

## АНДАТПА

8D07103 – «Электрэнергетика» білім беру бағдарламасы бойынша философия докторы (PhD) ғылыми дәрежесін алу үшін диссертация

**Имангазинова Динара Кенжетаевна**

### **ЭЛЕКТР МАШИНАЛАРЫНЫҢ ҮШ ФАЗАЛЫ ОРАМАЛАРЫНДА ЗАҚЫМДАЛҒАН УЧАСКЕЛЕРДІ АНЫҚТАУ ӘДІСТЕРІН ӘЗІРЛЕУ**

Ұсынылған диссертациялық жұмыс электр машиналарының үш фазалы орамаларында зақымдалған учаскелерді анықтаудың жоғары сезімтал әдісін әзірлеуге арналған және Қазақстан Республикасы Үкіметі жанындағы Жоғарғы ғылыми-техникалық комиссиясы бекіткен «Энергетика және машина жасау» ғылымын дамытудың басым бағыттары аясында жүргізілді.

**Өзектілігі.** Электр энергетикасында электр энергиясын механикалық энергияға және керісінше түрлендіру үшін үш фазалы электр машиналары қолданылады. Мұндай энергия түрлендіру әдетте үш фазалы синхронды генераторлардың (СГ), қозғалтқыштардың (СҚ) және компенсаторлардың (СК), сондай-ақ қысқа тұйықталған және фазалы роторы бар асинхронды қозғалтқыштардың (АҚ) көмегімен жүзеге асырылады. Осы электр машиналарының барлығына тән ерекшелік — статор орамы мен фазалы ротордың бірдей конструкциясы болып табылады.

Үш фазалы электр машиналарын пайдалану тәжірибесінен белгілі, статордың секцияланған және таратылған орамаларындағы және фазалы ротордың орамаларындағы орам тұйықталуларына (ОТ) осы электр машиналарының барлық істен шығу жағдайларының тиісінше 35% және 93%-ы келеді.

Дәстүрлі түрде төмен вольтты электр машиналарын статор мен фазалы ротор орамаларындағы қысқа тұйықталулардан қорғау үшін сақтандырғыштар мен автоматты ажыратқыштар, ал жоғары вольтты электр машиналарында – өлшеу түрлендіргіші ретінде ток трансформаторлары қолданылатын максималды тоқтық немесе дифференциалды қорғаныстар қолданылады. Мұндай қорғаныстар ОТ-ға төмен сезімталдыққа ие.

Осы мақсаттар үшін дәстүрлі емес қорғаныстар ретінде өлшеу түрлендіргіші ретінде сақиналы өлшеу түрлендіргіші (СӨТ) пайдаланылуы мүмкін қорғаныстар қолданылуы мүмкін. Мұндай қорғаныстар ОТ-ға жоғарылатылған сезімталдыққа ие. Мұндай қорғаныстар іске қосылған кезде үш фазалы орамаларда іс жүзінде әрқашан қысқа тұйықталған бұрамдар түріндегі «жасырын» зақымданулары бар учаскелер пайда болады. Электр машиналарын пайдалану тәжірибесі көрсеткендей, егер онда мұндай учаске пайда болса, онда оны анықтау зақымдалған статорды жөндеуді осы электр машинасының одан әрі жұмысына елеулі зиян келтірмей осы учаскені «қиып алуға» дейін азайтуға мүмкіндік береді. Нәтижесінде оны жөндеу құны ондаған есе азаяды.

«Жасырын» зақымдануы бар учаскені көзбен анықтау әдісі белгілі. Бұл әдісте учаске оның оқшаулауының қараюы бойынша анықталады. Егер осылайша зақымдалған учаскені табу мүмкін болмаса, онда машинаны төмендетілген кернеуге зақымдалған учаскенің оқшаулауы қарая бастағанша қосу ұсынылады. Бұл әдістің негізгі кемшілігі — зақымдалған учаскенің қызып кетуі көршілес орналасқан учаскелердің оқшаулауының қызуына және зақымдануына әкелуі мүмкін.

Бұл кемшілік «жасырын» зақымдануы бар учаскені анықтаудың бақыланатын шамасы тұйықталған бұрамдардың магнит өрісі, ал ондағы ток арнайы электромагнитті индукторлардың көмегімен жасалатын әдістерінен арылған.

