарының әмбебап табиғи сипаттамаларын қолданамыз (5.5-сурет). Осы мақсатпен тоқтың бірқатар салыстырмалы мәндерін аламыз (бес мәннен кем емес) және әмбебап сипаттамалар бойынша сәйкес M^* иінкүш пен n^* айналу жиілігінің мәндерін анықтаймыз. Одан кейін, осы өлшемдердің номиналды мәндерін қолдана отырып, аталған өлшемдердің атаулы мәндерін келесі формулалар бойынша анықтайды:

$$I = I_{ном} I^*; n_c = n_{ном} n^*; M = M_{ном} M^*.$$

5.16-кесте

Параметр	Қозғалтқыш түрлерінің параметрлерінің мәндері				
	Д12	Д21	Д22	Д31	Д32
$P_{ном}$, кВт	2,5	4,5	6,0	8,0	12,0
$I_{ном}$, А	16	28	36	45	69
$n_{ном}$, об/мин	1100	900	850	800	675

Параметр	Параметр мәндері				
I*	0,4	0,6	1	1,6	2,0
M*	0,23	0,55	1,0	1,9	2,58
n _с *	1,83	1,32	1,0	0,73	0,62
I, А	6,4	9,6	16	25,6	32
M, Н • м	5	11,9	21,7	41,2	56
n _с , айн/мин	2013	1452	1100	803	682
E _{а.с} , В	201	191	172	143	124
E _{а.и} , В	162	134	76	-10	-68
E _{а.и} /E _{а.с}	0,80	0,70	0,44	-0,06	-0,55
n _и , айн/мин	1610	1016	484	-48	-68

Есептеу нәтижелерін 5.17-кестеге енгізеді.

1. Қозғалтқыштың номиналды ПӘК

$$\eta_{\text{ном}} = P_{\text{ном}} / (UI_{\text{ном}}) = 2500 / (220 \cdot 16) = 0,71.$$

2. Қозғалтқыштың номиналды кедергісі

$$R_{\text{ном}} = U / I_{\text{ном}} = 220 / 16 = 13,75 \text{ Ом}.$$

3. Зәкір тізбегінің кедергісі

$$\Sigma r = 0,75 R_{\text{ном}} (1 - \eta_{\text{ном}}) = 0,75 \cdot 13,75 (1 - 0,71) = 3 \text{ Ом}.$$

4. Зәкір тізбегіндегі сыртқы резистордың кедергісі

$$r_{\text{кoc}} = 2 \Sigma r = 2 \cdot 3 = 6 \text{ Ом}.$$

5. Қозғалтқыштың номиналды иінкүші

$$M_{\text{ном}} = 9,55 \cdot 10^3 P_{\text{ном}} / n_{\text{ном}} = 9,55 \cdot 10^3 \cdot 2,5 / 1100 = 21,7 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

6. 5.17-кестенің берілгенін қолдана отырып, қозғалтқыштың жасанды сипаттамасының параметрлерін анықтайды, ол үшін келесі өлшемдерді анықтайды

Зәкірдің табиғи сипаттама режиміндегі ЭҚК

$$E_{a.c} = U - I \Sigma r;$$

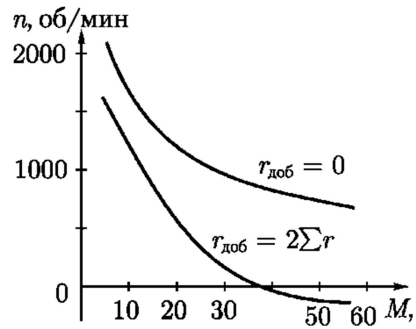
Зәкірдің жасанды сипаттама режиміндегі ЭҚК

$$E_{a.и} = U - I (\Sigma r + r_d);$$

Жасанды сипаттама режиміндегі айналу жиілігі

$$n_{и} = n_{с} (E_{a.и} / E_{a.c})$$

5.13-сурет. Тізбектей қоздырылатын тұрақты ток қозғалтқышының механикалық сипаттамасы



Берілген формулалар бойынша I_* токтың барлық мәндері үшін есептеулер жүргізіп, нәтижелерін 5.17-кестеге енгізеді және қозғалтқыштың механикалық сипаттамасын құрастырады (5.13-сурет).

