

АНДАТПА

6D071800 – «Электрэнергетика» мамандығы бойынша
философия докторы (PhD) ғылыми дәрежесін алу үшін диссертация

Юсупова Асель Оразовна

СЫЙЫМДЫЛЫҚТЫ ӨЛШЕУ ТҮРЛЕНДІРГІШТЕРІНДЕ ЭЛЕКТРЛІК МАШИНАЛАР РОТОРЫНЫҢ ЭКСЦЕНТРИСИТЕТІН ДИАГНОСТИКАЛАУ ЖҮЙЕЛЕРІН ЖЕТІЛДІРУ

Ұсынылған диссертациялық жұмыс сыйымдылықты өлшеу түрлендіргіштерінде электрлік машиналар роторының эксцентриситетін диагностикалау жүйелерін жетілдіру тақырыбына арналған.

Жұмыстың өзектілігі. Электр энергетикада және өндірістегі айналатын электрлік машиналар (ЭМ) электр қуатын жасау үшін және электр жетек ретінде пайдаланылады. Қазіргі уақытта ТМД елдерінде 20 миллионға жуық ЭМ қолданылуда. Және оларды пайдалану тәжірибесі көрсеткендей, олардың көп бөлігі ұзақ уақыт бойы технологиялық эксцентриситетінен жоғары ротордың статикалық эксцентриситетімен жұмыс жасайды.

Белгілі болғандай, ротордың ЭМ-дегі эксцентриситеті ауа саңылауының біркелкі емес болуы, ауа саңылауындағы қосымша магнит өрісінің пайда болуы және электромеханикалық сипаттамалардың нашарлауы және электр энергиясының қосымша шығындарымен қатар жүреді. Ротордың білігінің едәуір жылжуы кезінде оны статордың білігіне бекітеді. Бұл кезде олардың жылуы орын алады. Статор білегінің қатты қызуы статор орамасының және қысқа тұйықталудың оқшаулануын тездетеді. Өз кезегінде, ротордың білегінің қызуы ротордың орамасының бұзылуына немесе балқуына әкелуі мүмкін.

Мұндай жағдайларда машина статор орамаларының ұзақ және қымбат жөндеуін қажет етеді, ал ротордың құйылған орамасының еруі кезінде ол толығымен істен шығады. Сонымен қатар, орамаларды жөндеу кезінде, ауа саңылауының жағынан статордың білегін «ысқылану» күйін жою қажет. Әйтпесе, электр машиналарын одан әрі пайдалану оның беттерінің жабылуына байланысты білектегі «болаттан жасалған отқа» әкеледі. Бұл операция ұзақ және көп еңбекті талап етеді.

Ротордың эксцентриситетінің бар болуын және шамасын дер кезінде анықтау энергияны тұтынуды азайтуға ғана емес, сонымен қатар электр машинасының зақымдануына жол бермейді. ЭМ эксцентриситетінің диагностикалау жүйелерін дайындауға және жетілдіруге үлкен үлес қосқан ғалымдар - Геллер Б., Гамата В., Вольдек А.И., Новожилов А.Н., Клецель М.Я., Мануковский А.В., Крюкова Е.В., Мирзоева С.М., Никиян Н.Г., Вейнреб К.Б., Гашимов М.А., Рогачев В.А., Сурков Д.Б., Тонких В.Г., Петухов В.Н., Потапенко А.О. және т.б.

Дегенмен, осы саладағы күмәнсіз жетістіктерге қарамастан, ротордың эксцентриситетінің бар-жоғын анықтауға арналған құрылғы әлі де өндірісте

кеңінен қолданылмайды. Мұның бір себебі, көбінесе ЭМ орамаларында ток қолданылуы немесе осы орамалардың магниттік өрісін тарқату ақпарат көзі ретінде қолданды. Алайда, осы ақпарат көздерінен алынған ақпарат параметрлері ротордың эксцентриситетінен ғана емес, сондай-ақ жұмыс режимдеріндегі электр желісінің параметрлері мен шығару режимінде өшіру уақытының ауытқуынан да ауысады. Осыдан бас тарту қажеттілігі диагностикалық жүйелердің эксцентриситетке сезімталдығының күрт төмендеуіне әкеледі.