Үш фазалы электр машиналарының орамаларындағы зақымдалған учаскені анықтаудың мұндай әдістерін жасауға Деро А.Р., Виноградов Н.В., Перельмутер Н.М., Буневичус Б.А., Эбралидзе Р.В., Гинкас М.Л., Альперавичус Х.А., Новожилов Т.А., Новожилов А.Н, Клецель М.Я. және басқа да бірқатар ғалымдар елеулі үлес қосты.

Алайда, бақыланатын шамасы қысқа тұйықталған бұрамдардағы токтың магнит өрісі болып табылатын «жасырын» зақымдануы бар учаскені анықтаудың белгілі әдістерін жүзеге асыру да айтарлықтай кемшіліктерге ие.

Магнитөткізгіштің бір шетіндегі көршілес тістерге орналастырылған электромагнитті индуктордың көмегімен диагноздық учаскенің жазықтығы арқылы магнит ағыны қалыптасатын, ал оның бұрамдарындағы ток сол магнитөткізгіштің басқа шетіндегі сол тістерде орналасқан ұқсас электромагнитті индуктордың көмегімен өлшенетін әдіс төмен сезімталдыққа ие. Бұл осы жағдайда тек тұйықталған бұрамдардағы токтың магнит өрісі ғана емес, сонымен қатар магнит өрісін қалыптастыратын электромагнитті индуктордан статор магнитөткізгішіндегі магнит өрісі де өлшенетінінен туындайды. Бұл магнит өрісі диагноздық учаскенде тұйықталған бұрамдар болмаса да статор магнитөткізгішінде болады.

Статор орамасындағы қысқа тұйықталған бұрамдарды анықтау әдісі сәл өзгеше құрылған, оны жүзеге асыру үшін диагностика кезінде лобтық бөліктер аймағында орналасқан индукторлар мен магнит өрісі датчиктерінің күрделі конструкциясы қолданылады. Осыған байланысты бұл әдісті тек бір типті электр машинасын өндіретін ағындық желіде ғана пайдалануға болады. Сонымен қатар, ол статор орамасындағы «жасырын» зақымдануы бар учаскенің орналасу орнын көрсете алмайды. Бұл оның қолданылу ауқымын айтарлықтай шектейді.

Статор орамасындағы «жасырын» зақымдануы бар учаскені анықтау үшін бірнеше орамасы бар Ш-пішінді магнитөткізгіш пайдаланылатын белгілі әдіс, оның бір бөлігі диагноздық магнит өрісін қалыптастыру үшін қолданылады, ал басқа бөлігінің көмегімен тұйықталған бұрамдардың магнит өрісі өлшенеді. Бұл әдістің кемшілігі — мұндай Ш-пішінді магнитөткізгішті тек тіс бөлінісі бірдей электр машиналарын диагностикалау үшін ғана пайдалануға болады. Бұл оның қолданылу ауқымын айтарлықтай шектейді.

Осылайша, түрлі шамадағы тіс бөлінісі бар электр машиналарын диагностикалауды жүзеге асыруға мүмкіндік беретін үш фазалы орамадағы «жасырын» зақымдануы бар учаскені анықтаудың жоғары сезімтал әдістерін жасау жұмысы өзекті болып табылады.

**Зерттеу нысаны** үш фазалы электр машиналарының статор және фазалы ротор орамаларының зақымдалуын диагностикалау саласы болып табылады.

**Зерттеу пәні** – СӨТ пайдалану арқылы үш фазалы электр машиналарының статор және фазалы ротор орамаларын диагностикалау процесін жетілдіру.

**Жұмыстың мақсаты** түрлі шамадағы тіс бөлінісі бар электр машиналарын диагностикалауды жүзеге асыруға мүмкіндік беретін үш фазалы орамадағы «жасырын» зақымдануы бар учаскені анықтаудың жоғары сезімтал әдістерін жасау болып табылады. Бұл мақсатқа жету үшін келесі міндеттер қойылды және олар шешілді:

1. Электр машиналарының үш фазалы орамасындағы «жасырын» зақымдануы бар учаскені анықтауға арналған белгілі техникалық шешімдерді талдау жүргізу.

2. Түрлі шамадағы тіс бөлінісі бар электр машиналарын диагностикалауды жүзеге асыруға мүмкіндік беретін үш фазалы орамадағы «жасырын» зақымдануы бар учаскені анықтаудың жаңа жоғары сезімтал әдісін жасау.