5.14-есеп. Тізбектей қоздырылатын тұрақты ток қозғалтқышы кернеуі $U_{ном}$ желіге қосылған және номиналды жүктеме режимінде оның тоғы $I_{ном}$, щеткалық түйіспедегі кернеудің құлауы $\Delta U_{щ} = 2$ В.

Қозғалтқыштың жұмыс сипаттамалары (2-қосымшаны қарау) 5.18-кестеде берілген параметрлердің мәндерін қолдана отырып, анықтау:

а) зәкір тізбегінің Σr кедергісі және қозғалтқыштың $n=f(M_2)$ табиғи механикалық сипаттамасын құрастыру;

б) зәкір тізбегіне кедергісі $r_{кос} = 3 \Sigma r$ резисторды тізбектей қосқандағы мәліметтерді есептеп, жасанды механикалық сипаттама құрастыру.

Есептеу шешу барысында қозғалтқыштың магниттік және механикалық шығындары айналу жиілігінің өзгерісінің барлық диапазонында өзгермейді деп есептеу; қосымша шығындарды ескермеу.

5.18-кесте

Параметр	Нұсқалар			
	1 (2.7-қ. сурет)	2 (2.8-қ. сурет)	3 (2.9-қ. сурет)	4 (2.10-қ. сурет)
$U_{ном}, В$	220	440	220	440
$I_{а ном}, А$	160	240	250	500

1 - нұсқаның шешуі (Қ. 2.7-сурет)

1. ПЭК-тің $\eta_{max} = 88 \%$ максималды мәні зәкір тізбегіндегі $I_a = 100$ А токқа сәйкес келеді; бұл кезде қозғалтқыштағы шығындардың қосындысы қозғалтқыш тұтынытын қуаттың 12 % құрайды

$$P_1 = U_{ном} I_a = 220 \cdot 100 = 22\,000 \text{ Вт},$$

яғни

$$\Sigma P = 22\,000 \cdot 0,12 = 2640 \text{ Вт.}$$

2. Қозғалтқышты оның максималды ПӘК-іне сәйкес жүктеген кезде, зәкір тізбегі P_{a3} мен щеткалардың түйіспенсіндегі $P_{щ.э}$ электрлік шығындардан тұратын, айнамады шығындар, магниттік P_m және механикалық $P_{мех}$ шығындардан құралатын, тұрақты шығындарға тең болатыны белгілі, яғни

$$(P_{a3} + P_{щ.э}) = (P_{магн} + P_{мех}) = 0,5 \cdot 2640 = 1320 \text{ Вт.}$$

3. Щеткалық түйіспедегі электрлік шығындар

$$P_{щ.э} = I_a \Delta U_{щ} = 100 \cdot 2 = 200 \text{ Вт.}$$

4. Зәкір тізбегіндегі электрлік шығындар

$$P_{a3} = (P_{a3} + P_{щ.э}) - P_{щ.э} = 1320 - 200 = 1120 \text{ Вт.}$$

5. Зәкір тізбегіндегі электрлік шығындар зәкір тоғының квадратына пропорционал

$$P_{a3} = I_a^2 \Sigma r$$

осыдан зәкір тізбегінің орамасындағы кедергі

$$\Sigma r = P_{a3} / I_a^2 = 1120 / 100^2 = 0,112 \text{ Ом.}$$

6. Табиғи механикалық сипаттама құрастыруға қажетті мәліметтерді алу үшін қозғалтқыштың жұмыс сипаттамасын қолданамыз (Қ. 2.7-сурет) және зәкірдің I_a тоғына бірқатар мәндер алып, оларға сәйкес келетін және пайналу жиілігі мен P_2 пайдалы қуатты анықтаймыз. Осы мәндер бойынша қозғалтқыш білігіндегі сәйкес иінкүш мәндерін есептейміз

$$M_2 = 9,55 P_2 / n.$$

Аталып өткен өлшемдердің мәндерін 5.19-кестеге енгіземіз, ал одан кейін қозғалтқыштың $n = f(M_2)$ табиғи механикалық сипаттамасын құрастырамыз (5.14-сурет, 1-график).