Бұл кемшіліктер ротордың сыйымдылықты өлшеу түрлендіргіштерінен (ӨТ) қозғалысы туралы ақпаратты алатын диагностикалық жүйеден айырады. Дегенмен, осындай диагностикалық жүйелер туралы білетіміз ӨТ бірнеше құрылымдық сызбаларын жариялауға келеді. Осыған байланысты, сыйымды ӨТ арналған ЭМ роторының эксцентриситеті үшін диагностикалық жүйелерді жетілдіру маңызды болып табылады.

Жұмыстың мақсаты – сыйымды ӨТ арналған ЭМ ротордың эксцентриситетнің диагностикалық жүйесін жетілдіру.

Мақсатқа жету үшін келесі міндеттер қойылып, шешілді:

- ауыспалы ток машиналарының барлық түрлеріне орнатуға жарамды сыйымдылықты ӨТ әзірлеу;

- роторлық білік тістерінің ротордың айналу жағдайына байланысты сыйымды ӨТ үлгілеуге арналған «аймақ» әдісін негіздейтін және әзірлейтін тор әдісіне сәйкес сыйымды ӨТ параметрлерін модельдеу үшін шекаралық шарттар мен бағдарламалық қамтамасыз етуді әзірлеу;

- ЭМ роторының эксцентриситетінің диагностикалық жүйесі үшін зақымданудың ақпараттық белгіні таңдауды жүзеге асыру;

- сыйымдылықты ӨТ диагностикалық жүйенің сезімталдығын шектеуі мүмкін барлық факторларды зерттеу және осы факторлардың әсерін азайтуға қабілетті өлшеу тізбегін жасау;

- жоғары жиілікті генератор, өлшеу көпірі және жолақты өткізгіштік сүзгі түрінде өлшеу тізбегінің элементтерінің сызбаларын әзірлеу және параметрлерін негіздеу, сондай-ақ осы элементтерді тұрақтандырылған тұрақты кернеумен қамтамасыз ету үшін тәуелсіз көзді дайындау;

- ротордың эксцентриситетін және оны іске асыру үшін құрылғыны диагностикалау әдісін әзірлеу, онда сыйымдылықты ӨТ электродтарының бірі - ЭМ білігі;

- ротордың эксцентриситетін және оны іске асыру үшін құрылғыны диагностикалау әдісін әзірлеу, онда сыйымдылықты ӨТ электродтарының бірі - статордың білігінің саңылаулы сынасындағы металл фольга және басқасында - ротордың білігінің беті.

Зерттеудің нысаны – сыйымдылықты ӨТ үшін ЭМ роторының эксцентриситетін диагностикалау жүйесін жетілдіруге арналған ЭМ роторы эксцентриситетін диагностикалау саласы.

Зерттеудің тақырыбы – сыйымдылықты ӨТ үшін пайдалану жолымен электр станциясы машиналарының ЭМ роторларының эксцентриситетін диагностикалау жүйесін жетілдіру.

Зерттеу материалдарын алу құралдары:

- ЭМ конструкциялауды теориясының негізгі ережелері;
- ЭМ күйін диагностикалауды теориясының негізгі ережелері;
- электротехниканың теориялық негіздері;
- бағдарламалау, физикалық модельдеу және табиғи эксперимент әдісі.

Жұмыстың ғылыми жаңалығы анықталады:

1. Ротордың эксцентриситетін анықтауға мүмкіндік беретін белгілі техникалық шешімдердің артықшылығы мен кемшіліктерін салыстыра отырып, олардың сезімталдығын шектейтін себептер зерттелді.

2. Торлар әдіс негізінде ӨТ сыйымдылығын электродтардың ерікті нысаны мен оны іске асыру үшін бағдарламалық қамтамасыз етуді модельдеуге арналған жаңа әдіс ұсынылды.