3. Магниттік тізбектерді есептеудің классикалық әдісі негізінде диагноздық магнит өрісін және «жасырын» зақымдануы бар зақымдалған учаскенің тұйықталған бұрамдарындағы токты қалыптастыруға арналған П-пішінді электромагнитті индуктордың параметрлерін модельдеу әдісін жасау.

4. Био-Савар-Лаплас әдісі негізінде «жасырын» зақымдануы бар учаскенің тұйықталған бұрамдарындағы токтан СӨТ шығысындағы ЭҚК есептеу әдісін жасау.

5. 20-5000 кВт қуатты, полюс жұптарының саны ерікті машиналар үшін статор мен фазалы ротордың магнитөткізгіштерінің тіс бөлінісі шамасының диапазонын анықтау әдісін ұсыну.

6. Кез келген тіс бөлінісі шамасы бар 20-5000 кВт қуатты машиналарда «жасырын» зақымдануы бар учаскені іздеуді жүзеге асыруға мүмкіндік беретін П-пішінді электромагнитті индуктордың әмбебап конструкциясын жасау.

7. СӨТ орнатылмаған электр машиналарында «жасырын» зақымдануы бар учаскені іздеуді жүзеге асыру үшін стационарлық және жылжымалы СӨТ конструкцияларын жасау.

**Зерттеу материалдарын алу құралы болып табылады:**

- математиканың бірқатар бөлімдері және электротехниканың теориялық негіздері;
- электр машиналары теориясының негізгі ережелері;
- релелік қорғаныс пен диагностика теориясының негізгі ережелері;

– ELCUT және Turbo BASIC бағдарламалық кешендерінің көмегімен теориялық зерттеулер.

**Жұмыстың ғылыми жаңалығы келесілермен анықталады:**

1. Үш фазалы орамалардағы зақымдануларды диагностикалаудың белгілі әдістерінің артықшылықтары мен кемшіліктерін салыстыру арқылы «жасырын» зақымдануы бар учаскені іздеу үшін электромагнитті индуктордың көмегімен тұйықталған бұрамдарда ток индукцияланатын әдістер ең қолайлы екендігі анықталды.

2. Үш фазалы орамалардағы «жасырын» зақымдануы бар учаскені іздеудің жаңа әдісі жасалды, оған сәйкес электромагнитті индуктордың көмегімен тұйықталған бұрамдарда индукцияланған токтар СӨТ көмегімен өлшенеді.

3. Магниттік тізбектерді есептеудің классикалық әдісі негізінде диагноздық магнит өрісін және «жасырын» зақымдануы бар зақымдалған учаскенің тұйықталған бұрамдарындағы токты қалыптастыруға арналған П-пішінді электромагнитті индуктордың параметрлерін модельдеу әдісі жасалды.

4. Био-Савар-Лаплас әдісі негізінде «жасырын» зақымдануы бар учаскенің тұйықталған бұрамдарындағы токтан СӨТ шығысындағы ЭҚК есептеу әдісі жасалды.

5. 20-5000 кВт қуатты, полюс жұптарының саны ерікті машиналар үшін статор мен фазалы ротордың магнитөткізгіштерінің тіс бөлінісі шамасының диапазонын анықтау әдісі ұсынылды.

6. Кез келген тіс бөлінісі шамасы бар 20-5000 кВт қуатты машиналарда «жасырын» зақымдануы бар учаскені іздеуді жүзеге асыруға мүмкіндік беретін П-пішінді электромагнитті индуктордың әмбебап конструкциясы жасалды.

7. СӨТ орнатылмаған электр машиналарында «жасырын» зақымдануы бар учаскені іздеуді жүзеге асыру үшін стационарлық және жылжымалы СӨТ конструкциялары жасалды.

**Жұмыстың практикалық құндылығы келесілерде:**

1. Үш фазалы орамалардағы «жасырын» зақымдануы бар учаскені іздеудің белгілі әдістерін талдау, онда өлшенетін шама электромагнитті индуктордың көмегімен индукцияланатын қысқа тұйықталған бұрамдардың магнит өрісі болып табылады, оларды жетілдіру жолдарын анықтауға мүмкіндік берді.