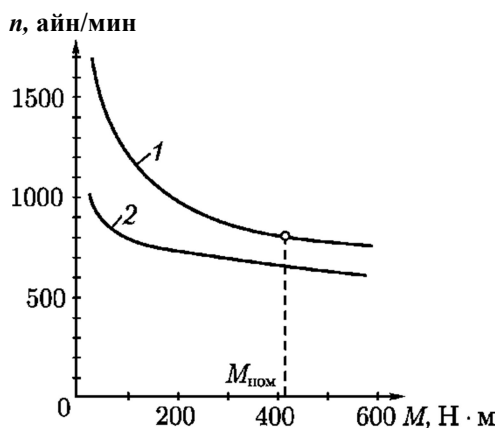
7. Зәкір тізбегіне кедергісі келесідей резисторды тізбектей жалғағанда

$$r_{қос} = 3 \Sigma r = 3 \cdot 0,112 = 0,336 \text{ Ом}$$

5.19-сурет

Параметр	Параметр мәндері				
I_w , А	40	80	120	160	200
n , айн/мин	1600	1100	900	810	750
P_2 , Вт	6000	15 000	24 000	34 000	45 000
M_2 , Н · м	36	130	255	410	570

5.14-сурет. Тізбектей қоздырылатын қозғалтқыштың механикалық сипаттамалары



қозғалтқыштың жұмысы жасанды механикалық сипаттама режиміне ауысады, бұл кезде қозғалтқыш зәкірінің айналу жиілігі келесі өрнекпен анықталады

$$n_{и} = \frac{U_{ном} - I_a(r_d + \sum r) - I_{a*} \Delta U_{щ}}{c_e \Phi}$$

(с_сF) өлшемін қозғалтқыштың номиналды айналу жиілігінің өрнегінен аламыз

$$n_{и} = \frac{U_{ном} - I_{аном} \sum r - \Delta U_{щ}}{c_e \Phi}$$

осыдан

$$\begin{aligned} c_e \Phi (U_{ном} - I_{аном} \sum r - \Delta U_{щ}) / n_{ном} = \\ = (220 - 160 \cdot 0,112 - 2) / 810 = 0,247. \end{aligned}$$

Олай болса, берілген қозғалтқыштың жасанды механикалық сипаттама режиміндегі айналу жиілігі:

$$n_{и} = \frac{U_{ном} I_a r_{доб} \sum r I_{a*} U_{щ}}{c_e \Phi} = \frac{220 - I_a(0,336 + 0,112) - I_{a*} 2}{0,247}$$

Қозғалтқыштың $n_{и} = f(M)$ жасанды механикалық сипаттамасын құрастыруға қажет мәліметтерді алу үшін I_a зәкір тоғына бірқатар мәндер аламыз (5.19-кестені қарау) және олардың әрқайсысы үшін $n_{и}$ айналу жиілігін, $P_{2и}$ пайдалы қуаты мен $M_{2и}$ иінкүшін есептейміз.