3. ӨТ-нің сыйымдылығын тәуелділіктерді ротордың эксцентритеті шамасына ғана емес, сонымен қатар айналу кезінде ӨТ - ге қатысты тістер мен полюстердің орнын модельдеу үшін «аймақ» әдісі жасалды.

4. ӨТ сыйымдылық құрамдастырын ротордың эксцентритетінің ақпараттық белгісі ретінде пайдалану ұсынылады, оның шамасы ротордың эксцентритетінің мөлшерінен тәуелділігін талдау үшін және ӨТ-ге қатысты тістер немесе полюстердің орналасуы Фурье қатарына ыдырату жолымен анықталады.

5. Өлшеу көпірінен және жоғары жиілікті генератор түріндегі қуат берудің тербелу жиілігіне тең беру жиілігімен сызықты – жіберу екі сатылы сүзгіден тұратын диагностикалық жүйенің жаңа өлшеу тізбесі әзірленді.

6. Микропроцессорлық кварцты генератордың негізінде 100-120 кГц жиіліктегі жоғары жиілікті тербелістердің көзі әзірленді, оның тұрақты жиілігі f_r мен шығыс кернеуінің амплитудасы U_r , сондай-ақ машинаның жұмыс температурасының диапазонында кернеудің тұрақтылығын қамтамасыз етуге қабілетті генераторлардағы екі сатылы таспалы – өткізгіш сүзгісі бар.

7. Диагностика жүйесінің элементтерін қуаттандыру үшін тұрақты ток кернеуінің дербес көзі, сондай-ақ осы көзді электр желісінен электрмен қамтамасыз ететін ток және кернеу трансформаторларының параметрлерін есептеу әдістері әзірленді.

8. Ротордың эксцентриситетін диагностикалаудың жаңа әдісі және осы әдісті іске асыру үшін құрылғының жұмыс істеу шектерін анықтау әдісі әзірленді, сыйымдылықты ӨТ электродтарының бірі - ротордың білікшесі, ал және өлшеу тізбегінің жолақты - өткізгіш сүзгісін жіберу f_0 жиілігі жоғары жиілікті генератордың жиілігіне f_r тең деп есептеледі.

9. ӨТ сыйымдылығының ротордың эксцентриситетінің шамасы бойынша статордың саңылаулы жүзіне тәуелділіктері зерттелді және анықталмаған полюстік роторы бар асинхронды және синхронды машиналарда ӨТ сыйымдылығының тұрақты компоненті бұзылудың ақпараттық белгісі ретінде пайдаланылуы тиіс екендігі анықталды. Бұл жағдайда анық полюсті синхронды машинада ӨТ сыйымдылығының тұрақты құрамдас бөлігін және

оның алғашқы гармоникалығын қолдануға болады, сондай - ақ бірінші гармоникалықты пайдаланған жөн.

10. Электр машинасының роторының эксцентриситетін диагностикалау үшін жаңа әдіс және бұл әдісті іске асыру үшін құрылғының жұмыс істеу шектерін анықтау әдісі әзірленді, оның сыйымдылықты ӨТ электродтарының бірі ротордың білігінің немесе оның полюстерінің беті болып табылады. Бұл жағдайда өлшеу тізбегінің жолақты-өткізгіш сүзгісінің f_0 жіберу жиілігі негізгі жиілігі f_r мен бүйірлік жиіліктерге $f_r \pm f_c$ де тең болуы мүмкін, анық полюсті роторлы диагностикалық машиналарға соңғы нұсқаны қолдану тиімдірек болып табылады.

Жұмыстың практикалық құндылығы:

1. ЭМ роторының эксцентриситетін анықтау үшін ең тиімді жол техникалық шешімдер болып табылады, оларда ӨТ ретінде сыйымдылықты ӨТ пайдаланылады. Осыған байланысты, диагностиканың нәтижелері электрмен жабдықтау желісінің параметрлері мен жүктемелердің ауытқуына, сондай-ақ, шығару режимінде машинаны диагностикалау кезінде ЭМ-ді өшіруге тәуелді емес.