2. Үш фазалы орамалардағы «жасырын» зақымдануы бар учаскені іздеудің жасалған әдісін жүзеге асыру, оған сәйкес электромагнитті индуктордың көмегімен тұйықталған бұрамдарда индукцияланған токтың магнит өрісі СӨТ көмегімен өлшенеді, тұйықталған бұрамдар санына қарамастан тіс бөлінісінің шамасы ерікті магнитөткізгіште «жасырын» зақымдануы бар учаскенің орналасу орнын анықтауға мүмкіндік береді.

3. Орамасындағы токтың ауа саңылауындағы магнит ағынына тәуелділігі түріндегі П-пішінді электромагнитті индуктордың негізгі

параметрін модельдеудің жасалған әдісі және Turbo BASIC редакторындағы Ind1 бағдарламасы оны 5,6%-ға тең қателікпен модельдеуге мүмкіндік береді.

4. ELCUT бағдарламалық кешенінің көмегімен орамасындағы токтың ауа саңылауындағы магнит ағынына тәуелділігі түріндегі II-пішінді электромагнитті индуктордың негізгі параметрін модельдеудің жасалған әдісі модельдеу қателігі 2%-дан аспайтынын қамтамасыз етеді.

5. Электромагнитті индуктор жасаған осы учаскенің жазықтығын қиып өтетін магнит ағыны әсерінен пайда болатын «жасырын» зақымдануы бар учаскенің тұйықталған бұрамдарындағы токты есептеудің ұсынылған әдісі және оны жүзеге асыру үшін Turbo BASIC-тегі Tok-1 бағдарламасы ораманы қосу схемасына және тұйықталған бұрамдар санына байланысты оның шамасын есептеуге мүмкіндік берді.

6. «Жасырын» зақымдануы бар учаскенің тұйықталған бұрамдарындағы токтан көпбұрамды СӨТ шығысындағы ЭҚК есептеудің жасалған әдісі және Turbo BASIC-тегі E1-kip бағдарламасы оның шамасын үш фазалы ораманың лобтық бөліктеріне қатысты осы СӨТ орналасу орнына байланысты есептеуге мүмкіндік берді.

7. Электр машинасының қуатына байланыты статор мен фазалы ротордың магнитөткізгіштерінің тіс бөлінісі шамасын анықтаудың ұсынылған әдісі 20-5000 кВт қуат аралығында полюс жұптарының санына қарамастан оның шамасы 0,01-0,038 метрге тең мәндерді қабылдай алатынын көрсетеді.

8. Түрлі пішінді аяқтары бар II-пішінді электромагнитті индуктордың жасалған әмбебап конструкциясы оны өнеркәсіп шығаратын барлық электр машиналарының үш фазалы орамаларында «жасырын» зақымдануы бар учаскені іздеу үшін пайдалануға мүмкіндік береді.

9. Стационарлық және жылжымалы СӨТ жасалған әмбебап конструкциясы СӨТ жоқ өнеркәсіп шығаратын барлық электр машиналарында «жасырын» зақымдануы бар учаскені іздеуді жүзеге асыруға мүмкіндік береді.

**Диссертация тақырыбының жалпыға бірдей (мемлекеттік) бағдарламалармен байланысы.** Диссертация тақырыбы бойынша зерттеулер Қазақстан Республикасы Үкіметі жанындағы Жоғарғы ғылыми-техникалық комиссиясы бекіткен «Энергетика және машина жасау» ғылымын дамытудың басым бағыттары аясында жүргізілді.

#### **Нәтижелерді**

**енгізу.**

Жұмыстың теориялық және практикалық нәтижелері өндірісте және бакалаврлардың, магистрлердің және PhD докторанттарының оқу процесінде сәтті қолданылуы мүмкін. Электр машиналары статор орамаларының жағдайын диагностикалау әдісінің өндірістік сынақтары Б. Нұржанов атындағы «Екібастұз ГРЭС-1» ЖШС-нда жүргізілді. Қабылдау актісі бар (В Қосымшасы).

#### **Зерттеу**

**нәтижелерін**

**апробациялау:**

Диссертацияның негізгі ережелері мынада баяндалды және талқыланды: – «Энергетика және энергетикалық техника мен технологиялар» жас

ғалымдардың 12-ші халықаралық ғылыми-тәжірибелік конференциясы (Мәскеу, 2024).

