

**ТОШКЕНТ ДАВЛАТ ТЕХНИКА УНИВЕРСИТЕТИ  
ХУЗУРИДАГИ ИЛМИЙ ДАРАЖАЛАР БЕРУВЧИ  
DSc.03/30.12.2019.Т.03.02 РАҚАМЛИ ИЛМИЙ КЕНГАШ**

---

**ТОШКЕНТ АХБОРОТ ТЕХНОЛОГИЯЛАРИ УНИВЕРСИТЕТИ**

**АБУБАКИРОВ АЗИЗЖАН БАЗАРБАЕВИЧ**

**ҚАЙТА ТИКЛАНУВЧАН ЭНЕРГИЯ МАНБАЛИ ЭЛЕКТР  
ТАЪМИНОТИ ТИЗИМЛАРИ РЕАКТИВ ҚУВВАТИ  
БОШҚАРУВИНИНГ КЎП ФАЗАЛИ ТОКЛАРИ ДАТЧИКЛАРИНИНГ  
МОДЕЛЛАРИ ВА ТУЗИЛИШ ТАМОЙИЛЛАРИ**

05.01.06- «Ҳисоблаш техникаси ва бошқарув тизимининг элементлари  
ва қурилмалари»

**ТЕХНИКА ФАНЛАРИ БЎЙИЧА ФАЛСАФА ДОКТОРИ (PhD)  
ДИССЕРТАЦИЯСИ АВТОРЕФЕРАТИ**

**Тошкент– 2020**

**Фалсафа доктори (PhD) диссертацияси автореферати мундарижаси**

**Оглавление автореферата диссертации доктора философии (PhD)**

**Content of dissertation abstract of doctor of philosophy (PhD)**

**Абубакиров Азизжан Базарбаевич**

Қайта тикланувчан энергия манбали электр таъминоти тизимлари реактив қуввати бошқарувининг кўп фазали тоқлари датчикларининг моделлари ва тузилиш тамойиллари..... 3

**Абубакиров Азизжан Базарбаевич**

Модели и принципы построение датчиков многофазных токов управления реактивной мощности системы электроснабжения с возобновляемыми источниками энергии..... 21

**Abubakirov Azizjan Bazarbaevich**

Models and principles of construction of sensors for multiphase currents reactive power control of renewable energy systems..... 39

**Эълон қилинган ишлар рўйхати**

Список опубликованных работ

List of published works ..... 42

**ТОШКЕНТ ДАВЛАТ ТЕХНИКА УНИВЕРСИТЕТИ  
ХУЗУРИДАГИ ИЛМИЙ ДАРАЖАЛАР БЕРУВЧИ  
DSc.03/30.12.2019.Т.03.02 РАҚАМЛИ ИЛМИЙ КЕНГАШ**

---

**ТОШКЕНТ АХБОРОТ ТЕХНОЛОГИЯЛАРИ УНИВЕРСИТЕТИ**

**АБУБАКИРОВ АЗИЗЖАН БАЗАРБАЕВИЧ**

**ҚАЙТА ТИКЛАНУВЧАН ЭНЕРГИЯ МАНБАЛИ ЭЛЕКТР  
ТАЪМИНОТИ ТИЗИМЛАРИ РЕАКТИВ ҚУВВАТИ  
БОШҚАРУВИНИНГ КЎП ФАЗАЛИ ТОКЛАРИ ДАТЧИКЛАРИНИНГ  
МОДЕЛЛАРИ ВА ТУЗИЛИШ ТАМОЙИЛЛАРИ**

05.01.06- «Ҳисоблаш техникаси ва бошқарув тизимининг элементлари  
ва қурилмалари»

**ТЕХНИКА ФАНЛАРИ БЎЙИЧА ФАЛСАФА ДОКТОРИ (PhD)  
ДИССЕРТАЦИЯСИ АВТОРЕФЕРАТИ**

**Тошкент– 2020**

**Фалсафа доктори (PhD) диссертацияси мавзуси Ўзбекистон Республикаси Вазирлар Маҳкамаси ҳузуридаги Олий аттестация комиссиясида В2020.1.PhD/Т758 рақам билан рўйхатга олинган.**

Диссертация Тошкент ахборот технологиялари университетида бажарилган.

Диссертация автореферати уч тилда (ўзбек, рус, инглиз (резюме)) Илмий кенгаш веб-саҳифаси (www.tdtu.uz) ҳамда «ZiyoNet» ахборот-таълим портали (www.ziynet.uz) ларда жойлаштирилган.

**Илмий раҳбар:** Сиддиқов Илҳомжон Ҳақимович  
техника фанлари доктори, профессор

**Расмий оппонентлар:** Абдуқаюмов Абдурашид  
техника фанлари доктори, профессор

Алиев Равшан Маратович  
техника фанлари доктори, доцент

**Етакчи ташкилот:** Бухоро муҳандислик-технология институти

Диссертация ҳимояси Тошкент давлат техника университети ҳузуридаги DSc.03/30.12.2019.Т.03.02 рақамли Илмий кенгашнинг « 12 » 06 2020 йил соат 16<sup>00</sup> даги мажлисида бўлиб ўтади. (Манзил: 100095, Тошкент, Университет кўч., 2. Тел.: (99871) 246-46-00; факс: (99871) 227-10-32; e-mail: tstu\_info@edu.uz).

Диссертация билан Тошкент давлат техника университетининг Ахборот-ресурс марказида танишиш мумкин ( 149 рақами билан рўйхатга олинган). (Манзил: 100095, Тошкент, Университет кўчаси., 2. Тел.: (99871) 246-03-41).

Диссертация автореферати 2020 йил «06» 06 кун тарқатилди.  
(2020 йил «06» 03 даги 5 рақамли реестр баённомаси)



**Н.Р. Юсупбеков**

Илмий даражалар берувчи  
илмий кенгаш раиси,  
техника фанлари доктори, профессор, академик

**У.Ф. Мамиров**

Илмий даражалар берувчи  
илмий кенгаш илмий котиби,  
техника фанлари бўйича фалсафа доктори (PhD)

**Х.З.Игамбердиев**

Илмий даражалар берувчи  
илмий кенгаш қошидаги илмий семинар раиси,  
т.ф.д., профессор, академик

## **КИРИШ (фалсафа доктори (PhD) диссертацияси аннотацияси)**

**Диссертация мавзусининг долзарблиги ва зарурати.** Жаҳонда электр энергия таъминоти тизимларида бирламчи энергия манбаларини қатъий ўрнатилган иш ҳолатини белгиловчи, катталиқ ва параметрларнинг қийматларини таъминловчи, назорат ва бошқарув элементлари, воситалари ҳамда қурилмаларини такомиллаштиришга катта эътибор қаратилмоқда. Ушбу йўналишда ривожланган мамлакатларнинг электр таъминоти тизимларида қайта тикланувчан энергия манбаларининг назорати ва бошқаруви учун электр энергиянинг реактив қуввати катталиқ ва параметрлари бирламчи тоқлар датчикларининг моделларини ишлаб чиқиш долзарб ҳисобланиб, уларнинг тузилиш тамойилларини ривожлантириш, тадқиқ этиш ва амалиётга жорий қилиш муҳим аҳамият касб этади.

Жаҳонда электр таъминоти тизимларида қайта тикланувчан энергия манбаларини кенг қўллаш, ушбу манбаларнинг эҳтиёжи бўлган реактив қувват ва энергиясини ишлаб чиқариш, назорат қилиш ва бошқариш бўйича, шу билан бирга электр энергиясининг сифатини яхшиловчи ва электр таъминоти тизимини узлуксиз ишлашини таъминлаш воситалари ҳамда қурилмаларини такомиллаштиришга қаратилган қатор изланишлар ва илмий тадқиқот ишлари олиб борилмоқда. Бу борада электр таъминоти тизимларининг ишончли иш ҳолатларини, ишлаб чиқарилаётган электр энергиянинг миқдори ва сифатини ҳамда реактив қувват манбалари бирламчи тоқларини назорат ва бошқарувини таъминловчи элементлар ҳамда қурилмаларни модели, алгоритми ва дастурий таъминотларининг техник ечимларини ишлаб чиқиш зарур.

Республикамизда электр энергетика соҳасини янада такомиллаштиришга, электр энергия таъминоти тизимларида қайта тикланувчан энергия манбаларини кенг қўллаш ва энергиянинг сифат кўрсаткичларини назорати ва бошқаруви элемент ҳамда қурилмаларини яратиш ва амалиётга қўллашга қаратилган кенг қамровли чора-тадбирлар амалга оширилмоқда. 2017-2021 йилларда Ўзбекистон Республикасини янада ривожлантириш бўйича Ҳаракатлар стратегиясида, жумладан «... иқтисодиёт, ижтимоий соҳа, иқтисодиётда энергия ва ресурслар сарфини камайтириш, ... ишлаб чиқаришга энергия тежайдиган технологияларни кенг жорий этиш»<sup>1</sup> вазифалари белгиланган. Мазкур вазифаларни бажаришда, жумладан қайта тикланувчан энергия манбали электр энергия таъминоти тизимлари асосида электр энергия билан таъминлашда реактив қувват ва энергияни бошқаришнинг аниқлиқ, тезкорлик, ишончлилик кўрсаткичларини таъминлаш талаб қилинади. Шу билан бирга назорат ва бошқарув маълумотини етказиб берувчи бирламчи датчикларнинг ишлаш тамойиллари, алгоритмлари, дастурий таъминоти ва воситаларини ишлаб чиқиш муҳим масалалардан бири ҳисобланади.

---

<sup>1</sup>Ўзбекистон Республикаси Президентининг 2017 йил 7 февридаги ПФ-4947-сон «Ўзбекистон Республикасини янада ривожлантиришнинг Ҳаракатлар стратегияси тўғрисида»ги Фармони.