2. Электродтардың торлар әдісіне негізделген ерікті формасымен ӨТ сыйымдылығын модельдеу әдісі мен бағдарламалық қамтамасыз ету 4,5% қателікпен есептеуге мүмкіндік береді. Бұл сыйымдылықты ӨТ параметрлерін модельдеу үшін «аймақ» әдісінің дәлдігін бақылауға мүмкіндік береді.

3. Әзірленген «аймақ» әдісі ротордың эксцентриситетінің шамасы бойынша, сондай-ақ айналдыру процесінде ҚТ-ге қатысты тістер мен полюстердің орнына байланысты ӨТ сыйымдылығының тәуелділіктерін модельдеу үшін 13% қателікпен тәртібін есептеуге мүмкіндік береді.

4. ӨТ сыйымдылық құрамдастарын анықтау үшін Фурье әдісін пайдалану ең үлкен шамаға ие және бұзылудың ақпараттық белгісі ретінде пайдалану үшін ротордың эксцентриситетінен тәуелді өзгеретіндігін анықтауға мүмкіндік береді.

5. Өлшеу көпірі мен жолақты - өткізгіш екі сатылы сүзгінің негізінде әзірленген өлшеу тізбегі бұл элементтерді ЭМ орналастырылған кезде сыртқы электр және магнит өрісінің әсерінен диагностикалау жүйесін жеткілікті сенімді қорғауды қамтамасыз ете алады.

6. Микропроцессорлық кварц генераторының негізінде әзірленген жоғары жиілікті тербелістердің көзі және оның бағдарламалық қамтамасыз етуі қоршаған ортаны температурасы -30-дан +80 градусқа дейін өзгерген кезде жиілік тұрақсыздығын $f_r \pm (0,1 - 0,5) \cdot 10^{-6}$ Гц және кернеу амплитудасын U_r шығуда $\pm 2-5\%$ аралығында қамтамасыз етуге мүмкіндік береді.

7. Әзірленген гираторлардағы екі сатылы жолақты - өткізгіш сүзгі қоршаған ортаның температурасы -30-дан +80 градус аралығында болған жағдайда 114-127 кГц жиілікте шығу кернеуінің амплитудасының өзгеруін 2-2,5% ауытқуымен қамтамасыз ете алады.

8. Әзірленген дербес қуат көзі диагностикалық жүйенің барлық элементтерін тұтынылатын ток бойынша 0,2А дейін болған жағдай 12 В тұрақтандырылған кернеумен қамтамасыз етуге мүмкіндік береді.

9. ЭМ қуат беру желісінен электрмен қамтамасыз ететін ток және кернеу трансформаторларының параметрлерін есептеудің әзірленген әдістері олардың шығу кернеуінің және токтарының кең ауқымын есептеу мүмкіндігін береді.

10. Электродтардың бірі ротордың білікшесі болып табылатын сыйымды ӨТ роторының эксцентриситетін диагностикалау үшін әзірленген құрылғыда ол ЭМ ішінде, ал диагностикалық жүйенің барлық басқа элементтеріне сыртқы бетінде бірыңғай блок ретінде орналастырылады. Бұл жағдайда ұзын қосылым сымдары қажет емес және жүйенің элементтері электр, магнит өрісінің әсерінен, жұмыс режимінің «жеңіл» температурасынан, құрылғының дұрыстығын бақылайтын және осы құрылғыны бөлшектеместен реттеу мүмкіндігін қамтамасыз етеді.

11. Электродтардың бірі статордың саңылау жүзіндегі метал фольгасы, ал басқалары үшін ротордың білегі немесе полюстерінің басқа беті болып табылатын сыйымды ӨТ роторының эксцентриситетін диагностикалау үшін әзірленген құрылғыда, өлшеу тізбегі ӨТ саңылаулы жүзінде, ал диагностикалық жүйенің барлық басқа элементтеріне бірыңғай блок ретінде сыртынан орналастырылады. Бұл ӨТ конструкциясын және орнатылуын айтарлықтай жеңілдетеді.

