

Торайғыров университетінің хабаршысы
ҒЫЛЫМИ ЖУРНАЛЫ

НАУЧНЫЙ ЖУРНАЛ
Вестник Торайғыров университета

Торайғыров университетінің ХАБАРШЫСЫ

Энергетикалық сериясы
1997 жылдан бастап шығады



ВЕСТНИК Торайғыров университета

Энергетическая серия
Издается с 1997 года

ISSN 2710-3420

№ 3 (2021)

Павлодар

НАУЧНЫЙ ЖУРНАЛ
Вестник Торайгыров университета

Энергетическая серия
выходит 4 раза в год

СВИДЕТЕЛЬСТВО

о постановке на переучет периодического печатного издания,
информационного агентства и сетевого издания
№ 14310-Ж

выдано

Министерство информации и общественного развития
Республики Казахстан

Тематическая направленность

публикация материалов в области электроэнергетики,
электротехнологии, автоматизации, автоматизированных и
информационных систем, электромеханики и теплоэнергетики

Подписной индекс – 76136

<https://doi.org/10.48081/ADSD2201>

Бас редакторы – главный редактор

Кислов А. П.

к.т.н., доцент

Заместитель главного редактора

Талипов О. М., *доктор PhD, доцент*

Ответственный секретарь

Приходько Е. В., *к.т.н., профессор*

Редакция алқасы – Редакционная коллегия

Клецель М. Я., *д.т.н., профессор*
Новожилов А. Н., *д.т.н., профессор*
Никитин К. И., *д.т.н., профессор (Россия)*
Никифоров А. С., *д.т.н., профессор*
Новожилов Т. А., *к.т.н., доцент (Россия)*
Оспанова Н. Н., *к.п.н., доцент*
Нефтисов А. В., *доктор PhD, доцент*
Шокубаева З. Ж. *технический редактор*

За достоверность материалов и рекламы ответственность несут авторы и рекламодатели

Редакция оставляет за собой право на отклонение материалов

При использовании материалов журнала ссылка на «Вестник Торайгыров университета» обязательна

© Торайгыров университет

<https://doi.org/10.48081/USOP8639>***М. Б. Жаркымбекова, К. О. Ғали**

Ғ. Дәукеев атындағы Алматы энергетика және байланыс университеті,
Қазақстан Республикасы, Алматы қ.

ҚЫСҚАША ТҰЙЫҚТАЛҒАН РОТОРЛЫ АСИНХРОНДЫ ҚОЗҒАЛТҚЫШТАРДА МАГНИТТІК РАДИАЛДЫ КҮШТЕРДІҢ ӘСЕРІНЕН ПАЙДА БОЛАТЫН ДІРІЛ ЖӘНЕ ОНЫ ЕСЕПТЕУ

Бұл мақаланың мақсаты магниттік радиалды күштердің әсерінен пайда болатын қысқаша тұйықталған роторлы асинхронды қозғалтқыштың дірілін және соның әсерінен пайда болатын шуды азайту үшін падаланылатын әдістерге шолу жүргізу және магниттік радиалды күштердің әсерінен пайда болатын қысқаша тұйықталған роторлы асинхронды қозғалтқыштың дірілін және соның әсерінен пайда болатын шуды есептеп, оның мәнін азайту үшін тік пазалардың орнына қиғашталған пазаларды қолданған кездегі діріл мен шудың мәндерімен салыстыру және зерттеу.

Электрмагниттік күштердің әсерінен болатын тістердегі дірілдің амплитудасының статор тірегіндегі дірілден ондаған және жүздеген есеге аз болатынын қарапайым есептеулермен көрсету. Сондықтан электр машинасының магниттік шуын зерттеу негізінен оның статор тірегін зерттеуді қажет етеді.

Жоғарыда аталған діріл тугызушы магниттік күштердің әсерінен пайда болатын магниттік шуды төмендетудің бір тәсілі ол электр қозғалтқышын жобалаған кезде статордағы және ротордағы ойықтар санының қолайлы қатынасын анықтау. Дегенмен, ойықтар санының қолайлы қатынасын таңдауға шудың азайуы ғана емес, сондай-ақ асинхронды қозғалтқыштарды жүргізу, қозғалтқыштық және тежелу қасиеттерінде тәуелді болады. Сондықтан ойықтар санын таңдаған кезде барлық көрсетілген факторларды ескеріп, зерттеу жүргізу.