Ўзбекистон Республикасининг 2019 йил 21 майдаги ЎРҚ-539-сон «Қайта тикланувчи энергия манбаларидан фойдаланиш тўғрисида»ги Қонуни, Ўзбекистон Республикаси Президентининг 2017 йил 26 майдаги ПҚ-3012-сон «2017-2021 йилларда қайта тикланувчи энергетикани янада ривожлантириш, иқтисодиёт тармоқлари ва ижтимоий соҳада энергия самарадорлигини ошириш чора-тадбирлари дастури тўғрисида» ва 2019 йил 22 августдаги ПҚ-4422-сон «Иқтисодиёт тармоқлари ва ижтимоий соҳанинг энергия самарадорлигини ошириш, энергия тежовчи технологияларни жорий этиш ва қайта тикланувчи энергия манбаларини ривожлантиришнинг тезкор чора-тадбирлари тўғрисида»ги Қарорлари ҳамда мазкур фаолиятга тегишли норматив-ҳуқуқий ҳужжатлар белгиланган вазифаларни амалга оширишда ушбу диссертация тадқиқоти муайян даражада хизмат қилади.

**Тадқиқотнинг республика фан ва технологиялари ривожланишининг устувор йўналишларига мослиги.** Мазкур тадқиқот республика фан ва технологиялар ривожланишининг II. «Энергетика, энергия ва ресурслар тежамкорлиги» ва IV. «Ахборотлаштириш ва ахборот-коммуникация технологияларини ривожлантириш» устувор йўналишлари доирасида бажарилган.

**Муаммонинг ўрганилганлик даражаси.** Ҳозирги вақтда қайта тикланувчан энергия манбали электр таъминот тизимлари реактив қувват манбаларининг кўп фазали бирламчи тоқларини иккиламчи кучланишга ўзгартириш жараёнларини тадқиқ этиш, уларнинг тузилиш ва қўлланилиш тамойилларини ривожлантириш, электр энергия сифат кўрсаткичларини бошқарувида қўлланилаётган ўзгартириш бирламчи датчиклари асосида энергия таъминоти муаммоларининг самарали, сифатли ва ишончли ечимини топиш бўйича кенг қамровли илмий тадқиқотлар олиб борилмоқда.

Кўрилаётган йўналишдаги тадқиқотларга М.Ф.Зарипов, Н.Schaumburg, Л.Ф.Куликовский, Н.Е.Конюхов, Е.С.Левщина, В.П.Миловзоров, П.В.Новицкий, Л.А.Островский, Е.П.Осадчий, А.А.Преображенский, И.Ю.Петрова, М.А.Ураксеев ва бошқа таниқли хорижий олимларнинг илмий ишлари бағишланган. Шунингдек, ушбу йўналишдаги илмий муаммони тадқиқ қилиш ва ўрганиш масалаларига республикамизнинг таниқли олимлари А.А.Абдуқаюмов, Р.К.Азимов, К.Р.Аллаев, С.Ф.Амиров, Х.З.Игамбердиев, П.Р.Исматуллаев, И.Х.Сиддиков, А.А.Халиков, Ю.Г.Шипулин, Н.Р.Юсупбеков ва бошқаларнинг илмий ишлари қаратилган.

Таҳлиллар шуни кўрсатдики, қайта тикланувчан энергия манбали электр таъминоти тизимларининг реактив қувват кўп фазали бирламчи тоқларини иккиламчи кучланиш кўринишидаги сигналга ўзгартириш датчикларини тадқиқ этишда замонавий техника ва технологияларни комплекс қўллаш, назорат ва бошқарув қурилмалари ҳамда улардаги жараёнларни моделлаштириш, алгоритмлаш ва тадқиқ этиш масалалари етарли даражада кўриб чиқилмаган. Шу билан бирга қайта тикланувчан энергия манбалари имкониятини аниқлаш, назорат ва бошқариш қурилмаларини тузилмавий ва параметрик тадқиқ этиш, электр энергия сифат кўрсаткичларини белгиловчи реактив қувватнинг назорати ва бошқаруви датчиги ҳамда қурилмаларининг замонавий тузилиш тамойилларини ишлаб чиқиш ва амалиётга жорий этиш масалалари етарли даражада ўрганилмаган.

**Диссертация тадқиқотининг диссертация бажарилган олий таълим муассасасининг илмий-тадқиқот ишлари режалари билан боғлиқлиги.** Диссертация тадқиқоти Муҳаммад ал-Хоразмий номидаги Тошкент ахборот технологиялари университети илмий тадқиқот режасининг 574049-ЕРР-1-2016-1-ИТ-ЕРРКА2-СВНЕ-ЖР «Modernization of the Curricula in sphere of smart building engineering - Green Building (GREB)» (2016-2019) ҳамда 7/18- сонли пудрат шартномаси «Мустақил энергия манбали бинонинг электр таъминоти бошқарув тизимини ишлаб чиқиш ва жорий этиш» (2018-2019) лойиҳалари доирасида бажарилган.

**Тадқиқотнинг мақсади.** Қайта тикланувчан энергия манбали электр таъминот тизимлари реактив қуввати назорати ва бошқарувининг кўп фазали бирламчи тоқларини иккиламчи кучланишга ўзгартириш датчигининг модели ва тузилиш тамойилини ишлаб чиқиш ҳамда тадқиқ этишдан иборат.

**Тадқиқотнинг вазифалари:**

қайта тикланувчан энергия манбали электр энергия таъминоти тизимининг реактив қувват тоқларини назорат ва бошқарув датчикларини таҳлил қилиш ҳамда уларга қўйиладиган асосий талабларни шакллантириш;

электр энергия реактив қуввати бирламчи тоқларининг ўзгартириш датчиклари тузилиш тамойиллари ва физик-техник эффектларини қиёсий тадқиқ қилиш;

реактив қувват манбалари кўп фазали бирламчи тоқларини назорат ва бошқаруви датчикларининг турини танлаш ва асослаш;

кўп фазали бирламчи тоқлар ҳосил қилган магнит оқимларнинг ўзаро таъсирлари асосида чиқишда иккиламчи кучланиш кўринишидаги сигнал билан таъминловчи датчикнинг моделини яратиш;

кўп фазали бирламчи тоқларни назорати ва бошқаруви датчикларининг тузилмавий ва параметрик тадқиқот алгоритмининг яратиш;

электр тоқларни назорат ва бошқарув датчигининг ишончлилиги ҳамда иш ҳолати кўрсаткичларини тадқиқ қилиш модели, тадқиқот алгоритмининг яратиш ва дастурий таъминотини ишлаб чиқиш;

реактив қувват манбаларининг кўп фазали бирламчи тоқларини назорат ва бошқаруви датчикларининг асосий тавсифларини йиғилган ва тарқалган параметрли моделлар асосида тадқиқ қилиш.

**Тадқиқотнинг объекти** сифатида қайта тикланувчан энергия манбали электр энергия таъминоти тизимлари реактив қувват манбаларини кўп фазали бирламчи тоқларини иккиламчи кучланишга ўзгартирувчи назорат ва бошқарув датчиги ва унинг модели олинган.

**Тадқиқотнинг предмети** қайта тикланувчан энергия манбали электр таъминот тизимлари реактив қуввати кўп фазали бирламчи тоқларини иккиламчи кучланиш кўринишидаги чиқиш сигналига ўзгартириш датчигида кечаётган жараёнлар ҳисобланади.

**Тадқиқотнинг усуллари.** Тадқиқот жараёнида электр ва магнит занжирларини йиғилган ва тарқалган параметрли электр ва магнит занжирларни катталиқ ва параметрларини ҳисоблаш ва тадқиқ этиш, графлар ва сигналлар ҳосил қилиш ҳамда узатиш назарияси ва маълумотларга рақамли ишлов бериш, сигнал ҳосил қилиш жараёнларини моделлаштириш усулларидадан фойдаланилган.

**Тадқиқотнинг илмий янгилиги** қуйидагилардан иборат:

қайта тикланувчан энергия манбали электр энергия таъминоти тизими реактив қуввати бирламчи тоқларини иккиламчи кучланишга ўзгартириш датчикларининг йиғилган ва тарқалган параметрли моделлари яратилган;

магнит оқимлари ўзаро таъсирлашувчи бирламчи тоқларни иккиламчи кучланишга ўзгартириш датчикларининг магнит ўзагини тузилиш тамойили ишлаб чиқилган;

кўп фазали бирламчи тоқларни иккиламчи кучланишга ўзгартириш датчикларининг физик-техник эффектлари, ишончилиги ва иш ҳолати кўрсаткичлари моделлари яратилган;

электр энергия таъминот тизимларида реактив қувватнинг самарадорлигини баҳолашнинг Cloud Computing модели ва тадқиқот алгоритми ишлаб чиқилган.

**Тадқиқотнинг амалий натижалари** қуйидагилардан иборат:

қайта тикланувчан энергия манбали электр энергия таъминоти тизимлари реактив қувват манбаларининг кўп фазали бирламчи тоқларини иккиламчи кучланишга ўзгартириш датчиги электромагнит бўлагининг тузилмаси ишлаб чиқилган ва датчикнинг қўлланиши соҳаси белгиланган;

қайта тикланувчан энергия манбали электр энергия таъминот тизимлари талабларига мос келувчи ва тизим реактив қувватини самарадорлигини назорат ва бошқаришнинг Cloud Computing модели асосидаги тадқиқот дастурий таъминоти ишлаб чиқилган.

**Тадқиқот натижаларининг ишончилиги.** Тадқиқот натижаларининг ишончилиги реактив қувват манбалари кўп фазали бирламчи тоқларини иккиламчи кучланишга ўзгартириш датчигининг йиғилган ва тарқалган параметрли моделлари ва статик ҳамда динамик тавсифлари умум қабул қилинган мезонлар ҳамда олинган назарий ва амалий натижаларни қиёсий солиштириш асосида изоҳланади.

**Тадқиқот натижаларининг илмий ва амалий аҳамияти.** Тадқиқот натижаларининг илмий аҳамияти қайта тикланувчан энергия манбали электр энергия таъминот тизимлари реактив қувватининг назорати ва ишлаб чиқариш бошқарувини истеъмолчиларнинг талабларидан келиб чиққан ҳолда амалга ошириш тамойили, назорат ва бошқарув датчигида кечаётган жараёнлар ҳамда датчикнинг тузилиш тамойилининг граф ва аналитик моделлари, тадқиқот алгоритмларини яратилганлиги ҳамда электр энергия реактив қувватининг кўп фазали бирламчи тоқларини иккиламчи кучланишга ўзгартириш датчиги чиқиш сигналининг меъёрланганлиги, чизиқлиги ва руҳсат берилган аниқлигини таъминланиши билан изоҳланади.