Зерттеу нәтижелерін сынау - диссертацияның негізгі ережелері 2017 жылдың сәуірінде өткен «Сәтпаев оқулары» 17-ші халықаралық конференциясында (Павлодар қ.), 2017 жылдың қараша айында «Торайғыров оқулары» 9-шы халықаралық конференциясында баяндалды және талқыланды; 2018 жылдың ақпанында «Технические науки: проблемы и решения» атты VIII Халықаралық ғылыми-техникалық конференцияда (Мәскеу қ.) таныстырылды.

Жарияланымдар. Жұмыс бойынша 11 жарияланым басылып шықты, оның ішінде ҚР ЖАК ұсынған журналдарда екі, «Вестник ОмГТУ» (Ресей) журналында екі мақала, сондай-ақ өнертабысқа 3 патент, оның 2 ҚР, 1 РФ берілген. Сондай-ақ, жариялануға екі мақала қабылданды, атап айтқанда: «Электротехника» (Мәскеу, Ресей) журналында, Scopus дәйексөз дерекқорына кіретін «Przegląd Elektrotechniczny» (Польша) журналында, 2018 ж.

Диссертацияның құрылымы мен көлемі. Диссертация кіріспеден, 3 бөлімнен, қорытындыдан және 2 қосымшадан тұрады. Жұмыс 101 бетте берілген, 61 сурет және 4 кестесі бар. Қолданылған әдебиеттер тізімі 80 атаудан тұрады.

Бірінші бөлімде электр машиналарының құрылымдық ерекшеліктері және эксцентриситет түрлері қарастырылған. Айналмалы ЭМ-нің құрылымдық ерекшеліктеріне талдау ротордың эксцентриситетінің негізгі себептері олардың ротордың статорға қатысты орналасуын бекітетін элементтері болып табылады, ал ротордың эксцентриситетінің пайда

болуының басты белгісі - біліктің қозғалуы. Қазіргі уақытта қолданылатын технологиялық жабдықтар мен адам факторлары ЭМ өндіруге арналған қондырғылар 0,1-0,12 мәніне жететін технологиялық эксцентриситет өнімдер шығарады. Ротордың эксцентриситетінің біркелкі емес ауа саңылауларымен бірге жүретін ерекшеліктері, онда қосымша магнит өрісінің пайда болуы, ЭМ жұмыс сипаттамаларының нашарлауы және электр энергиясының жоғалуы шамамен 0,45-3,95% жоғарылауы қарастырылған. Ротордың эксцентриситетінің жұмыстан шығарылған немесе оны пайдалану барысында анықтауға арналған танымал әдістерді өндірістік талдау жүргізілген, онда зақымдану туралы ақпарат алу үшін сыйымдылықты ӨТ пайдалану тиімді әдіс болып табылады. Осыған байланысты, ЭМ диагностикасының нәтижелері электрмен жабдықтау желісінің параметрлерінің ауытқуына, ЭМ және оның жұмыс режимдеріндегі параметрлердің өзгеруіне және жүктемесіне тәуелді емес. ЭМ пайдалану кезінде ротордың эксцентриситетін диагностикалау жүйесінде қолданылатын сыйымдылықты ӨТ тек ротордың эксцентриситеті ғана емес, сондай-ақ ротор білігінің бетінің пішініне байланысты. Сондықтан, сыйымдылықты модельдеудің белгілі әдістері ротордың айналу процесінде осындай ӨТ параметрлерін модельдеуге мүмкіндік бермейді.

Екінші бөлімде тор әдісіне негізделген ротордың эксцентриситетін диагностикалау жүйесінің ӨТ сыйымдылығын модельдеу әдісі әзірленді, ол 4,5% аспайтын қателікпен электродтардың еркін формасында модельдеуге мүмкіндік береді. Ротордың эксцентриситетін диагностикалау жүйесінің ӨТ сыйымдылығын модельдеуге ұсынылған «аймақ» әдісі оңай және айналу кезінде ротордың тістерінің орнына тәуелділігін моделдеуді 13% аспайтын қателікпен жүргізуге мүмкіндік береді. Ротордың эксцентриситетінің ақпараттық белгісі анықталды, ол ӨТ гармоникалық сыйымдылығының спектрін осы ротордың эксцентриситет шамасына талдау арқылы анықталына алады.