Кілтті сөздер: асинхронды қозғалтқыш, қысқа тұйықталған ротор, полюстер саны, орама қадамы, тістік бөлік, полюстік бөлік, магниттік күштер, діріл және шу.

Кіріспе

Электр машиналарында дірілдің әсерінен пайда болатын шу адам ағзасына зиянды әсер етеді. Шудың зияндылығы көптеген себебтерге байланысты болады, олар: шудың қарқындылық деңгейіне, спектрлік құрамына, шудың жұмыс уақыты ішіндегі ұзақтығы мен таралуына, шудың өмір бойы және ағзаның жағдайына жалпы әсер ету ұзақтығына.

Қатты шудың әсерінен қан қысымы көтеріледі, жүректің соғуы күшейеді, мидың қан тамырларындағы қысымы үш есеге дейін өсуі мүмкін, көздің көруі нашарлайды, тыныс алу ырғағы өзгереді. Жалпы шудың адамға тигізетін зиянды әсері дененің жалпы шаршауына, ал ұзақ мерзімде әсер еткен кезде ерте қартайуға әкеледі.

Электр машиналарын әртүрлі салаларда кеңінен пайдалану, шудың зиянды әсерлерінен аулақ болу үшін олардағы шудың және дірілдің аз болуын талап етеді. Электр машиналары тудыратын шу табиғаты әртүрлі болатын көптеген шуылдардың қосындысы болады.

Ауа саңылауындағы толықсушы магниттік күштер статорға және роторға әсер етеді, олар серіппелі элементтер болатындықтан механикалық тербелісте болады. Бұл еріксіз тербелістердің таралуы, сондай-ақ магниттік өзекшелердің магнитстрикциялық тербелісі магниттік деп аталатын шу туғызады.

Магниттік шу көздері магниттік күштер болады, олар машинаның ауа саңылауында пайда болады. Ауа саңылауында болатын уақыт бойынша және кеңістікте периодты таралатын бұл ауыспалы таңбалы күштердің әсерінен статор мен ротор созылу және иілу түріндегі еріксіз тербелістер жасайды. Іс жүзінде шу туғызатын негізінен радиалды күштер болады, ал қалғандары тек ерекше жағдайларда ғана ескеріледі.

Материалдар мен әдістер

Электр машиналарының ішінде асинхронды машиналардағы магниттік шудың пайда болу құбылысы өте күрделі болады.

Беттік бірліктегі магниттік күштер ауа саңылауындағы индукцияның нормальды құрамының квадратына тәуелді болады

$$f_s : B^2.$$

Зерттеу нәтижелерінің көрсетуі бойынша магниттік шудың негізгі көздері болатын оларға электрмагниттік күштер тікелей берілетін тістердің және полюстердің тербелуі емес, статор тірегінің тербелуі болады.

Электрмагниттік күштердің әсерінен болатын тістердегі дірілдің амплитудасының статор тірегіндегі дірілден ондаған және жүздеген есеге аз болатынын қарапайым есептеулермен көрсетуге болады. Сондықтан электр машинасының магниттік шуын зерттеу негізінен оның статор тірегін зерттеуді қажет етеді.

Есептеген кезде машинаның статор тірегін оған уақыт бойынша периодты өзгертін және шеңбер бойымен тең таралған толқындар саны r тең болатын радиалды және тангенциалды күштер жүйесі әсер ететін цилиндр түріндегі қабықша ретінде көрсетіледі.

Магниттік күштермен қоздырылатын статорлардың дірілін зерттеген кезде келесідей кеңістіктік тербелу түрлеріне бөледі, олар айнымалы және тұрақты ток машиналарының барлық түрлеріне де ортақ болады:

$r = 0$ болған кезде, статор толықсыған цилиндр сияқты дірілдейді (созылады – сығылады);

$r = 1$ болған кезде бір жақты тартылыс магнит күштері әсер етеді;

$r \geq 1$ болған кездегі басқа жағдайлар әртүрлі тербеліс түрлеріне сәйкес келеді.

Магниттік шу қоздыратын өрістер туралы ең көрнекі және егжей-тегжейлі түсінік статор және ротор орамаларындағы токтар тудыратын магнит қозғаушы күштерінің (м.к.к.) таралуын және ауа саңылауының магниттік өткізгіштігін зерттеген кезде алынуы мүмкін.

Асинхронды қозғалтқыш жүктемемен жұмыс істеген кезде радиалды күштерден басқа тангенциалды күштер де пайда болады, олардың айнымалы құрамдары да діріл тудырады.