Қозғалтқыштың жасанды механикалық сипаттама режиміндегі пайдалы қуаты табиғи механикалық сипаттама режиміндегіден P_2 қуаттан

Параметр	Параметр мәндері				
$I_{\text{н}}, \text{А}$	40	80	120	160	200
$I_{\text{а}}^* = I_{\text{а}}/I_{\text{а ном}}$	0,25	0,5	0,75	1,0	1,25
$n_{\text{н}}, \text{айн/мин}$	836	780	723	666	610
$P_{2\text{н}}, \text{Вт}$	5462	12 850	19160	25 400	31 560
$M_{2\text{н}}, \text{Н} \cdot \text{м}$	62	157	253	364	520

резисторлардағы шығын шамасына кем $r_{\text{қос}} = 0,336 \text{ Ом}$, яғни

$$P_{2\text{н}} = P_2 - I_{\text{а}}^2 r_{\text{қос}}.$$

Аталып өткен параметрлердің есептеу нәтижелерін 5.20-кестеге енгіземіз, ал одан кейін жасанды механикалық сипаттаманы құрастырамыз (5.14-сурет, 2-график).

ҚОСЫМШАЛАР

1-қосымша

Халықаралық бірліктер жүйесінің БЖ кейбір негізгі және туынды бірліктері

Физикалық шама	Бірлік атауы	Белгіленуі (орысша)
Ұзындығы	метр	м
Масса	килограмм	кг
Уақыт	секунд	с
Электр тоғының күші	ампер	А
Жазық бұрыш	радиан	рад
Аудан	метр квадрат	м ²
Көлем, сыйымдылық	метр куб	м ³
Сызықтық жылдамдық	метр секундына	м/с
Үдеу	метр секунд квадратына	м/с ²
Бұрыштық жылдамдық	радиан секундына	рад/с
Периодтық үдерістің жиілігі, тербеліс жиілігі	герц	Гц
Айналу жиілігі*	минус бір дәрежедегі секунд	с ⁻¹
Тығыздық	килограмм метр кубына	кг/м ³
Инерция иінкүші	килограмм-метр квадрат	кг · м ²
Күш, ауырлық күші, салмақ	ньютон	Н
Күш моменті, қос күш моменті	ньютон-метр	Н · м
Қысым, қалыпты механикалық кернеу	паскаль	Па
Жұмыс, энергия	джоуль	Дж
Қуат	ватт	Вт
Цельсий температурасы	Цельсий градусы	°С
Жылу, жылу мөлшері	джоуль	Дж

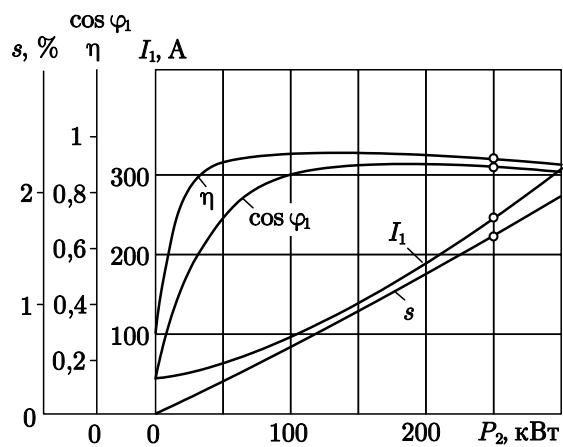
Физикалық шама	Бірлік атауы	Белгіленуі (орысша)
Электр мөлшері (электрлік заряд)	кулон	Кл
Электрлік өрістің кернеуі	вольт метрға	В/м
Электрлік кернеу, электрлік потенциал, электр қозғаушы күш (ЭҚК)	вольт	В
Электр сыйымдылық	фарад	Ф
Электр тоғының тығыздығы	ампер метр квадратқа	А/м ²
Электр тоғының сызықтық тығыздығы	ампер метрға	А/м
Магниттік өрістің кернеуі	ампер метрға	А/м
Магнит қозғаушы күш, магниттік потенциалдар айырмасы	ампер	А
Магниттік индукция	тесла	Тл
Магниттік ағын	вебер	Вб
Индуктивтік, өзара индуктивтік	генри	Гн
Абсолют магниттік өтімділік	генри метрға	Гн/м
Магниттенгендік (магниттеу қарқындылығы)	ампер метрға	А/м
Электрлік кедергі (активті, реактивті, толық)	ом	Ом
Электр өтімділік (активті, реактивті, толық)	сименс	См
Меншікті электр кедергісі	ом-метр	Ом · м
Меншікті электр өткізгіштік	сименс метрға	См/м
Магниттік кедергі	генри в минус первой степени	Гн ⁻¹
Магнит өткізгіштік	генри	Гн
Қуат: активті толық реактивті	ватт вольт-ампер вольт-ампер реактивті	Вт В · А вар
Электрмагниттік энергия	джоуль	Дж