**Жарияланымдар.** Диссертацияның мазмұны 8 басылымға, оның ішінде біреуі Scopus цитациялық базасына кіретін «Russian Engineering» журналында, үшеуі ҚР БЖҚ ұсынған журналдарда, біреуі РФ БЖҚ ұсынған журналдарда, біреуі халықаралық конференциялар жинағында, сонымен қатар 2 өнертабыс патенті алынды (А Қосымшасы).

**Диссертацияның құрылымы мен көлемі.** Диссертация кіріспе, үш бөлімден және қорытындыдан тұрады, олар 85 бет машинкалық мәтінде келтірілген. Ол 55 атаудан тұратын пайдаланылған дереккөздер тізімін, 52 сурет, 6 кестені және бес қосымшаны қамтиды.

**Кіріспеде** диссертациялық жұмыстың тақырыбының өзектілігі негізделген, зерттеу мақсаттары мен міндеттері анықталған, алынған нәтижелердің ғылыми жаңалығы мен практикалық маңызы көрсетілген, диссертацияда тұжырымдалған міндеттерді жүзеге асыру жолдары көрсетілген.

**Бірінші тарауда** үш фазалы орамалары бар электр машиналарының конструкциялық ерекшеліктері қарастырылды. Электр энергетикасында қолданылатын үш фазалы синхронды генераторлар, қозғалтқыштар мен компенсаторлар, сондай-ақ үш фазалы асинхронды генераторлар, қысқа тұйықталған және фазалы роторы бар қозғалтқыштар статоры мен оның орамасының бірдей конструкциясы бар екендігі ақталды.

Үш фазалы орамада орам тұйықталуының пайда болуының негізгі себебі электрлік, жылулық және механикалық әсерлердің, сондай-ақ қоршаған ортаның әсерінен пайда болатын оның оқшаулауының зақымдалуы екендігі анықталды.

Осыған байланысты таратылған үш фазалы орамалары бар төмен вольтты электр машиналарында барлық қысқа тұйықталудың 93%-ына дейін орам тұйықталулары келеді. Өз кезегінде статордың секцияланған орамалары бар жоғары вольтты электр машиналарында барлық қысқа тұйықталудың 33,3%-ына дейін орам тұйықталулары келеді.

Сонымен бірге үш фазалы статор мен ротор орамаларындағы қысқа тұйықталулардан дәстүрлі қорғаныстар, олардың жұмысы фазалар токтарын немесе олардың құраушыларын өлшеуге негізделген, орам тұйықталуларына төмен сезімталдыққа ие екендігі анықталды. Үш фазалы орамалардағы аз санды бұрамдардың тұйықталуын тек олардың жұмысы осы орамалардың маңдайша шашырауының магнит ағындарын өлшеуге негізделген дәстүрлі емес қорғаныстар өшіре алады. Сонымен бірге, мұндай жоғары сезімтал қорғаныстарды пайдалану, әдетте, «жасырын» зақымдануы бар учаскенің пайда болуымен бірге жүреді.

Осы жұмыста жүргізілген «жасырын» зақымдануы бар учаскені анықтаудың белгілі әдістерін талдау, онда зақымдалған учаскені анықтау оның қызуымен бірге жүретін әдістерді қолайлы деп санауға болмайды. Осыған байланысты перспективалырақ деп зақымдалған учаскені іздеу үшін,

мысалы, арнайы магнитті индуктордың көмегімен қоздырылатын магнит өрісі қолданылатын әдістерді санауға болады.

Осылайша, «жасырын» зақымдануы бар учаскені табудың жаңа жоғары сезімтал, бұзылмайтын және әмбебап әдісін жасаудың өзекті міндеті тұжырымдалды. Ең перспективалы бағыт ретінде П-пішінді индуктор көмегімен зақымдалған бұрамдарда тоқты қоздыруға және сақиналы өлшеу түрлендіргіші көмегімен тұйықталған бұрамдардағы токтардың магнит өрісін өлшеуге негізделген тәсіл анықталды.

**Екінші тарауда** сақиналы өлшеу түрлендіргіші (СӨТ) және П-пішінді электромагнитті индукторды қолдануға негізделген үш фазалы орамалардағы зақымдалған учаскелерді анықтау әдістерін жасаудың теориялық аспектілері қарастырылды.