Сызықты жүктеменің және индукцияның таралуының синусоидалы сипатта болатынын ескеріп (радиалды күштер сияқты), статордың әрбір қарапайым ауданына бағыты тұрақты болатын тангенциалды күштер және статордың бойымен екі еселенген толқындар санымен синусоидалы таралатын айнымалы тангенциалды күштер әсер етеді деп қортынды жасауға болады.

Бұл жоғарыда аталған діріл туғызушы магниттік күштердің әсерінен пайда болатын магниттік шуды төмендетіудің бір тәсілі ол электр қозғалтқышын жобалаған кезде статордағы және ротордағы ойықтар санының қолайлы қатынасын анықтау болады. Дегенмен, ойықтар санының қолайлы қатынасын таңдауға шудың азайуы ғана емес, сондай-ақ асинхронды қозғалтқыштарды жүргізу, қозғалтқыштық және тежелу қасиеттерінде тәуелді

болады. Сондықтан ойықтар санын таңдаған кезде барлық көрсетілген факторларды ескеру керек.

Қысқаша тұйықталған ротордың ойықтар санын таңдаған кезде басшылық етуге қажетті негізгі шарттарды қарастырамыз, бұл кезде статор ойықтарының санын таңдауды бір фазаға және полюске келетін ойықтар саны q ең үлкен бүтін сан болатын ораманы пайдалану шарты бойынша орындалатынын ескереміз.

1 Ауа саңылауындағы өткізгіштіктің тістік гармоникаларынан, статор және ротор орамаларындағы м.қ.к. гармоникаларынан, қосымша шығындардан болатын асинхронды моменттерді азайту үшін, сондай-ақ жұмыс істеу жағдайын жақсарту үшін ұсынылады:

Статордың ойықтары ашық болған кезде орындалатын қатынас

$$0,8Z_1 \leq Z_2 \leq 1,25Z_2; \quad (1)$$

– ашық және жартылай ашық ойықтар кезінде (1) шек біршама өсуі мүмкін;

– жүргізу жағдайы ауыр болған кезде ротордың ойықтар саны статордікінен аз болуы керек, яғни

$$Z_2 < Z_1; \quad (2)$$

жұмыс жағдайы әдеттегідей және жеңілдетілген кезде ротордың ойықтар саны шуды төмендету мақсатында статордікінен көп болуы керек, яғни

$$Z_2 > Z_1. \quad (3)$$

2 Синхронды моменттердің әсерін жою немесе әлсірету үшін қысқаша тұйықталған роторлы қозғалтқыштың ойықтар санын таңдаған кезде [1] кестені пайдаланған дұрыс, онда синхрондаушы момент тудыратын жоғары гармоникалар тобы келтірілген.

3 Статор және ротор ойықтарының сандарының қатынасымен ν және μ жоғарғы гармоникалар жұптарының саны анықталады, ал осылайша күштік толқындардың реттік қатарының саны r анықталады. Ең қауыпты болатын сандар $r = 0, 1, 2, 3, 4$. Бұл кезде көптеген қуаты аз және орташа болатын машиналарда $r = 0$ тең болуы, $r = 1, 2, 3$ тең болуымен салыстырғанда аздап қана қауіпті болады. Пазалар санын Z_1 және Z_2 таңдау үшін статордың және ротордың бірінші ойықтық гармоникаларын қарастыру жеткілікті, яғни статордың бірінші ойықтық гармоникасы ротордың бірінші ойықтық

гармоникасымен реттік саны $r = 0, r = \pm 1, r = \pm 2, r = \pm 3, r = \pm 4$ тең болатын күштік толқындар құруына кедергі жасау. Қуаты аз және орташа болатын машиналар үшін $r = \pm 5$ тең және одан да жоғары болған кездегі тербелу амплитудасы да аз болады.

Себебі, статордың бірінші ойықтық гармоникасының жұпталған полюстер саны

$$\nu = \pm Z_1 + p, \quad (4)$$

ал, ротордың бірінші ойықтық гармоникасының жұпталған полюстер саны

$$\mu = \pm Z_2 + p, \quad (5)$$

сондықтан олар құратын күтік толқындардың реттік сандары келесідей болады

$$r = (\pm Z_2 + p) \pm (\pm Z_1 + p). \quad (5)$$

r қойылатын шектеу талаптарын ескеріп, шуды азайту шарттарын келесідей түрде жазуға болады:

$$Z_1 - Z_2 \neq \begin{cases} 0, \pm 1; \pm 2; \pm 3; \pm 4; \\ 2p, 2p \pm 1; 2p \pm 2; 2p \pm 3; 2p \pm 4. \end{cases} \quad (6)$$