* Техникалық құжаттар мен зауыттық тәжірибеде айналу жиілігі «минутына айналым» бірлігінде өлшенеді, белгіленуі мин⁻¹ немесе айн/мин; 1 айн/мин = 60 с⁻¹.

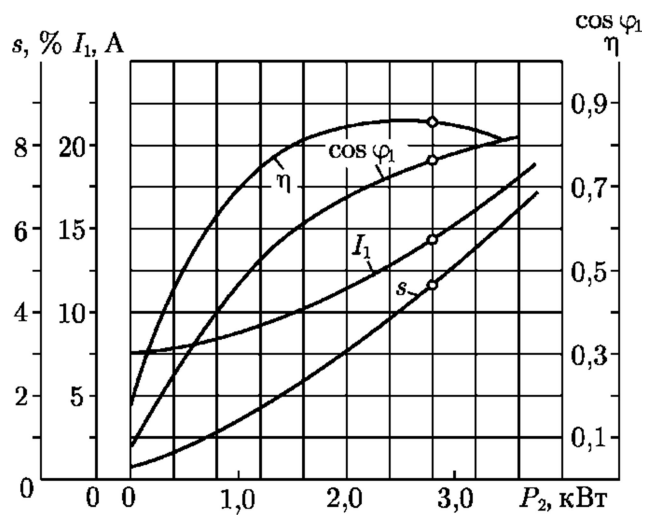
БЖ бірліктерімен қатар қолданылатын бірліктер

Шама	Бірліктің атауы	Бірліктің белгіленуі	БЖ бірлігімен қатынасы
Масса	тонна	т	10^3 кг
Уақыт	минут сағат тәулік	мин сағ тәул	60 с 3 600 с 86400 с
Жазық бұрыш	градус минут секунд	...° ...' ..."	$\pi/180$ рад $\sim 1,745329 \cdot 10^{-2}$ рад $\pi/10\ 800$ рад « $2,908\ 882 \cdot 10^{-4}$ рад $\pi/648\ 000$ рад « $4,848\ 137 \cdot 10^{-6}$ рад
Көлем, сыйымдылық	литр	л	0 8
Механикалық кернеу	ньютон миллиметр квадратқа	Н/мм ²	1МПа
Толық қуат	вольт-ампер	В · А	-
Реактивті қуат	вар	вар	-

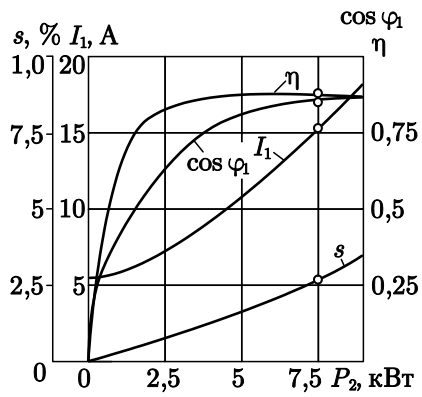
Электр қозғалтқыштардың жұмыс сипаттамалары