Тадқиқот натижаларининг амалий аҳамияти реактив қувват кўп фазали бирламчи тоқларни иккиламчи кучланишга ўзгартириш датчиги орқали электр энергия таъминот тизимида назорат ва бошқарув сифатининг оширилиши имкониятини кенгайтирилганлиги, энергия ресурслар тежамкорлиги, меъёрланган чиқиш сигнални таъминланганлиги ва физик моделни ишлаб чиқилганлиги ҳамда амалиётга қўлланилиши билан изоҳланади.

**Тадқиқот натижаларининг жорий қилиниши.** Қайта тикланувчан энергия манбали электр энергия таъминоти тизимлари реактив қуввати бошқарувининг кўп фазали бирламчи тоқлари датчикларининг моделлари ва тузилиш тамойиллари бўйича олинган натижалари асосида:

қайта тикланувчан энергия манбали электр энергия таъминоти тизими реактив қуввати бирламчи тоқларини иккиламчи кучланишга ўзгартириш датчикларининг йиғилган ва тарқалган параметрли моделлари «Қорақалпоқ ҳудудий электр тармоқлари корхонаси» АЖга жорий этилган («Энергетика» вазирлигининг 2019 йил 20 декабрдаги 05-10-4723-сон маълумотномаси). Натижада электр таъминоти тизими реактив қувват манбалари - косинусли конденсаторларининг чиқиш катталикларидан бўлган бирламчи реактив тоқларини иккиламчи кучланишга ўзгартириш тузилмалари электр энергия таъминоти тизимлари самарадорлигини белгилловчи кучланишга мос реактив қувватни ишлаб чиқариш имконини берган;

магнит оқимлари ўзаро таъсирлашувчи бирламчи тоқларни иккиламчи кучланишга ўзгартириш датчикларининг магнит ўзагини тузилиш тамойили ва ушбу датчикларнинг физик-техник эффектлари, ишончлилиги ва иш ҳолати кўрсаткичлари моделлари «Тахиатош иссиқлик электрстанцияси» АЖга жорий этилган («Энергетика» вазирлигининг 2019 йил 20 декабрдаги 05-10-4723-сон маълумотномаси). Натижада реактив қувват манбаларини ростлаш, ишлаб чиқарилаётган қувват ва энергиянинг йўқолишини камайтириш ҳамда энергия самарадорлигини рухсат берилган аниқликда таъминлаш имконини берган;

электр энергия таъминот тизимларида реактив қувватнинг самарадорлигини баҳолашнинг Cloud Computing модели ва тадқиқот алгоритми «Тахиатош иссиқлик электрстанцияси» АЖ ҳамда «Қорақалпоқ ҳудудий электр тармоқлари корхонаси» АЖларга жорий этилган («Энергетика» вазирлигининг 2019 йил 20 декабрдаги 05-10-4723-сон маълумотномаси). Натижада реал вақт мобайнида электр энергия исътемоқчилари исътемоқ қилаётган реактив қувват, энергия ва уларнинг самарадорлиги тўғрисидаги маълумотларни олиш, реактив қуввати кўп фазали бирламчи тоқларининг назорат ва бошқарув датчиги аниқлигини 1,8 % га ошириш имконини берган.

**Тадқиқот натижаларининг апробацияси.** Мазкур тадқиқот натижалари 3 та халқаро, 4 та республика илмий-амалий конференцияларда муҳокамадан ўтказилган.

**Тадқиқот натижаларининг эълон қилинганлиги.** Тадқиқот мавзуси бўйича жами 14 та илмий иш чоп этилган, шулардан Олий аттестация комиссиясининг диссертацияларни асосий илмий натижаларини чоп этиш тавсия этилган илмий нашрларда 4 та мақола, жумладан 2 таси хорижий журналларда нашр қилинган, ҳамда 3 та ЭҲМ учун дастурий махсулотларга гувоҳномалар рўйхатга олинган.

**Диссертациянинг тузилиши ва ҳажми.** Диссертация кириш, 4 та боб, хулоса, фойдаланилган адабиётлар рўйхати ва иловалардан иборат. Диссертациянинг ҳажми 117 бетдан иборат бўлиб, 40 та расм ва 4 та жадвал келтирилган.

## ДИССЕРТАЦИЯНИНГ АСОСИЙ МАЗМУНИ

**Кириш** қисмида ўтказилган тадқиқотларнинг долзарблиги ва зарурати асосланган, тадқиқотнинг мақсади ва вазифалари, объект ва предметлари тавсифланган, республика фан ва технологиялари ривожланишининг устувор йўналишларига мослиги кўрсатилган, тадқиқотнинг илмий янгилиги ва амалий натижалари баён қилинган, олинган натижаларнинг илмий ва амалий аҳамияти очиқ берилган, тадқиқот натижаларини амалиётга жорий қилиш, нашр этилган ишлар ва диссертация тузилиши бўйича маълумотлар келтирилган.

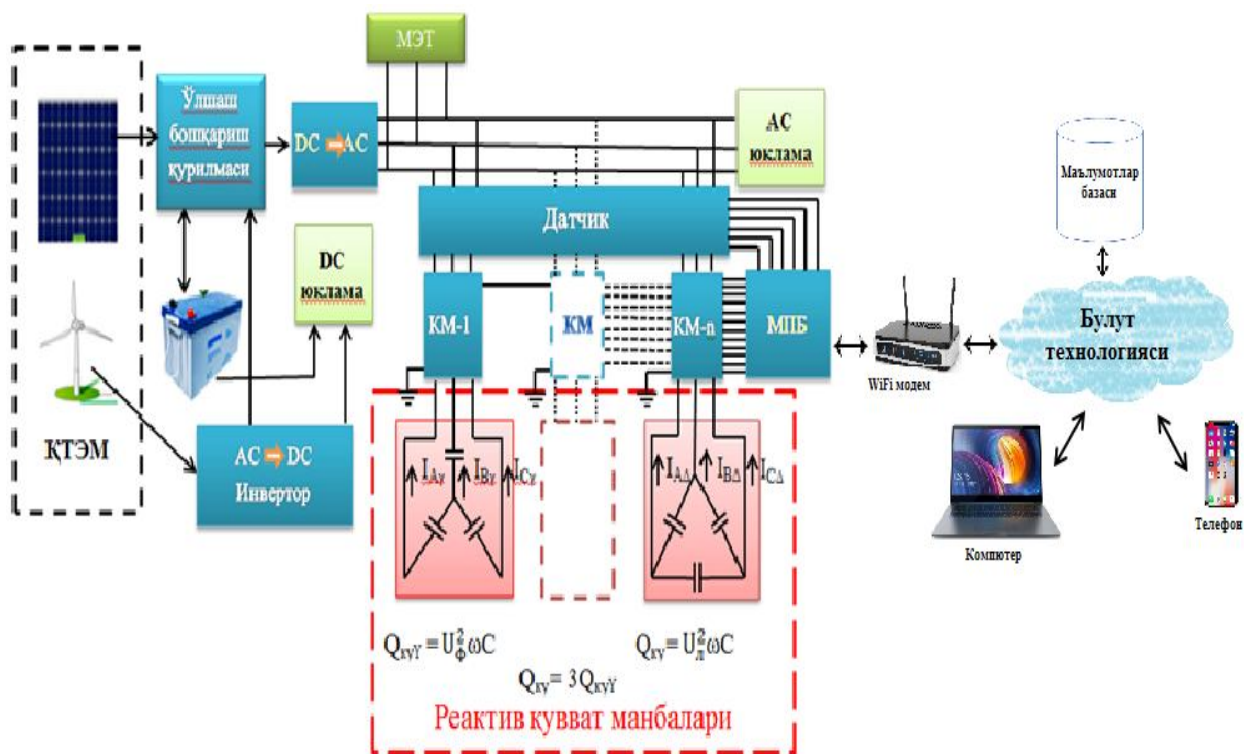
Диссертациянинг **«Қайта тикланувчан энергия манбали электр таъминоти тизимларида реактив қувватни бошқариш қурилмалари ва усуллари таҳлили»** деб номланган биринчи бобида қайта тикланувчан энергия манбали электр энергия таъминоти тизимларида актив ва реактив қувват ҳамда энергияни ишлаб чиқариш ва бошқариш, кўп фазали бирламчи тоқларни иккиламчи кучланишга ўзгартириш тамойиллари, назорат ва бошқаришни сигнал билан таъминловчи датчиклар, кўп фазали бирламчи тоқларни иккиламчи кучланишга ўзгартириш датчигининг тузилиш асослари, диссертация иши мақсади ва вазифалари келтирилган.

Ҳозирги вақтда янги турдаги қайта тикланувчан энергия манбалари (ҚТЭМ) электр энергия таъминоти тизимларида (ЭТТ) амалиётга кенг жорий этилаётган бўлиб, бунда электр энергияни ҳосил қилиш ва ўзгартириш жараёнларига, энергия манбалари ишлаб чиқараётган электр катталикларни замонавий ўзгартириш бирламчи датчиклари, воситалари ва қурилмалари орқали назорат ва бошқаришни тезкор ва сифатли амалга оширилишига катта аҳамият берилмоқда. Таҳлиллар кўрсатдики, ҚТЭМли ЭТТлар электр энергия қувватини сифатли ва ишончли бошқарув ва назорат сигналлари билан таъминлайдиган бирламчи датчик ва қурилмаларни ўзи ичига олади.

Назорат ва бошқарув тизимларини, ўлчов асбоблари ва қурилмаларини сигнал билан таъминлаш бўйича таркибий қисм ҳисобланган датчиклар электр энергия таъминоти манбаларининг ишлаш узлуксизлигини, ишончилигини, материаллар сарфини ва бошқа қатор техник иқтисодий ва самарадорлик кўрсаткичларини белгилайди. Адабиётлар таҳлили ва материалларни умумлаштириш ҳамда кўрилаётган муаммоларнинг ўрганилиш даражасини таҳлил қилиш асосида диссертация тадқиқотининг аниқлаштирилган асосий мақсад ва вазифалари аниқланди.