Асинхронды қозғалтқыштағы магниттік діріл мен шуды азайтудың тағы бір әдісі, ол ротор ойықтарын қиғаштау. Көптеген тәжірибелер мен есептеулердің көрсетулері бойынша бірінші ойықтық гармоникалар қоздыратын діріл, ойықтарды бір ойықтық бөлікке қиғаштаған кезде түзу етіп жасалған ойықтардағы дірілден айтарлықтай аз болады. Бұл әсіресе Z_1 және Z_2 ойықтарының байланысы қолайсыз болатын қозғалтқыштар үшін ерекше жағдай.

Нәтижелер мен талқылау

Осы жоғарыда айтылған жағдайларды практикалық жолмен тексеру үшін мысал ретінде кернеуі 220 В, жиілігі 50 Гц, қуаты 15 кВт және полюстер саны $2p=4$ тең болатын үш фазалы қысқаша тұйықталған роторлы асинхронды қозғалтқыштың магниттік діріліне жан-жақты есептеулер жүргіземіз, ол үшін келесі есептелген мәліметтерді пайдаланамыз: пазалар саны $Z_1=48, Z_2=38, I_1=29 A, I_0=7,8 A, I_2=129,9 A$; фазалық бұрыш $\varphi_1=27^\circ, \varphi_{or}=90^\circ$; Картер коэффициенті $k_{c1}=1,23, k_{c2}=1,17$; ауа саңылауындағы

индукция $B_{\delta}=0,749$ Тл; магнит тізбегінің қанығу коэффициенті $k_{\mu}=1,56$; номинал сырғанау $s=0,026$; орамасының қысқарту қадамы $\beta=1$; орама коэффициенті $k_{оп1}=0,958$; статордың қалыңдығы $h_c=2,28$ см; статордың орташа радиусы $R_c=13,6$ см; статордың ішкі диаметрі $R_i=11,4$ см; статордың активті ұзындығы $l_{\delta}=13$ см; статор қалыңдығының орташа бетінің 1 см^2 келтірілген статордың массасы $m_c=2,3 \cdot 10^{-2}$.

1. Статор орамасындағы магнит өрістерінің жұпталған полюстер саны (негізгі толқынды қоса есептегенде)

$\nu = (6q' + 1)p = +2, -10, +14, -22, +26, -34, +38, (-46, +50), -58, +62, \dots$ Жақшаға тістік реттегі жұпталған полюстер саны алынған.

2 Ротор орамасындағы магнит өрістерінің жұпталған полюстер саны (негізгі толқынды қоса есептегенде)

$$\mu = q''Z_2 + p = +2, -36, +40, -74, +78, \dots$$

3 Тербелу реті $r = \nu \pm \mu$ кестеде келтірілген. Бұл кестеде тербелу ретінің толқындар санының 10 аз болатындары ғана көрсетілген. Кестеде көрсетілген барлық тербелу реттерінің ішіндегі ең күшті шу шығаратын толқын, ол $r = 2$. Тістік жиілікте мұндай реті өте төмен тербелістің пайда болуы, ол бұл қозғалтқыштағы ротор тістерінің сандары сәтсіз таңдалуынан болады. Кестеде көрсетілгендей, пазалық гармоникалар үлкен діріл туғыза алмайды, себебі олар қоздыратын тербеліс реті -6, +10. Сондықтан дірілді есептеуді орамалық гармоникалар қоздыратын $r=2$ және $r=4$ толқындар үшін жүргіземіз.

4 Қоздырушы күштердің жиіліктері:

$\nu = 38$ және $\mu = -36$ гармоникалар үшін

$$f = f_1 [q''(Z_2 / p)(1-s) + 2] = 50 \left[-1 \left(\frac{38}{2} \right) (1-0,026) + 2 \right] = 825 \text{ Гц};$$

$$\omega = 2\pi f = 314 \cdot 825 = 5183c^{-1};$$

$\nu = 2; \mu = 2; r = 4$ негізгі толқын үшін

$$f = 2 \cdot 50 = 100 \text{ Гц}; \omega = 2\pi \cdot 100 = 628c^{-1}.$$

Кесте 1 – Тербелу реті

q''	q'	0	-1	+1	-2	+2	-3	+3	-4	+4	-5	+5
		+2	-10	+14	-22	+26	-34	+38	-46	+50	-58	+62
0	+2	(4)										
-1	-36						+2	[+2]				