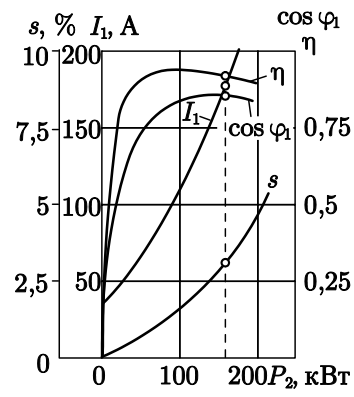
2.1-к. сур. Қуаты $P_{\text{ном}} = 250$ кВт үш фазалы асинхронды қозғалтқыштың жұмыс сипаттамасы



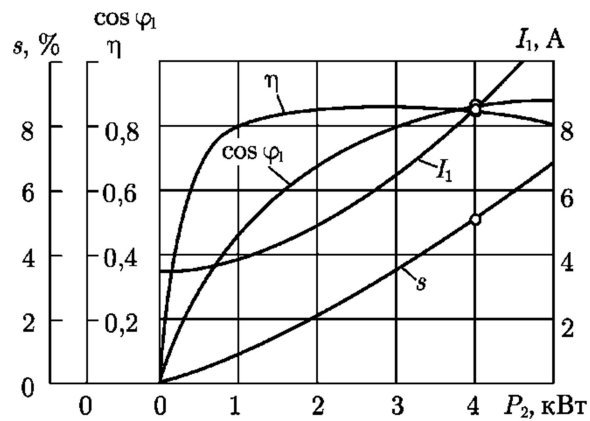
2.2-к. сур. Қуаты $P_{\text{ном}} = 2,8$ кВт үш фазалы асинхронды қозғалтқыштың жұмыс сипаттамасы



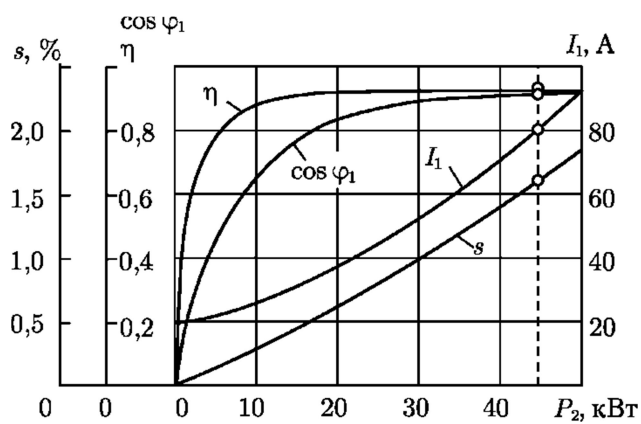
2.3-қ. сур. Қуаты $P_{\text{ном}} = 7,5$ кВт үш фазалы асинхронды қозғалтқыштың жұмыс сипаттамасы



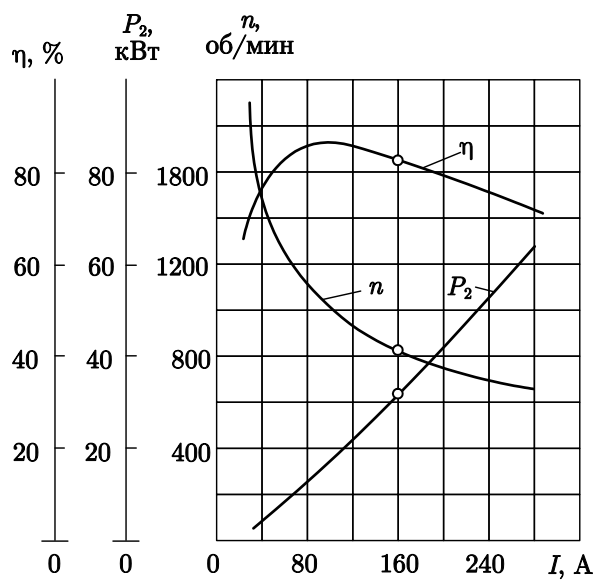
2.4-қ. сур. Қуаты $P_{\text{ном}} = 160$ кВт үш фазалы асинхронды қозғалтқыштың жұмыс сипаттамасы