Бунда назорат ва бошқаришнинг сигнал датчиклари муҳим восита бўлиб, у ЭТТ кучланишининг етарли реактив қувватини ишлаб чиқишини таъминлаш асосида қувват бўйича ўзаро синхронлашни таъминлайди, бу қурилмалар энергия таъминотини реактив энергия ва қувватини узлуксиз равишда ЭТТ тармоғига ўтказишни таъминлашга имкон беради.

ҚТЭМли ЭТТнинг реактив қувват манбалари самарадорлигини Cloud Computing технологияси бўйича ва кўп фазали бирламчи тоқлар датчикларини ўрнатилиш ҳамда уланиш схемаси 1-расмда келтирилган.



1-расм. ҚТЭМли ЭТТнинг реактив қувват манбалари самарадорлигини Cloud Computing технологияси бўйича ва кўп фазали бирламчи тоқлар датчикларини ўрнатилиш ҳамда улаиш схемаси.

Диссертациянинг «Қайта тикланувчан энергия манбали электр энергия таъминоти реактив қувватининг кўп фазали бирламчи тоқларини иккиламчи кучланишга ўзгартириш жараёнини ва датчигини моделлаштириш» деб номланган иккинчи бобида реактив қувват манбалари бирламчи қувват ва энергиясининг кўп фазали бирламчи тоқларини иккиламчи кучланишга ўзгартириш жараёни, ўзгартириш бўлақларини моделлари ва тадқиқот алгоритми, жараёнида иштирок этувчи ва бирламчи тоқларни иккиламчи кучланиш кўринишидаги сигналга ўзгартириш тамойилларининг физик-техник эффектларини моделлари келтирилган.

ҚТЭМли ЭТТларда реактив қувват ва энергияни ишлаб чиқариш ҳамда ўзгартиришда манбаларнинг бирламчи электр тоқларини номиналлигида иккиламчи меёрланган кучланиш (20 В) ва ток (0,1 А) кўринишидаги чиқиш сигналга ўзгартириш жараёни ва ушбу жараёнда иштирок этаётган датчикни тузилишини моделлаштириш ва тадқиқ қилишнинг юқори формалашган ва яққолликни таъминловчи граф моделлари, реактив қувват манбалари томонидан ишлаб чиқилган  $I_{A\gamma}, I_{B\gamma}, I_{C\gamma}, I_{A\Delta}, I_{B\Delta}, I_{C\Delta}$  кўп фазали реактив тоқлар ҳосил қилган магнит оқимлар магнит ўзақларда, ҳаво оралик ва стерженларда  $F_{\mu}$ - магнит юритувчи кучлар (м.ю.к.), улар ҳосил қилган сезиш элементларини кесиб ўтувчи  $\Phi_{\mu}$  - магнит оқимлар асосида бирламчи тоқларни  $U_{Эчик}$  – иккиламчи кучланишларига ўзгартириш жараёни ва датчик ўзгартириш тузилмаси модели 2-расм кўринишда шакллантирилади.

Кўп фазали бирламчи тоқларни иккиламчи кучланишга ўзгартириш датчигининг магнит ўзагида м.ю.к.лар -  $F_{\mu}$  ва магнит оқимлари -  $\Phi_{\mu}$  ҳосил қилинади. Магнит оқимларининг ўзаро таъсирлашувчи муносабатлари тугунлар м.ю.к.ларига боғлиқ равишда қуйидагича ифодаланади:

$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{F_{\mu 11}-F_{\mu 12}}{\Pi_{\mu 11}} + \frac{F_{\mu 11}-F_{\mu 21}}{\Pi_{\mu 11}} = K_{I \Delta F \mu} I_{A \gamma} \\ \frac{F_{\mu 21}-F_{\mu 11}}{\Pi_{\mu 11}} + \frac{F_{\mu 21}-F_{\mu 22}}{\Pi_{\mu 21}} + \frac{F_{\mu 21}-F_{\mu 31}}{\Pi_{\mu 21}} = K_{I \Delta F \mu} I_{B \gamma} \\ \frac{F_{\mu 31}-F_{\mu 21}}{\Pi_{\mu 21}} + \frac{F_{\mu 31}-F_{\mu 32}}{\Pi_{\mu 31}} + \frac{F_{\mu 31}-F_{\mu 41}}{\Pi_{\mu 31}} = K_{I \Delta F \mu} I_{C \gamma} \\ \frac{F_{\mu 41}-F_{\mu 31}}{\Pi_{\mu 31}} + \frac{F_{\mu 41}-F_{\mu 42}}{\Pi_{\mu 41}} + \frac{F_{\mu 41}-F_{\mu 51}}{\Pi_{\mu 41}} = K_{I \Delta F \mu} I_{A \Delta} \\ \frac{F_{\mu 51}-F_{\mu 41}}{\Pi_{\mu 41}} + \frac{F_{\mu 51}-F_{\mu 52}}{\Pi_{\mu 51}} + \frac{F_{\mu 51}-F_{\mu 61}}{\Pi_{\mu 51}} = K_{I \Delta F \mu} I_{B \Delta} \\ \frac{F_{\mu 61}-F_{\mu 51}}{\Pi_{\mu 51}} + \frac{F_{\mu 61}-F_{\mu 62}}{\Pi_{\mu 61}} = K_{I \Delta F \mu} I_{C \Delta} \end{array} \right. \quad (1)$$

$I_{A \gamma}$	$K_{I \Delta F \mu}$	$F_{\mu 11}$	$\Pi_{11}$	$F_{\mu 12}$	$\Pi_{12}$	$F_{\mu 13}$	$\Pi_{13}$	$F_{\mu 14}$	$\Pi_{\mu 1}$	$\Phi_{\mu 11}$	$K_{\Phi \mu U \Delta}$	$U_{\text{Эчик1}}$
		ПО <sub>11</sub>	ПО <sub>12</sub>	ПО <sub>13</sub>	ПО <sub>14</sub>							
$I_{B \gamma}$	$K_{I \Delta F \mu}$	$F_{\mu 21}$	$\Pi_{21}$	$F_{\mu 22}$	$\Pi_{22}$	$F_{\mu 23}$	$\Pi_{23}$	$F_{\mu 24}$	$\Pi_{\mu 2}$	$\Phi_{\mu 21}$	$K_{\Phi \mu U \Delta}$	$U_{\text{Эчик2}}$
		ПО <sub>21</sub>	ПО <sub>22</sub>	ПО <sub>23</sub>	ПО <sub>24</sub>							
$I_{C \gamma}$	$K_{I \Delta F \mu}$	$F_{\mu 31}$	$\Pi_{31}$	$F_{\mu 32}$	$\Pi_{32}$	$F_{\mu 33}$	$\Pi_{33}$	$F_{\mu 34}$	$\Pi_{\mu 3}$	$\Phi_{\mu 31}$	$K_{\Phi \mu U \Delta}$	$U_{\text{Эчик3}}$
		ПО <sub>31</sub>	ПО <sub>32</sub>	ПО <sub>33</sub>	ПО <sub>34</sub>							
$I_{A \Delta}$	$K_{I \Delta F \mu}$	$F_{\mu 41}$	$\Pi_{41}$	$F_{\mu 42}$	$\Pi_{42}$	$F_{\mu 43}$	$\Pi_{43}$	$F_{\mu 44}$	$\Pi_{\mu 4}$	$\Phi_{\mu 41}$	$K_{\Phi \mu U \Delta}$	$U_{\text{Эчик4}}$
		ПО <sub>41</sub>	ПО <sub>42</sub>	ПО <sub>43</sub>	ПО <sub>44</sub>							
$I_{B \Delta}$	$K_{I \Delta F \mu}$	$F_{\mu 51}$	$\Pi_{51}$	$F_{\mu 52}$	$\Pi_{52}$	$F_{\mu 53}$	$\Pi_{53}$	$F_{\mu 54}$	$\Pi_{\mu 5}$	$\Phi_{\mu 51}$	$K_{\Phi \mu U \Delta}$	$U_{\text{Эчик5}}$
		ПО <sub>51</sub>	ПО <sub>52</sub>	ПО <sub>53</sub>	ПО <sub>54</sub>							
$I_{C \Delta}$	$K_{I \Delta F \mu}$	$F_{\mu 61}$	$\Pi_{61}$	$F_{\mu 62}$	$\Pi_{62}$	$F_{\mu 63}$	$\Pi_{63}$	$F_{\mu 64}$	$\Pi_{\mu 6}$	$\Phi_{\mu 61}$	$K_{\Phi \mu U \Delta}$	$U_{\text{Эчик6}}$
		ПО <sub>61</sub>	ПО <sub>62</sub>	ПО <sub>63</sub>	ПО <sub>64</sub>							

2-расм. Кўп фазали бирламчи тоқларни иккиламчи кучланишга ўзгартириш жараёни ва датчик ўзгартириш бўлаги модели.

Датчикнинг иккиламчи чиқиш кучланишларини кўп фазали бирламчи электр тоқларнинг ўзаро таъсирлашувчи магнит оқимлари  $\Phi_{\mu}=f(I_{\Delta})$  асосида танланган ўзгарган сигнал ўзгартириш дивазонида чизиқли боғлиқлигини таъминлаш, магнит оқимларнинг ҳаво оралиғи ўлчамлари билан характерланишини тавсифлаш олиб борилган тадқиқотларнинг асосий хулосаларини белгилайди.

Диссертациянинг «Кўп фазали тоқларни кучланишга ўзгартириш датчигининг асосий тавсифлари» деб номланган учинчи бобида ҚТЭМли ЭТТнинг реактив қуввати кўп фазали бирламчи тоқларини иккиламчи кучланишга ўзгартириш датчикларининг статик, динамик ва метрологик тавсифлари ҳамда датчикларнинг ишончилиги ва иш ҳолати кўрсаткичларини тадқиқотлари натижалари келтирилган.