+1	+40						+6	-2	-6	+10		
-2	-74											
+2	+78											

5 Магниттік өрістердің амплитудасы:
статор және ротор орамаларының гармоникаларының:

$$B_\nu = \frac{p k_{w\nu}}{\nu k_{w1}} k_\mu \frac{I_1}{I_{0r}} B_\delta = -0,053 \left(\frac{29}{7,8} \right) 1,56 \cdot 0,749 = 0,23 \text{ Тл},$$

бұл формуланы пайдалануды жеңілдету үшін $(p/\nu)(k_{w\nu}/k_{w1})$ көбейтінділердің мәндері әртүрлі орамалар үшін [1] оқулықтың 8 қосымшасында берілген.

$$B_\mu = \frac{p}{\mu} \frac{1}{k_{w1}} \frac{I_2'}{I_1} k_\mu B_\delta = \left(\frac{2}{36} \right) \left(\frac{1}{0,958} \right) 1,56 \left(\frac{129,9}{7,8} \right) 0,749 = 0,3 \text{ Тл},$$

негізгі толқын үшін $B_1 = 0,749 \text{ Тл}$.

6 Меншікті радиалдық күштің, статор арқасының орташа радиусына келтірілген амплитудасы:

$\nu = 38$ және $\mu = -36$ гармоникалар үшін

$$P_{\nu\mu} = 40 B_\nu B_\mu (R_i / R_c) = 40 \cdot 0,23 \cdot 0,3 (9,25 / 13,6) = 1,87 \text{ Н / см}^2;$$

негізгі толқын үшін

$$P_1 = 20 B_\delta^2 (R_i / R_c) = 40 \cdot 0,749^2 (9,25 / 13,6) = 7,63 \text{ Н / см}^2.$$

7 Статордың толық механикалық кедергісі:

$r = 2$ болған кездегі тербеліс үшін

$$\lambda_c = \frac{12 R_c}{E} \left(\frac{R_c}{h} \right)^3 \frac{r^2 + 1}{r^2 (r^2 - 1)^2} = \frac{12 \cdot 13,6}{2,1 \cdot 10^7} \left(\frac{13,6}{2,23} \right)^3 \cdot \frac{2^2 + 1}{2^2 (2^2 - 1)^2} = 4,5 \cdot 10^{-5} \text{ см / Н},$$

$$z_c = \omega_1 m_c - \frac{1}{\omega_1 \lambda_c} = 5183 \cdot 2,3 \cdot 10^{-4} - \frac{10^5}{5183 \cdot 465} = -3,1 \text{ Н} \cdot \text{с / см};$$

$r = 4$ тербеліс үшін

$$\lambda_c = \frac{12R_c}{E} \left(\frac{R_c}{h} \right)^3 \frac{r^2 + 1}{r^2(r^2 - 1)^2} = \frac{12 \cdot 13,6}{2,1 \cdot 10^7} \left(\frac{13,6}{2,23} \right)^3 \cdot \frac{4^2 + 1}{4^2(4^2 - 1)^2} = 0,83 \cdot 10^{-5} \text{ см} / \text{Н},$$

$$z_c = \omega_1 m_c - \frac{1}{\omega_1 \lambda_c} = 628 \cdot 2,3 \cdot 10^{-4} - \frac{10^5}{6,28 \cdot 0,83} = 192 \text{ Н} \cdot \text{с} / \text{см}.$$

8 Дірілдің деңгейі:

825 Гц жиілікте:

$$\gamma_c = \frac{P_{\nu\mu}}{\sqrt{2}z_c} = \frac{1,87}{\sqrt{2} \cdot 3,1} = 0,42 \text{ см} / \text{с}; \quad L = 20 \lg \frac{w_1 \gamma_c}{3 \cdot 10^{-2}} = 20 \lg \frac{5183 \cdot 0,42}{3 \cdot 10^{-2}} = 97 \text{ дБ},$$

100 Гц жиілікте

$$\gamma_c = \frac{P_1}{\sqrt{2}z_c} = \frac{7,63}{\sqrt{2} \cdot 192} = 0,028 \text{ см} / \text{с}; \quad L = 20 \lg \frac{w_1 \gamma_c}{3 \cdot 10^{-2}} = 20 \lg \frac{628 \cdot 0,028}{3 \cdot 10^{-2}} = 55 \text{ дБ}.$$

Енді осы қозғалтқыш үшін пазаларды бір тістік бөлікке қиғаштаған кездегі діріл мен шуды ($\nu = +36; \mu = -36; \omega = 5183 \text{ с}^{-1}; r = 2$) есептейміз.