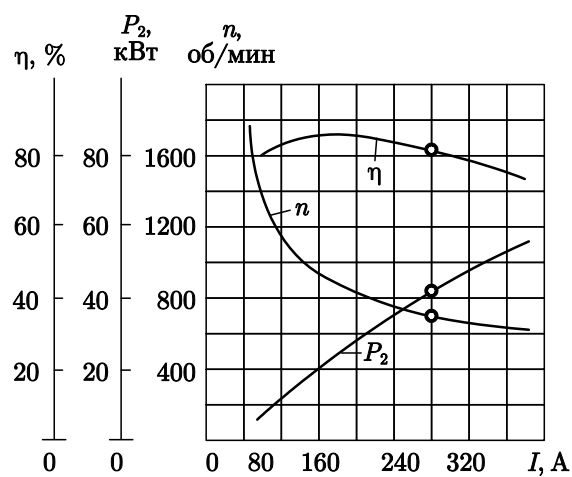
2.5-қ. сур. Қуаты $P_{\text{ном}} = 4,0$ кВт үш фазалы асинхронды қозғалтқыштың жұмыс сипаттамасы



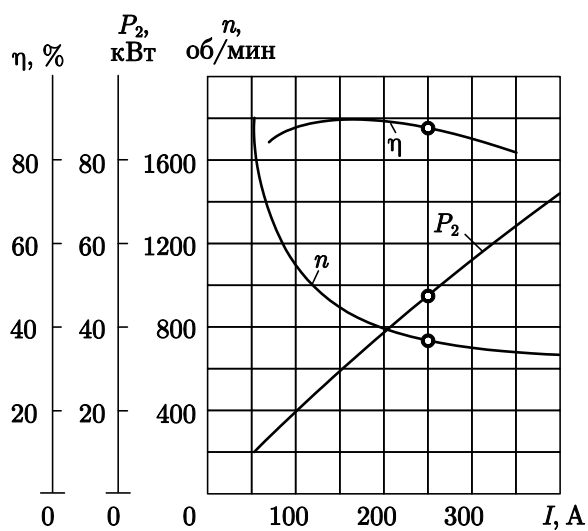
2.6-қ. сур. Қуаты $P_{\text{ном}} = 45$ кВт үш фазалы асинхронды қозғалтқыштың жұмыс сипаттамасы



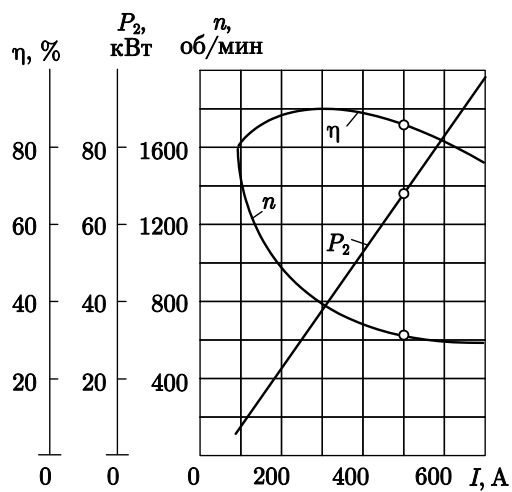
2.7-қ. сур. Номиналды тоғы $I_{\text{ном}} = 160$ А тізбектей қоздырылатын тұрақты ток қозғалтқышының жұмыс сипаттамасы



2.8-қ. сур. Номиналды тоғы $I_{\text{ном}} = 240$ А тізбектей қоздырылатын тұрақты ток қозғалтқышының жұмыс сипаттамасы



2.9-қ. сур. Номиналды тоғы $I_{\text{ном}} = 250$ А тізбектей қоздырылатын тұрақты ток қозғалтқышының жұмыс сипаттамасы



2.10-қ. сур. Номиналды тоғы $I_{\text{ном}} = 500 A$ тізбектей қоздырылатын тұрақты ток қозғалтқышының жұмыс сипаттамасы