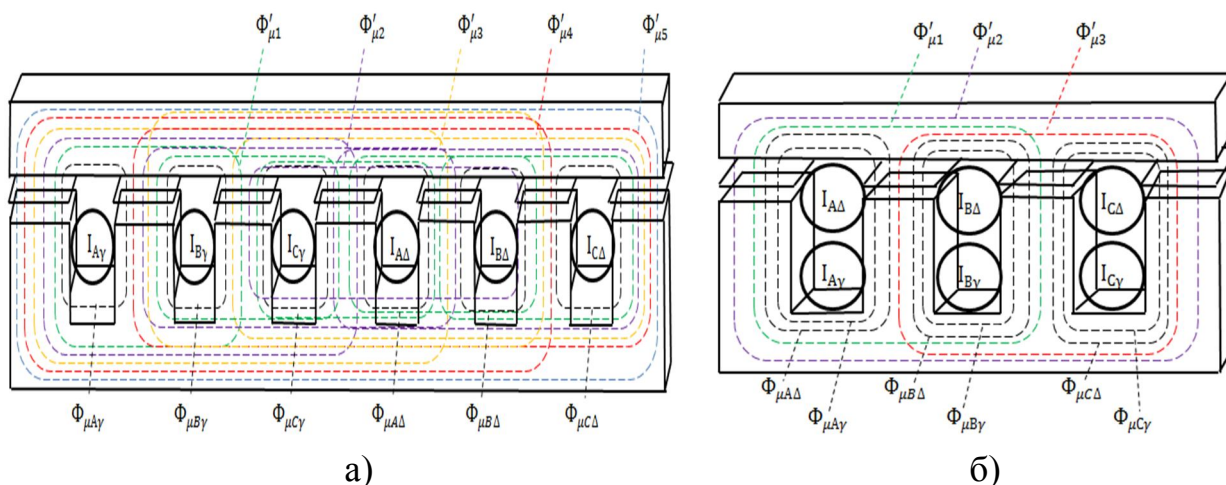
ҚТЭМли ЭТТнинг реактив қувватини кўп фазали бирламчи тоқларини иккиламчи кучланиш кўринишидаги сигналга ўзгартириш датчикларининг статик, динамик ва метрологик тавсифлари тарқалган параметрли граф модели (2-расм) асосида қуйидаги аналитик ифодалар билан тадқиқ этилади:

$$\left\{ \begin{array}{l} U_{ay} = K_{\Phi\mu U_{\Delta}} \Pi_{\mu 1} (W(F_{\mu 11}, F_{\mu 14}) K_{I_{\Delta} F_{\mu}} I_{Ay} + W(F_{\mu 21}, F_{\mu 14}) K_{I_{\Delta} F_{\mu}} I_{By} + \\ + W(F_{\mu 31}, F_{\mu 14}) K_{I_{\Delta} F_{\mu}} I_{Cy} + W(F_{\mu 41}, F_{\mu 14}) K_{I_{\Delta} F_{\mu}} I_{Ad} + \\ + W(F_{\mu 51}, F_{\mu 14}) K_{I_{\Delta} F_{\mu}} I_{Bd} + W(F_{\mu 61}, F_{\mu 14}) K_{I_{\Delta} F_{\mu}} I_{Cd}); \\ U_{by} = K_{\Phi\mu U_{\Delta}} \Pi_{\mu 2} (W(F_{\mu 21}, F_{\mu 24}) K_{I_{\Delta} F_{\mu}} I_{By} + W(F_{\mu 11}, F_{\mu 24}) K_{I_{\Delta} F_{\mu}} I_{Ay} + \\ + W(F_{\mu 31}, F_{\mu 24}) K_{I_{\Delta} F_{\mu}} I_{Cy} + W(F_{\mu 41}, F_{\mu 24}) K_{I_{\Delta} F_{\mu}} I_{Ad} + \\ + W(F_{\mu 51}, F_{\mu 24}) K_{I_{\Delta} F_{\mu}} I_{Bd} + W(F_{\mu 61}, F_{\mu 24}) K_{I_{\Delta} F_{\mu}} I_{Cd}); \\ U_{cy} = K_{\Phi\mu U_{\Delta}} \Pi_{\mu 2} (W(F_{\mu 31}, F_{\mu 34}) K_{I_{\Delta} F_{\mu}} I_{Cy} + W(F_{\mu 11}, F_{\mu 34}) K_{I_{\Delta} F_{\mu}} I_{Ay} + \\ + W(F_{\mu 21}, F_{\mu 34}) K_{I_{\Delta} F_{\mu}} I_{By} + W(F_{\mu 41}, F_{\mu 34}) K_{I_{\Delta} F_{\mu}} I_{Ad} + \\ + W(F_{\mu 51}, F_{\mu 34}) K_{I_{\Delta} F_{\mu}} I_{Bd} + W(F_{\mu 61}, F_{\mu 34}) K_{I_{\Delta} F_{\mu}} I_{Cd}); \\ U_{ad} = K_{\Phi\mu U_{\Delta}} \Pi_{\mu 2} (W(F_{\mu 41}, F_{\mu 44}) K_{I_{\Delta} F_{\mu}} I_{Ad} + W(F_{\mu 11}, F_{\mu 44}) K_{I_{\Delta} F_{\mu}} I_{Ay} + \\ + W(F_{\mu 21}, F_{\mu 44}) K_{I_{\Delta} F_{\mu}} I_{By} + W(F_{\mu 31}, F_{\mu 44}) K_{I_{\Delta} F_{\mu}} I_{Cy} + \\ + W(F_{\mu 51}, F_{\mu 44}) K_{I_{\Delta} F_{\mu}} I_{Bd} + W(F_{\mu 61}, F_{\mu 44}) K_{I_{\Delta} F_{\mu}} I_{Cd}); \\ U_{bd} = K_{\Phi\mu U_{\Delta}} \Pi_{\mu 5} (W(F_{\mu 51}, F_{\mu 54}) K_{I_{\Delta} F_{\mu}} I_{Bd} + W(F_{\mu 11}, F_{\mu 54}) K_{I_{\Delta} F_{\mu}} I_{Ay} + \\ + W(F_{\mu 21}, F_{\mu 54}) K_{I_{\Delta} F_{\mu}} I_{By} + W(F_{\mu 31}, F_{\mu 54}) K_{I_{\Delta} F_{\mu}} I_{Cy} + \\ + W(F_{\mu 41}, F_{\mu 54}) K_{I_{\Delta} F_{\mu}} I_{Ad} + W(F_{\mu 61}, F_{\mu 54}) K_{I_{\Delta} F_{\mu}} I_{Cd}); \\ U_{cd} = K_{\Phi\mu U_{\Delta}} \Pi_{\mu 5} (W(F_{\mu 61}, F_{\mu 64}) K_{I_{\Delta} F_{\mu}} I_{Cd} + W(F_{\mu 11}, F_{\mu 64}) K_{I_{\Delta} F_{\mu}} I_{Ay} + \\ + W(F_{\mu 21}, F_{\mu 64}) K_{I_{\Delta} F_{\mu}} I_{By} + W(F_{\mu 31}, F_{\mu 64}) K_{I_{\Delta} F_{\mu}} I_{Cy} + \\ + W(F_{\mu 41}, F_{\mu 64}) K_{I_{\Delta} F_{\mu}} I_{Ad} + W(F_{\mu 51}, F_{\mu 64}) K_{I_{\Delta} F_{\mu}} I_{Bd}); \end{array} \right. \quad (2)$$

бу ерда  $K_{\Phi\mu U_{\Delta}} = \omega_{2\chi}$  —ўзаро таъсирлашувчи магнит оқимлар —  $\Phi_{\mu}$  ва чиқиш электр кучланишлари  $U_{\Delta\chi}$  орасидаги занжирлараро боғлиқлик коэффициентлари бунда кўп фазали бирламчи тоқларнинг номинал қийматларида чиқиш

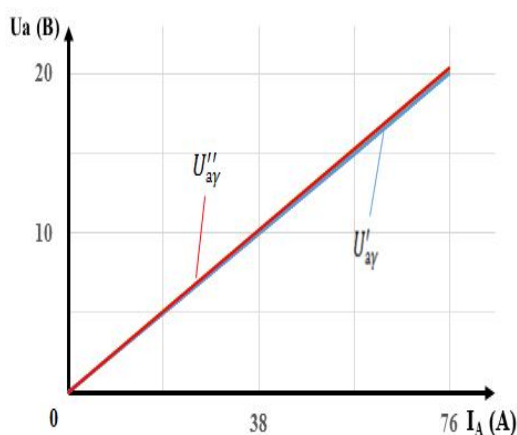
кучланишини ва токи меёрланган (20 В ва 0,1 А) бўлиши асосида иккиламчи чулғам ўрамлар сони  $\omega_{2ч}=1\div 20$  ўрамгача бўлган қийматларни қабул қилади.

ҚТЭМли ЭТТ реактив қуввати  $I_{Ay}, I_{By}, I_{Cy}, I_{A\Delta}, I_{B\Delta}, I_{C\Delta}$  –кўп фазали бирламчи тоқларини иккиламчи кучланишга ўзгартириш датчигини магнит ўзгартириш бўлаклари 3 – расмда келтирилган.

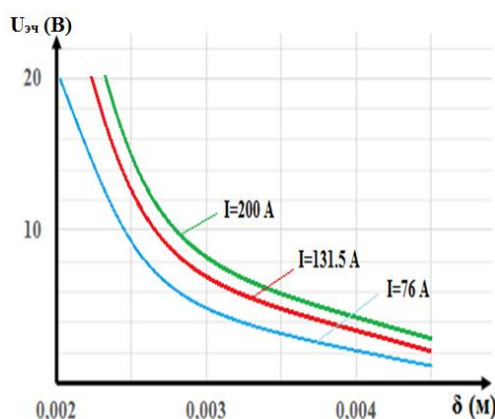


3-расм. ҚТЭМ ЭТТ РК  $I_{Ay}, I_{By}, I_{Cy}, I_{A\Delta}, I_{B\Delta}, I_{C\Delta}$ - кўп фазали бирламчи тоқларни иккиламчи кучланишга ўзгартириш датчигининг магнит ўзгартириш бўлаклари: а) горизонтал бўлакли тузилма; б) параллел бўлакли тузилма.