9 Инерция моменттері:

$$J_x = \frac{h_t^3}{12} = \frac{2,23 \cdot 13^3}{12} = 0,41 \cdot 10^3 \text{ см}^4,$$

$$J_\tau = \eta l h^3 = 0,229 \cdot 13 \cdot 2,23^3 = 43 \text{ см}^4.$$

мұнда $\eta = 0,299$.

$$J_p = \frac{m(l_t^2 + h^2)}{12} = \frac{46 \cdot 10^{-2}(13^2 + 2,23^2)}{12} = 6,7 \text{ кг} / \text{см}^2.$$

10 Бұралған кездегі статордың иілгіштігі келесі формулаға сәйкес анықталады

$$\lambda_{kp} = \frac{R_c^2}{EJ_x + GJ_\tau r^2} = \frac{13,6^2}{2,1 \cdot 10^7 \cdot 0,41 \cdot 10^3 + 0,8 \cdot 10^7 \cdot 43 \cdot 2^2} = 18,5 \cdot 10^{-9} \text{ см} / \text{Н},$$

мұнда $E = 2,1 \cdot 10^7 \text{ H} / \text{см}^2$ ал $G = 0,8 \cdot 10^7 \text{ H} / \text{см}^2$.

11 Бұралған кездегі статордың толық механикалық кедергісі

$$z_{kp} \omega J_p - \frac{1}{\omega \lambda_{kp}} = 5183 \cdot 6,7 \cdot 10^{-2} - \frac{1}{5183 \cdot 18,5 \cdot 10^{-9}} = 10082 \text{ H} \cdot \text{с} / \text{см}.$$

12 Коэффициенттер [1] бойынша

$$k_{s\mu} = 0,2; q_{s\mu} = -0,4; \left(\frac{\mu \gamma_s}{2} = \frac{36}{38} \cdot \pi \right).$$

13 Бұраушы момент

$$M_\tau = P_\tau \frac{l_\tau^2}{2} q_{s\mu} = \frac{-1,8 \cdot 13^2 \cdot 0,4}{2} = -63 \text{ H} \cdot \text{см}.$$

14 Діріл:

радиалды күштерден

$$y_{\text{ра}} = \frac{P_r k_{s\mu}}{\omega m - 1 / (\omega \lambda_{kp})} = \frac{0,2 \cdot 1,87}{\sqrt{2} \cdot 3,1} = 8,5 \cdot 10^{-2} \text{ см} / \text{с},$$

бұраушы моменттерден

$$y_{\text{бұ}} = \frac{M_\tau l_\tau}{2\sqrt{3} \cdot z_{kp}} = \frac{63 \cdot 13}{2\sqrt{3} \cdot 10082} = 2,3 \cdot 10^{-2} \text{ см} / \text{с},$$

радиалды күштердің және бұраушы моменттердің қортынды дірілі

$$y_{\text{сум}} = \sqrt{y_{\text{ра}}^2 + y_{\text{бұ}}^2} = \sqrt{(8,5 \cdot 10^{-2})^2 + (2,3 \cdot 10^{-2})^2} = 8,8 \cdot 10^{-2} \text{ см} / \text{с},$$

$$L = 20 \lg \frac{\omega y_{\text{сум}}}{3 \cdot 10^{-2}} = 20 \lg \frac{5183 \cdot 8,8 \cdot 10^{-2}}{3 \cdot 10^{-2}} = 84 \text{ дБ}.$$

Демек, пазаларды қиғаштау салдарынан 5183 \bar{n}^{-1} магниттік дірілдің азайуы шуды $\Delta L = 97 - 84 = 13$ дБ азайтады екен.

Қорытынды

Магниттік діріл мен ол қоздыратын магниттік шуды азайту үшін қолданылатын амортизаторлармен қатар, машинаны жобалаған кезде олардың ойықтық гармоникалары тудыратын діріл мен шуды азайту мақсатында статордың және ротордың ойықтары арасындағы үйлесімді байланысты таңдау жолдарына шолу жүргізілді және бұл үйлесімді әрі қолайлы жағдайды орындау мүмкін болмайтын қозғалтқыштар үшін бір ойықтық бөлікке ойықтарды қиғаштау әдісі бойынша діріл мен шуды айтарлықтай азайтуға болатыны аталып өтті және осы радиалды магниттік күштерден пайда болатын дірілді есептеуге мысалдар келтірілді. Нәтижесінде тік ойықтарды қиғаштаған кезде дірілдің айтарлықтай азайатынына көз жеткізілді.