ӘДЕБИЕТТЕР ТІЗІМІ

1. *Кацман М.М.* Электрлік машиналар бойынша анықтамалық. — М., 2005. — 479 б.
2. *Кацман М.М.* Электрлік машиналар. — М., 2006. — 475 б.
3. *Кацман М. М.* Электрлік машиналарды есептеу және құрастыру. — М., 1984. — 359 б.
4. *Куликов А.А.* Электрлік машиналар бойынша есептер жинағы / А. А. Куликов, М. И. Немировский. — М., 1961. — 199 б.
5. Электротехника мен электротехника негіздері бойынша есептер жинағы / В. С. Пантюшина. ред. — М., 1979. — 254 б.

МАЗМҰНЫ

Алғысөз.....	3
Кітапта қолданылатын негізгі әріптік белгілер	4
1-бөлім. Трансформаторлар.....	8
1.1. Негізгі түсініктер.....	8
1.2. Есептер.....	14
Трансформация коэффициенті, ЭҚК және орамдардағы тоқтар, бос жүріс пен қысқа тұйықталу параметрлері	14
Векторлық диаграмма, шығындар мен трансформатордың ПӘК	21
Трансформаторлардың параллель жұмысы. Автотрансформаторлар.....	31
2-бөлім.. Коллекторсыз машиналар теориясы бойынша жалпы сұрақтар.....	36
2.1. Негізгі түсініктер.....	36
2.2. Есептер.....	39
3-бөлім.. Асинхронды қозғалтқыштар.....	46
3.1. Негізгі түсініктер	46
3.2. Есептер.....	52
Қозғалтқыштардың сырғуы, ЭҚК мен тоқтары.....	52
Шығындар мен ПӘК, электромагниттік иінкүш, механикалық сипаттама.....	58
Шеңбер диаграмма мен жұмыс сипаттамасы	74
Іске қосу және айналу жиілігін реттеу	82
4-бөлім.. Синхронды машиналар.....	91
4.1. Негізгі түсініктер	91
4.2. Есептер	95
Синхронды генераторлар	95
Синхронды қозғалтқыштар мен компенсаторлар.....	107
5-бөлім.. Коллекторлы тұрақты ток машиналары.....	116
5.1. Негізгі түсініктер.....	116
5.2. Есептер.....	123
Зәкір орамы, ЭҚК, зәкір реакциясы.....	123
Тұрақты ток генераторлары	128
Тұрақты ток қозғалтқыштары	129
Қосымшалар	147
Әдебиеттер тізімі	154

Оқу басылымы

Кацман Марк Михайлович

Электр машиналары бойынша есептер жинағы

Оқу құралы

Редактор Т.Ф.Мельникова, Ә.Қ. Шапауов

Техникалық редактор Н.И.Горбачева

Компьютерлік беттеу: Л.А.Вишнякова

Корректорлар Л.А. Богомолова, Г.Н.Петрова

№ 108105149 Бас. Басуға 26.05.2014 қол қойылды. Пішімі 60 x 90/16.

«Петербург» қаріп түрі. № 1 офсеттік қағаз. Офсеттік басылыс. Шартты баспа табағы 10,0.

Таралымы 1000 дана. Тапсырыс №

ООО «Академия» баспа орталығы. www.academia-moscow.ru129085, Мәскеу,

Бейбітшілік даңғ, 101В, 1 құр.

Тел./факс: (495) 648-0507, 616-00-29.

Санитарлық-эпидемиологиялық қорытынды № РОСС RU. АЕ51. Н16592 от 29.04.2014. Баспаның электрондық тасымалдаушыларынан басып шығарылған.

ОАО «Тверь полиграфиялық комбинат», 170024, Тверь қаласы, Ленин даңғ, 5. Телефон:

(4822) 44-52-03, 44-50-34. Телефон/факс: (4822) 44-42-15.

Homepage— www.tverpk.ru Электронды пошта (E-mail) — sales@tverpk.ru