Қолданыстағы әдістерді талдау негізінде статор мен фазалы ротор орамаларын диагностикалаудың жаңа әдістері ұсынылды. Әдістердің мәні магнитөткізгіштің тістеріне орнатылған индуктор жасаған магнит ағынының көмегімен зақымдалған учаскенің қысқа тұйықталған бұрамдарында тоқты қоздыру және содан кейін осы токтың магнит өрісін СӨТ көмегімен контактісіз өлшеу болып табылады. СӨТ орнатылған да, орнатылмаған да, сонымен қатар фазалы роторды диагностикалауды қоса алғанда, барлық машиналар үшін әдістерді жүзеге асыру схемалары жасалып, талданды. Диагностикалық жүйенің негізгі элементтерін жобалау және модельдеу үшін математикалық әдістер жасалып, негізделді. Олар:

– П-пішінді индуктордың ауа саңылауындағы магнит өрісін Turbo BASIC ортасында жасалған Ind4 бағдарламасы және ELCUT бағдарламалық кешенінің көмегімен сәйкесінше 5,6% және 2% модельдеу қателігімен модельдеуге;

– Зақымдалған учаскенің тұйықталған бұрамдарында индукцияланатын токтың шамасын Turbo BASIC ортасында жасалған Tok-1 бағдарламасының көмегімен есептеуге;

– Зақымдалған бұрамдардың өрісінен СӨТ шығысындағы ЭҚК шамасын Turbo BASIC ортасында жасалған E1-kip бағдарламасының көмегімен, оның статор өзегінен қашықтығына байланысты есептеуге мүмкіндік береді.

Осылайша, екінші тарауда түрлі құрылымдағы электр машиналарының үш фазалы орамаларындағы «жасырын» орам тұйықталуларын диагностикалаудың жоғары сезімтал жүйесінің барлық негізгі компоненттерін жобалау мен есептеуді қамтамасыз ететін кешенді теориялық-әдістемелік аппарат қалыптастырылды.

**Үшінші тарауда** үш фазалы орамалардағы «жасырын» орам тұйықталуларын диагностикалауға арналған есептеу, құрылымдау және практикалық жүзеге асыру мәселелері қарастырылды.

Мұны іске асыру үшін электр машинасын диагностикалауда электромагнитті индукторды пайдалану мүмкіндігін анықтайтын негізгі параметр оның магнитөткізгішінің тіс бөлінісі, оның аяқтары арасындағы қашықтық және

осы аяқтардың статордың немесе ротордың магнитөткізгішімен жанасу ауданы екендігі анықталды.

Бұл параметрлерді анықтау үшін электр машинасының қуаты, кернеуі және полюс жұптарының санына байланысты тіс бөлінісінің шамасын анықтау әдісі ұсынылды. Статор мен фазалы ротордың магнитөткізгіштерінің тіс бөліністері шамаларын есептеу нәтижелерін талдау 20-5000 кВт қуат аралығындағы электр машиналары үшін оның шамасы 0,01-0,038 метр мәндерін қабылдай алатынын көрсетті.

Осының негізінде қабылданған болжамдармен және тіс бөлінісінің ең аз шамасы 0,01 метр болғанда, электромагнитті индуктордың аяқтары арасындағы қашықтықты және осындай аяқтар аралығы бар осы индуктормен диагностикалауға болатын тіс бөлінісінің ең үлкен шамасын есептеуге мүмкіндік беретін математикалық өрнектер алынды. Осы математикалық өрнектерге сәйкес электромагнитті индуктордың аяқтары арасындағы қашықтық 0,016 метрге тең болуы керек, ал осындай аяқтар аралығы бар осы индуктормен диагностикалауға болатын тіс бөлінісінің ең үлкен шамасы 0,38 метрге тең екендігі анықталды.

Осы деректерді ескере отырып, магнитөткізгіштің конфигурациясын және олардың арасындағы қашықтықты өзгертуге мүмкіндік беретін электромагнитті индуктор жасалды. Бұл оны өнеркәсіп шығаратын барлық электр машиналарының үш фазалы орамаларын диагностикалау үшін пайдалануға мүмкіндік береді.

Сонымен қатар, стационарлық және жылжымалы сақиналы өлшеу түрлендіргіштерінің конструкциялары жасалды. Бұл түрлендіргіштер өндірісте жасалған кезде мұндай түрлендіргішпен жабдықталмаған өнеркәсіп шығаратын барлық электр машиналарының үш фазалы орамаларын диагностикалауды жүзеге асыруға мүмкіндік береді.