ПАЙДАЛАНҒАН ДЕРЕКТЕР ТІЗІМІ

1 **Шубов, И. Г.** Шум и вибрация электрических машин [Мәтін]. – Л. : Энергоатомиздат, 1986.

2 **Лазориу, Д. Ф., Бикир, Н.** Шум электрических машин и трансформаторов [Мәтін]. Пер. с рум. – М. : «Энергия», 1973.

3 **Тупов, В. Б.** Снижения шума от энергетического оборудования [Мәтін]. – М. : Изд-во МЭИ, 2005.

4 **Волков, Л. К.** Вибрации и шум электрических машин малой мощности [Мәтін]. – Л. : «Энергия» 1979.

5 **Копылов, И. П.** Электрические машины [Мәтін]. – М. : Высшая школа, 2000.

6 **Гольдберг, О. Д.** Испытания электрических машин [Мәтін]. – М. : Высшая школа, 2000.

7 **Копылов, И. П.** Проектирование электрических машин [Мәтін]. И. П. Копылов. – М. : Юрайт, 2017.

8 **Бокман, Г. А.** Конструкция и технология производства электрических машин и аппаратов [Мәтін] / Г. А. Бокман, И. С. Пузевский. – М. : Высшая школа, 2013.

9 **Кацман, М. М.** Электрические машины [Мәтін]. – М. : Высшая школа, 1990.

10. **Новокшенов, В. С., Шидерова, Р. М.** Специальные главы электрических машин. Асинхронные двигатели с фазным ротором (Расчет геометрических размеров и обмоток). Методические указания к выполнению курсовой работы для студентов специальности – Электроэнергетика [Мәтін]. – Алматы, 2005.

REFERENCES

1 **Shubov, I. G.** Shum i vibratsiya elektricheskikh mashin [Noise and vibration of electrical machines] [Text]. – L. : Energoatomizdat, 1986.

2 **Lazoriu, D. F., Bikir, N.** Shum elektricheskikh mashin i transformatorov [The noise of electrical machines and transformers] [Text]. Transl. from Romanian. – Moscow : «Energy», 1973.

3 **Tupov, V. B.** Snizheniya shuma ot energeticheskogo oborudovaniya [Reducing noise from power equipment] [Text]. – Moscow : Publishing house of MEI, 2005.

4 **Volkov, L. K.** Vibratsii i elektricheskiye mashiny maloy moshchnosti [Vibrations and Noise of Low Power Electric Machines] [Text]. – L. : «Energy», 1979.

5 **Kopylov, I. P.** Elektricheskiye mashiny [Electrical machines] [Text]. – Moscow : Higher school, 2000.

6 **Goldberg, O. D.** Ispytaniya elektricheskikh mashin [Testing of electrical machines] [Text]. – Moscow : Higher school, 2000.

7 **Kopylov, I. P.** Proyektirovaniye elektricheskikh mashin [Design of electrical machines] [Text]. – Moscow : Yurayt, 2017.

8 **Bokman, G. A.** Konstruktsiya i tekhnologiya proizvodstva elektricheskikh mashin i apparatov [Design and production technology of electrical machines and devices] [Text]. / G. A. Bokman, I. S. Puzevsky. – Moscow : Higher school, 2013.

9 **Katsman, M. M.** Elektricheskiye mashiny [Electric cars] [Text]. – Moscow : Higher school, 2013.

10 **Novokshenov, V. S., Shiderova, R. M.** Spetsial'nyye glavy elektricheskikh mashin. Asinkhronnyye dvigateli s faznym rotorom (Raschet geometricheskikh razmerov i obmotok). Metodicheskiye ukazaniya k vypolneniyu kursovoy raboty dlya studentov spetsial'nosti [Special chapters for electrical machines. Asynchronous motors with phase rotor (Calculation of geometrical dimensions and windings). Methodical instructions for the implementation of course work for students of the specialty] – Elektroenergetika [Text]. – Almaty, 2005.

Материал 28.08.21 баспаға түсті.

**М. Б. Жаркымбекова, К. О. Гали*

Алматынскый университет энергетикиси

и связи имени Г. Даукеева,

Республика Казахстан, г. Алматы.

Материал поступил в редакцию 28.08.21.