Датчикнинг ҚТЭМли ЭТТ электр энергия узатиш тармоғи реактив қувватлари бир фазаси бирламчи тоқлари ва датчик чиқиш кучланиши орасидаги боғлиқликлар ва ҳаво оралиғининг геометрик ўлчамларини кириш тоқининг турли қийматларида чиқиш кучланишига таъсири статик тавсифлари 4 ва 5 -расмларда келтирилган.



4-расм. Бирламчи ток ва чиқиш кучланиши орасидаги боғлиқликнинг статик тавсифлари (реактив қувват манбаси юлдуз - у шаклда уланган).  $U'_{ay}$  - йиғилган параметрли модел,  $U''_{ay}$  - тарқалган параметрли модел асосида олинган чиқиш кучланишининг мтқдорлари.

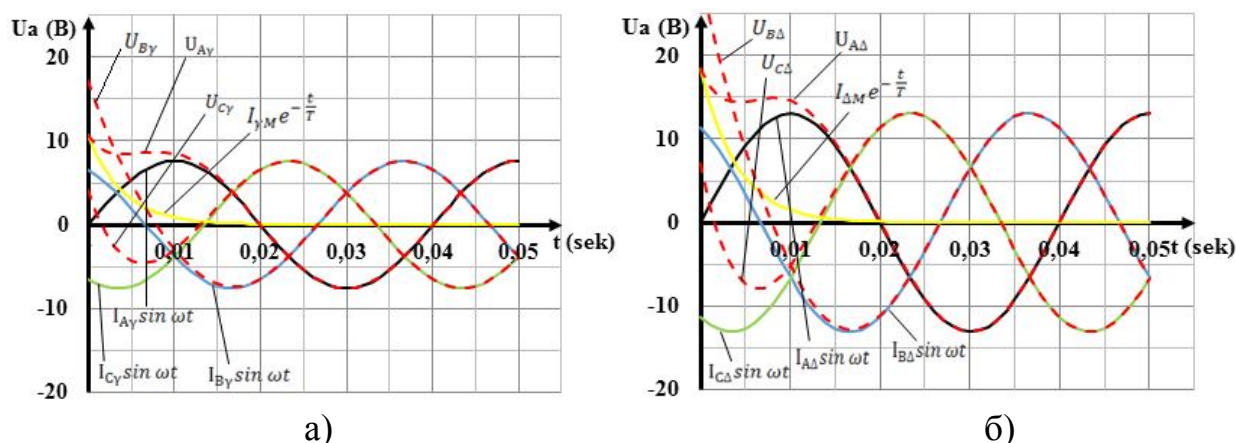


5-расм. Ҳаво оралиғи геометрик ўлчамлари ва бирламчи тоқларнинг чиқиш кучланишига таъсири.

ҚТЭМли ЭТТнинг реактив қувват манбаларини юлдузсимон -  $\gamma$  ва учбурчаксимон -  $\Delta$  уланиш схемалари асосида шакллантирилган тадқиқот моделининг аналитик ифодалари қуйидаги кўринишга эга:

$$\left\{ \begin{array}{l} U_{A\gamma} = K_{\Phi\mu U_3} \Pi_{\mu 1} W(F_{\mu 11}, F_{\mu 14}) K_{I_3 F \mu} (I_{A\gamma} \sin \omega t + I_{A\mu} e^{-\frac{t}{T}}); \\ U_{B\gamma} = K_{\Phi\mu U_3} \Pi_{\mu 2} W(F_{\mu 21}, F_{\mu 24}) K_{I_3 F \mu} (I_{B\gamma} (\sin \omega t + 120^\circ) + I_{B\mu} e^{-\frac{t}{T}}); \\ U_{C\gamma} = K_{\Phi\mu U_3} \Pi_{\mu 3} W(F_{\mu 31}, F_{\mu 34}) K_{I_3 F \mu} (I_{C\gamma} (\sin \omega t - 120^\circ) + I_{C\mu} e^{-\frac{t}{T}}); \\ U_{A\Delta} = K_{\Phi\mu U_3} \Pi_{\mu 4} W(F_{\mu 41}, F_{\mu 44}) K_{I_3 F \mu} (I_{A\Delta} \sin(\omega t) + I_{A\mu} e^{-\frac{t}{T}}); \\ U_{B\Delta} = K_{\Phi\mu U_3} \Pi_{\mu 5} W(F_{\mu 51}, F_{\mu 54}) K_{I_3 F \mu} (I_{B\Delta} (\sin \omega t + 120^\circ) + I_{B\mu} e^{-\frac{t}{T}}); \\ U_{C\Delta} = K_{\Phi\mu U_3} \Pi_{\mu 6} W(F_{\mu 61}, F_{\mu 64}) K_{I_3 F \mu} (I_{C\Delta} (\sin \omega t - 120^\circ) + I_{C\mu} e^{-\frac{t}{T}}); \end{array} \right. \quad (3)$$

ҚТЭМли ЭТТ электр энергия узатиш тармоғининг инерционлиги  $t = 0,04$  бўлган ҳол учун датчикнинг кўп фазали бирламчи токлари ва чиқиш кучланишлари орасидаги боғлиқликнинг динамик тавсифлари шакллантирилган аналитик ифодалар (3) асосида олиб борилган тадқиқотлар натижалари график кўриниши 6 - расмда келтирилган:



6-расм. ҚТЭМли ЭТТ электр энергия узатиш тармоғининг инерционлиги  $t = 0,04$  сония бўлган ҳол учун кўп фазали бирламчи тоklar ва чиқиш кучланишлари орасидаги боғлиқликнинг динамик тавсифлари:

а) реактив қувват манбаси юлдузсимон -  $\gamma$  уланган, б) реактив қувват манбаси учбурчаксимон -  $\Delta$  уланган.

Динамик жараёнларни кўп фазали бирламчи тоklar, ўзаро таъсирлашувчи магнит оқимлар ва чиқиш кучланишларининг катталиклари ва параметрларига боғлиқ ҳолда ўзгариши натижалари асосида хулоса қилиш мумкинки, ҚТЭМли ЭТТ реактив қувват манбалари бирламчи токлари электр энергия узатиш тармоқларига улангандан 0,015 - 0,025 секунд ўтгандан кейин датчикнинг чиқишидаги иккиламчи кучланишларининг миқдорлари – чиқиш сигналлари турғун қийматга эришади (6- расм).

ҚТЭМли ЭТТ реактив қувват манбаларининг юлдузсимон -  $\gamma$  ва учбурчаксимон -  $\Delta$  уланган схемалардаги токи –  $I_{A\gamma}$  ва чиқиш кучланишлари -  $U'_{a\gamma}, U''_{a\gamma}$  миқдорлари асосида датчикнинг ўзгартириш хатоликлари

ҳисобланади:

$$\Delta = \frac{I_{Ay} = 76 \text{ A}; \quad U'_{ay} = 20 \text{ B}; \quad U''_{ay} = 20,37 \text{ B};}{(U''_{ay} - U'_{ay}) * 100\% = \frac{(20,37 - 20)}{20} * 100\% = 1,81\% ;}$$

$$\Delta = \frac{I_{a\Delta} = 131,5; \quad U'_{a\Delta} = 20; \quad U''_{a\Delta} = 20,369;}{(U''_{a\Delta} - U'_{a\Delta}) * 100\% = \frac{(20,369 - 20)}{20} * 100\% = 1,8\% ;}$$

Датчик хатоликлари бўйича тадқиқотлар асосида хулоса қилиш мумкинки, реактив қувват манбаларининг юлдузсимон - Y уланиш тавсифлари манбаларни учбурчаксимон - Δ уланиш тавсифларига адекват бўлиб, бу ҳолат яратилган датчик тузилиши чизиқли тавсифлар талабларини қаноатлантириш билан бирга аниқликни 1,8% га оширишни таъминланган.

ҚТЭМли ЭТТ реактив қувват манбаларининг кўп фазали бирламчи тоқларини кучланишга ўзгартириш электромагнит датчигининг сигнал ўзгартириш тамойилини таҳлили сигнал ўзгартириш бўлақларининг ишончилигини аниқлаш имконини беради ва ушбу асосда ишончилиқнинг ташкил этувчиларини мумкин бўлган ҳолатлари тузилади. ҚТЭМли ЭТТ реактив қувват манбаларининг кўп фазали бирламчи тоқларини иккпламчи кучланишга ўзгартириш электромагнит датчигининг асосий ўзгартириш бўлақларининг (бирламчи ўрам, магнит ўзак, сезиш бўлаги ва стержень) иш ҳолатда бўлиш эҳтимоллари мос равишда қуйидагича қабул қилинган:

$$P_1 = 0.99; \quad P_2 = 0.99; \quad P_3 = 0.99; \quad P_4 = 0,99.$$

Датчик бўлақларининг барча мумкин бўлган иш ҳолатларининг эҳтимоллигини умумлаштирилиб, датчикнинг умумий ишончли ишлаш эҳтимоллиги қуйидагича ҳисобланади:

$$P = P_1 P_2 P_3 P_4 - P_1 P_2 P_3 (1 - P_4) - P_1 P_2 P_4 (1 - P_3) - P_1 P_3 P_4 (1 - P_2) - P_2 P_3 P_4 (1 - P_1) - P_1 P_2 (1 - P_3) (1 - P_4) - P_2 P_3 (1 - P_1) (1 - P_4) - P_3 P_4 (1 - P_1) (1 - P_2) - P_1 P_4 (1 - P_2) (1 - P_3) - P_1 (1 - P_2) (1 - P_3) (1 - P_4) - P_2 (1 - P_1) (1 - P_3) (1 - P_4) - P_3 (1 - P_1) (1 - P_2) (1 - P_4) - P_4 (1 - P_1) (1 - P_2) (1 - P_3) = 0,92$$

Ушбу миқдор асосида хулоса қилиш мумкинки, ҚТЭМли ЭТТ реактив қувват манбаларининг кўп фазали бирламчяим тоқларини иккиламчи кучланишга ўзгартириш электромагнит датчигининг иш қобилияти эҳтимоллиги  $P = 0,92$  ни ташкил қилади.