Сыйымдылықты ӨТ диагностика жүйесінің электродтарының біреуі роторлы біліктің немесе жабық немесе ашық ойықтары бар ротордың беті болатын асинхронды машиналарда диагностикалық жүйедегі зақымның ақпараттық белгісі ретінде оның ақпараттық құрамдасын пайдаланылу керек. Сыйымдылықты ӨТ диагностикалық жүйесінің электродтарының біреуі айқын полюсті ротордың беті болып табылатын синхронды машиналарда оның тұрақты құрамдасы ретінде де, оның сыйымдылығының алғашқы гармоникалық құрамдасы да зиянды ақпараттық белгі ретінде пайдаланылуы мүмкін. Сыйымдылықты ӨТ диагностикалық жүйесінің электродтарының бірі анық емес полюстік ротордың беті болып табылатын синхронды машиналарда, оның тұрақты құрамдас бөлігі зақымданудың ақпараттық белгісі ретінде таңдалуы керек, өйткені бірінші гармоника құрамдасының шамасы айтарлықтай кем.

Электродтардың бірі жерге тұйықталған ӨТ бар ЭМ роторының эксцентриситетін диагностикалау жүйесінің ең көп талап етілетін өлшемі -

жоғары генератормен қоректендірілетін жолақты – өткізгіш сүзгі түріндегі өлшеу көпірі екендігі анықталды.

Үшінші тарауда жетілдірілетін диагностикалық жүйенің өлшеу тізбегі үшін С.Торайғыров атындағы Павлодар мемлекеттік университетінің «Электрэнергетика» кафедрасында т.ғ.к. А.В., Мануковскиймен бірге кварц генераторы және оның бағдарламалық қамтамасыз етілуін әзірлеу жұмыстары жалғастырылды, олар жиілік пен амплитуданың жеткілікті дәрежесін, сондай – ақ қажетті температуралар диапазонында жасалатын сигналдың гармоник деңгейін қамтамасыз ете алады. Гираторлардағы екі сатылы сүзгі 5 кГц жолақты өткізу қабілетін қамтамасыз ете алатындығы анықталды, бұл диагностикалық жүйені енгізу үшін жеткілікті болып табылатын -30-дан +80 градусқа дейінгі жұмыс температурасының диапазонында жүзеге асырылады. Талдау жүргізілді, оның тұрақты токтың тұрақтандырылатын дербес көзі таңдалды, ол төмен вольтты және жоғары вольтты электрлік машиналардың диагностикалау жүйелерінің екі сатылы сүзгісінің және жоғары жиілікті генератордың қоректендірілуін қамтамасыз ете алады, төмен габаритті және арзан кернеу трансформаторларының көмегімен, сондай – ақ сериялармен шығарылатын ажыратқыш, ТЗРЛ типті өткізу ток трансформаторларының көмегімен.

Сыйымдылықты ӨТ бар ротордың эксцентриситетін диагностикалау жүйесі жетілдірілді, оның электродтардың бірі - ЭМ білігі біліктің қозғалысын ғана емес, сондай-ақ қозғалыстың бағытын да бақылай алады. Сонымен бірге, оның барлық элементтері ЭМ-ның сыртқы бетінде орналасқан, сондықтан оларды сыртқы электр және электромагниттік өрістерден қорғауға және құрылғының өнімділігін бақылап, іске қосу шегін орнату жеткілікті.

Ротордың эксцентриситетті диагностикалық жүйесі жетілдірілді, оның электродтарының бірі - фольга түрінде саңылау жүзінде орналастырылады, сонымен қатар біліктің қозғалысын ғана емес, сондай-ақ қозғалыс бағытын да бақылайды. Бұл жағдайда өлшеу көпірі мен жолақты - өткізгіш сүзгісі саңылау жүзінің шығып тұрған бөлігіне, ал қалған элементтері ЭМ-нің сыртқы бетіне орналастырылады. Осыған орай, ӨТ дайындау мен орнату айтарлықтай оңайлатылды.