ВИБРАЦИЯ, ВОЗНИКАЮЩАЯ ПОД ДЕЙСТВИЕМ МАГНИТНЫХ РАДИАЛЬНЫХ СИЛ В АСИНХРОННЫХ ДВИГАТЕЛЯХ С КОРОТКОЗАМКНУТЫМ РОТОРОМ И ЕЕ РАСЧЕТ

Цель этой статьи состоит в том, чтобы провести обзор методов, используемых для уменьшения вибрации и шума асинхронного двигателя с короткозамкнутым ротором, вызванной магнитными радиальными силами, сравнить и исследовать значения вибрации и шума при использовании наклонных пазов вместо вертикальных пазов, чтобы рассчитать шум и уменьшить величину вибрации асинхронного двигателя с коротко замкнутом ротором, вызванного магнитными радиальными силами.

Показать простыми расчетами, что амплитуда вибрации в зубах, вызванная электромагнитными силами, в десятки и сотни раз меньше вибрации в опоре статора. Поэтому изучение магнитного шума электрической машины в основном требует изучения ее статорной опоры.

Одним из способов снижения магнитного шума, вызванного вышеупомянутыми вибродуцирующими магнитными силами, является определение приемлемого соотношения числа канавок в статоре и роторе при проектировании электродвигателя. Однако от выбора приемлемого соотношения числа проемов зависит не только снижение шума, но и управляемость асинхронных двигателей, двигательные и тормозные свойства. Поэтому при выборе количества проемов необходимо учитывать все указанные факторы и проводить исследования.

Ключевые слова: асинхронный двигатель, короткозамкнутый ротор, число полюсов, шаг обмотки, зубчатое деление, полюсное деление, магнитные силы, вибрация и шум.

**М. В. Zharkymbekova, К. О. Gali
Gumarbek Daukeyev Almaty University
of Energy and Communications,
Republic of Kazakhstan, Almaty.
Material received on 28.08.21.*

VIBRATION ARISING UNDER THE ACTION OF MAGNETIC RADIAL FORCES IN ASYNCHRONOUS MOTORS WITH A SHORT-CIRCUITED ROTOR AND ITS CALCULATION

The purpose of this article is to review the methods used to reduce the vibration and noise of an asynchronous motor with a short-circuited rotor caused by magnetic radial forces, to compare and investigate the values of vibration and noise when using inclined grooves instead of vertical grooves, to calculate the noise and reduce the amount of vibration of an asynchronous motor with a short-circuited rotor caused by magnetic radial forces.

To show by simple calculations that the vibration amplitude in the teeth caused by electromagnetic forces is tens and hundreds of times less than the vibration in the stator rack. Therefore, the study of the magnetic noise of an electric machine mainly requires the study of its stator support.

One of the ways to reduce the magnetic noise caused by the above-mentioned vibration-inducing magnetic forces is to determine an acceptable ratio of the number of grooves in the stator and rotor when designing an electric motor. However, the choice of an acceptable ratio of the number of openings depends not only on noise reduction, but also on the controllability of asynchronous motors, motor and braking properties. Therefore, when choosing the number of openings, it is necessary to take into account all these factors and conduct research.

Keywords: asynchronous motor, short-circuited rotor, number of poles, winding pitch, gear division, pole division, magnetic forces, vibration and noise.

Теруге 28.08.2021 ж. жіберілді. Басуға 11.09.2021 ж. қол қойылды.

Электрондық баспа

2,69 Mb RAM

Шартты баспа табағы 8,11. Таралымы 300 дана. Бағасы келісім бойынша.

Компьютерде беттеген: З. С. Исакова

Корректор: А. Р. Омарова

Тапсырыс № 3847

Сдано в набор 28.08.2021 г. Подписано в печать 11.09.2021 г.

Электронное издание

2,69 Mb RAM

Усл. печ. л. 8,11. Тираж 300 экз. Цена договорная.

Компьютерная верстка: З. С. Исакова

Корректор: А. Р. Омарова

Заказ № 3847

«Toraighyrov University» баспасынан басылып шығарылған

«Торайғыров университет»

коммерциялық емес акционерлік қоғамы

140008, Павлодар қ., Ломов к., 64, 137 каб.

«Toraighyrov University» баспасы

«Торайғыров университет»

коммерциялық емес акционерлік қоғамы

140008, Павлодар қ., Ломов к., 64, 137 каб.

8 (7182) 67-36-69

E-mail: kereku@tou.edu.kz

www.vestnik-energy.tou.edu.kz