Диссертациянинг «**Кўп фазали бирламчи тоқларни иккиламчи кучланишга ўзгартириш датчигининг амалий тадқиқлари**» деб номланган тўртинчи бобида реактив қувват манбалари кўп фазали бирламчи тоқларининг датчикларини тузилиш тамойилини, кучланиш кўринишидаги чиқиш сигнал катталиқ ва параметрларини Cloud computing асосида реактив қувват самарадорлиги кўрсаткичлари асосида самарадорлигини тадқиқ этиш натижалари келтирилган.

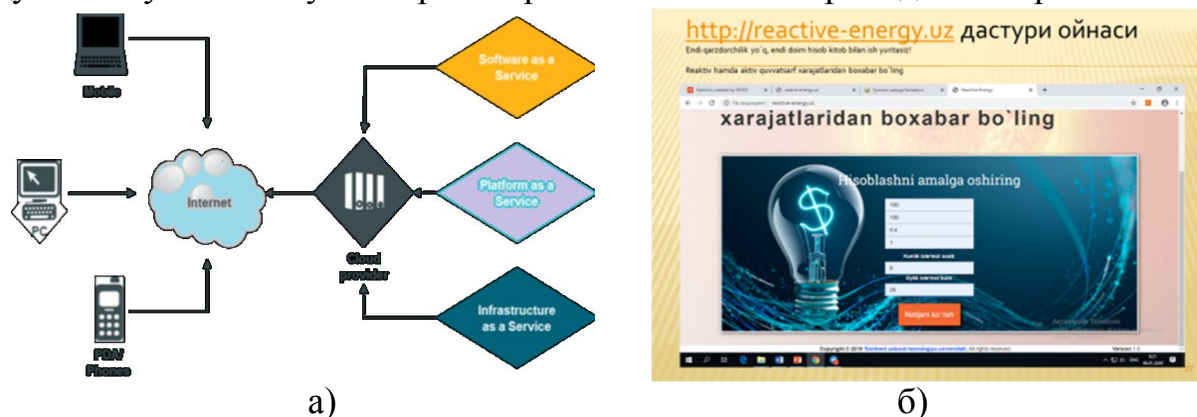
ҚТЭМли ЭТТларининг реактив қуввати кўп фазали бирламчи тоқлари назорат ва бошқаруви датчигининг тадқиқотлари учун Интернет орқали

тақдим этилаётган Cloud computing хизматларининг умумий кўриниши 7- расмда келтирилган.

Тадқиқотларда Cloud computingни қуйидаги сервис моделлари ва асосий етказиб берувчи провайдерларидан фойдаланилди:

- Software as a servise (SaaC) – хизмат сифатидаги дастурий таъминот.
- Platform as a servise (PaaC) – хизмат сифатидаги платформа.
- Infrastrucche as a servise (IaaC) – хизмат сифатида инфраструктура.

ҚТЭМли ЭТТларининг реактив қуввати кўп фазали бирламчи тоқлари назорат ва бошқаруви датчигининг тадқиқотлар учун Интернет орқали тақдим этилаётган Cloud Computing модели, тадқиқот алгоритми ва дастурий таъминоти ҳисоблаш хизматларининг умумий кўриниши 7.а расмда ва ушбу технология асосида яратилган дастурий таъминотни ҚТЭМли ЭТТда реактив қувват манбаларини бошқарилувчи қувватларини самарадорлигини текшириш ва жорий этиш харажатларини қоплаш муддатини камайтиришда қўлланилувчи маълумотларни киритиш ойнаси 7.б расмда келтирилган.



7-расм. Cloud Computing модели, тадқиқот алгоритми ва дастурий таъминоти технологияси ҳисоблаш хизматларининг умумий кўриниши (а) ва яратилган дастурий таъминотни ЭТТда реактив қувват манбаларини бошқарилувчи қувватларини ҳисоблаш тадқиқоти ойналари (б).



8-расм. Cloud Computing модели, тадқиқот алгоритми ва дастурий таъминоти технологиясига асосида олинган ЭТТ реактив қувват манбаларининг самарадорлигини тадқиқоти натижаси ойнаси.

Тадқиқотлар олиб борилган Cloud Computing модели, тадқиқот алгоритми ва дастурий таъминоти технологиясига асосида олинган ЭТТ реактив қувват манбаларининг самарадорлигини баҳолашнинг тадқиқотини Интернет сайтга кириш манзили [www.reactive-energy.uz](http://www.reactive-energy.uz) бўлиб, у ёрдамида

реактив қувват манбаларини самарадорлиги тўғрисида 8-расмда келтирилган натижа - ойна кўринишида маълумот тақдим этилади.

“Электр таъминоти тизимида реактив қувват манбаларини жорий этиш харажатларини қоплаш муддатини ҳисоблашнинг алгоритми ва дастурий таъминоти” номи билан ЎзР Интеллектуал мулк агентлигида рўйхатдан ўтган Cloud Computing модели, тадқиқот алгоритми ва дастурий таъминот ҚТЭМли ЭТТда реактив қувват манбаларини бошқарилувчи қувватларини танлаш, жорий этиш харажатларини қоплаш муддатини камайтириш ва реактив қувват бўйича электр энергия истеъмолини самардорлигини ҳисоблаш имкониятини ўз ичига олган ҳолда тадқиқотлар олиб боришни таъминлаш учун мўлжалланган бўлиб, унинг функционал имкониятлари қуйидагилар билан изоҳланади:

-ҚТЭМли ЭТТда бошқарилувчи реактив қувват манбаларини миқдорини аниқлаш ва жорий этиш харажатларини қоплаш муддатини камайтиришни эътиборга олиш, реактив қувват манбалари ўрнатилмаган ҳолатларда трансформатор ва кабелдаги қўшимча исрофларни аниқлаш, бир йиллик электр энергия иқтисодини ҳисоблаш ва бошқарув тадқиқотлари жараёнида ўзгартирилувчи реактив қувват миқдорларини аниқлаш;

-ҚТЭМли ЭТТда реактив қувват манбаларини жорий этиш самардорлигини таъминлашда реактив қувват катталиқ ва параметрларни комплекс назорат ва бошқарувини ҳисобга олган асосда амалга ошириш.

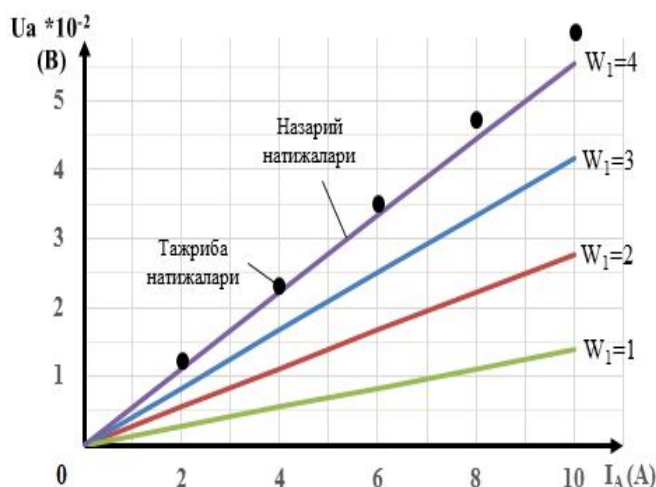
ҚТЭМли ЭТТ манбаларининг ташқи (а), тажриба қурилмасининг (б) ва датчикнинг тажриба моделининг (в) кўринишлари и 9-расмда келтирилган.



9-расм. ҚТЭМли ЭТТ манбаларининг ташқи (а), тажриба қурилмасининг (б) ва датчикнинг тажриба моделининг (в) кўринишлари

Датчикнинг чиқиш кучланишининг сезиш бўлагини ўрамлар сони  $w_2 = 20$  ўрам бўлганда, бирламчи ўрамлар ва бирламчи тоқларнинг турли

қийматларига боғлиқлигининг назарий ва амалий олинган тавсифлари 10-расмда келтирилган.



10-расм. Датчикнинг чиқиш кучланишининг сезиш бўлагини ўрамлар сони  $w_2 = 20$  ўрам бўлганда, бирламчи ўрамлар ва бирламчи тоқларнинг турли қийматларига боғлиқлигининг назарий ва амалий олинган тавсифлари.

Реактив қувватни етказиб бериш ва истеъмол қилишни тартибга солиш ҚТЭМли ЭТТнинг бошқариладиган кўп фазали ўзгарувчан реактив тоқларига мувофиқ сигнални коммутация қурилмалари – магнит ишга туширгичлар ва тиристорларга етказиб бериладиган таъсирини амалга ошириш кўп фазали бирламчи тоқларни иккиламчи кучланишга ўзгарткич - датчикни қўллаган асосдагина назорат ва бошқариш тавсифининг чизиқлилиги, сигнал ўзгартиришнинг юқори аниқлилиги ва қурилманинг юқори ишончилиги каби техник ва иқтисодий кўрсаткичлари таъминланади.

ҚТЭМли ЭТТ да ишлаб чиқиладиган ва истеъмол қилинадиган реактив қувват манбаларининг кўп фазали бирламчи тоқларни улар томонидан ҳосил қилинадиган магнит оқимларнинг бир вақтнинг ўзида ўзаро таъсирлашувини ҳисобга олган ҳолда назорат ва бошқариш электр энергия катталикларини сифатли ва узлуксиз бўлишини таъминлайди.

## ХУЛОСА

«Қайта тикланувчан энергия манбали электр таъминоти тизимлари реактив қуввати бошқарувининг кўп фазали тоқлари датчикларининг моделлари ва тузилиш тамойиллари» мавзусидаги фалсафа доктори (PhD) диссертацияси бўйича олиб борилган тадқиқотлар натижасида қуйидаги хулосалар тақдим этилади:

1. ҚТЭМли ЭТТда электр энергиясининг реактив қувватини ишлаб чиқариш, узатиш ва истеъмол қилиш жараёни назорат ва бошқарувининг кўп фазали бирламчи тоқларини иккиламчи кучланиш кўринишидаги сигналга ўзгартириш датчигининг тузилиш тамойили яратилди ва бу тамойил датчикларнинг тузилишини такомиллаштириш имконини берди.

2. Реактив қувват манбалари кўп фазали бирламчи тоқларини иккиламчи кучланишга ўзгартириш датчигини магнит юритувчи кучлари ва магнит оқимларининг тарқалиш қонуниятларини тадқиқ этишнинг йиғилган ва

тарқалган параметрли граф моделлари ҳамда ўзгартириш бўлаклари тадқиқотининг математик модели ишлаб чиқилди ва бу тадқиқотларнинг аниқлигини таъминлади.

3. Реактив қувват манбалари ҳосил қилаётган кўп фазали бирламчи тоқларни иккиламчи кучланишга ўзгартириш датчигини тарқалган параметрли граф модели яратилди, модел асосида шакллантирилган аналитик ифоданинг датчикни реал чизиқли чиқиш тавсифларига адекватлиги исботланди ва бу асос датчик ўзгартириш аниқлигини йиғилган параметрли моделга нисбатан 1,8 % га ошириш имконини берди.

4. Кўп фазали бирламчи тоқлар датчиги статик тавсифини чизиқлилиқ мезони бўйича тадқиқ этилиб, датчикнинг сезиш элементининг иккиламчи ўрамлар сони  $w_2=20$  бўлганида бирламчи ўрамлар сонининг чиқиш тоқларидаги турли қийматларида чиқиш кучланишининг ўзгаришларини тажриба ва назарий тадқиқотлар натижалари орасидаги фарқ 3-4 % ни ташкил этиши асосланди.

5. ҚТЭМли ЭТТ реактив қувват манбаларининг кўп фазали бирламчи тоқларини иккиламчи кучланишга ўзгартириш электромагнит датчигида содир бўлаётган динамик ўзгаришларни кириш тоқлари, магнит оқимлари ва чиқиш кучланишларининг катталиқларига боғлиқ ҳолда ўзгартирилиши тадқиқида юқламаларнинг инерционлиги  $t = 0,02$  сония бўлганда датчик электр тармоғига уланганда 0,008 - 0,012 сония вақт оралиғида,  $t = 0,04$  сония бўлганда 0,015 - 0,025 сония вақт оралиғида ўзининг турғун ҳолатига эришиши кузатилди, ушбу кўрсаткичлар билан датчик юқори тезликда иккиламчи сигнал ҳосил қилиш имконига эга эканлиги исботланди.

6. Реактив қувват манбаларининг кўп фазали бирламчи тоқларини иккиламчи кучланишга ўзгартириш электромагнит датчигининг энтропия хатолиги  $\Delta = 0,41$  яъни  $\pm 0,41$  % бўлиши аниқланди, ушбу асосда датчик аниқлигининг меъёрлаштириладиган қийматини стандартда кўзда тутилган меъёрланган аниқлик синфи 0,5 дан кичик бўлиши таъминланди.

7. ҚТЭМли ЭТТ реактив қувват манбаларининг кўп фазали бирламчи тоқларини иккиламчи кучланишга ўзгартириш электромагнит датчигининг элементларнинг барча мумкин бўлган иш ҳолатларининг эҳтимоллиқлари йиғиндиси асосида датчик элементларининг ишлаш эҳтимоллиги аниқланди ва тўрт элементли датчикнинг иш ҳолати қобилияти эҳтимоллиги  $P = 0,92$  ни ташкил этиши исботланди.

8. ҚТЭМли ЭТТда реактив қувват истеъмоли кўрсаткичларини тадқиқ этиш ва баҳолашнинг Cloud Computing модели, тадқиқот алгоритми ишлаб чиқилди ва улар асосида ишлаб чиқилган [www.reactive-energy.uz](http://www.reactive-energy.uz) Интернет сайт асосидаги дастурий таъминотини амалиётга қўллаш реактив қувват манбаларини уланиш схемаларини танлаш, назорат қилиш, бошқариш ҳамда электр энергия реактив қувватидан самарадор фойдаланишни кўрсаткичларини тезкор баҳолаш имконини берди.

**НАУЧНЫЙ СОВЕТ DSc.03/30.12.2019.Т.03.02 ПО ПРИСУЖДЕНИЮ  
УЧЕНЫХ СТЕПЕНЕЙ ПРИ ТАШКЕНТСКОМ ГОСУДАРСТВЕННОМ  
ТЕХНИЧЕСКОМ УНИВЕРСИТЕТЕ**

---

**ТАШКЕНТСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ ИНФОРМАЦИОННЫХ  
ТЕХНОЛОГИЙ**

**АБУБАКИРОВ АЗИЗЖАН БАЗАРБАЕВИЧ**

**МОДЕЛИ И ПРИНЦИПЫ ПОСТРОЕНИЯ ДАТЧИКОВ УПРАВЛЕНИЯ  
МНОГОФАЗНЫХ ТОКОВ РЕАКТИВНОЙ МОЩНОСТИ СИСТЕМЫ  
ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ С ВОЗОБНОВЛЯЕМЫМИ ИСТОЧНИКАМИ  
ЭНЕРГИИ**

05.01.06 - «Элементы и устройства вычислительной техники и систем  
управления»

**АВТОРЕФЕРАТ ДИССЕРТАЦИИ ДОКТОРА ФИЛОСОФИИ (PhD) ПО  
ТЕХНИЧЕСКИМ НАУКАМ**

Ташкент – 2020

Тема диссертации доктора философии (PhD) зарегистрирована в Высшей аттестационной комиссии при Кабинете Министров Республики Узбекистан за В2020.1.PhD/T758.

Диссертация выполнена в Ташкентском университете информационных технологий.

Автореферат диссертации на трёх языках (узбекский, русский, английский (резюме)) размещен на веб-странице по адресу ([www.tdtu.uz](http://www.tdtu.uz)) и на Информационно-образовательном портале «ZiyoNet» по адресу ([www.ziynet.uz](http://www.ziynet.uz)).

**Научный руководитель:**

**Сиддиков Илхомжон Хакимович**  
доктор технических наук, профессор

**Официальные оппоненты:**

**Абдукаюмов Абдурашид**  
доктор технических наук, профессор

**Алиев Равшан Маратович**  
доктор технических наук, доцент

**Ведущая организация:**

**Бухарский институт инженерно-технология**

Защита диссертации состоится «12» 06 2020 года в 16<sup>00</sup> часов на заседании Научного совета DSc.03/30.12.2019.T.03.02 при Ташкентском государственном техническом университете (по адресу: 100095, г.Ташкент, ул. Университетская, 2. Тел: (99871) 246-46-00; факс: (99871) 227-10-32; e-mail: [tstu\\_info@tdtu.uz](mailto:tstu_info@tdtu.uz)).

С диссертацией можно ознакомиться в Информационно-ресурсном центре Ташкентского государственного технического университета (регистрационный номер № 149). Адрес: 100095, г. Ташкент, ул. Университетская, 2. Тел.: 246-03-41.

Автореферат диссертации разослан «06» 06 2020 года.  
(реестр протокола рассылки № 5 от «06» 03 2020 года).



**Н.Р. Юсупбеков**

Председатель научного совета по  
присуждению учёных степеней,  
д.т.н., профессор, академик

**У.Ф.Мамиров**

Ученый секретарь научного совета по  
присуждению учёных степеней,  
доктора философии (PhD) по техническим наукам

**Х.З.Игамбердиев**

Председатель научного семинара при  
научном совете по присуждению учёных  
степеней, д.т.н., профессор, академик

## **ВВЕДЕНИЕ (аннотация диссертации доктора философии (PhD))**

**Актуальность и востребованность темы диссертации.** В мире большое внимание уделяется совершенствованию контролирующих и управляющих элементов, устройств определяющие строго установленные режимы работ первичных источников энергии систем электроснабжения, которые обеспечивают фиксированные значения и параметры в различных системах преобразования энергии. Для контроля и управления систем электроснабжения с возобновляемыми источниками энергии в развитых странах разработка моделей первичных датчиков тока величин и параметров реактивной мощности электрической энергии считается актуальной, а разработка, исследование и внедрение принципов их построения имеют важное значение в этом направлении.

В мире проводится ряд исследований и научно-исследовательских работ по широкому применению в системах электроснабжения с возобновляемыми источниками энергии, производство, контроль и управление реактивной мощностью и энергией, необходимой для этих источников, в то же время повышая качество электроэнергии и совершенствуя средства и устройства обеспечения бесперебойной работы системы электроснабжения. В связи с этим необходимым является разработка моделей, алгоритмов и программных решений элементов и устройств, обеспечивающих надежные режимы работы систем электроснабжения, количества и качества вырабатываемой электроэнергии, а также контроля и управления первичными токами источников реактивной мощности.

В республике предпринимаются широкомасштабные меры по дальнейшему совершенствованию энергетического сектора, широкому использованию возобновляемых источников энергии в системах электроснабжения, а также созданию и эксплуатации элементов и устройств для контроля и управления показателями качества энергии. Стратегия действий по дальнейшему развитию Республики Узбекистан на 2017-2021 годы включает в себя следующие задачи: «... сокращение потребления энергии и ресурсов в экономике, социальной сфере, экономике ... широкое внедрение энергосберегающих технологий в производство»<sup>1</sup>. При выполнении этих задач, в том числе, требуется обеспечить точность, быстроедействие, надежность контроля и управления реактивной мощности на основе систем электроснабжения с возобновляемыми источниками энергии. В то же время разработка принципов, алгоритмов, программного обеспечения и средств для работы первичных датчиков, обеспечивающие управляющую и контролируемую информацию, является одним из важных вопросов.

Данное диссертационное исследование является практическим

---

<sup>1</sup>Указ Президента Республики Узбекистан «О стратегии действий по дальнейшему развитию Республики Узбекистан» УП-4947 от 7 февраля 2017 года.

инструментом для реализации Закона Республики Узбекистан от 21 мая 2019 года № ЗРЎ-539 «Об использовании возобновляемых источников энергии» и Постановления Президента Республики Узбекистан от 26 мая 2017 года № ПП-3012 «О программе мер по дальнейшему развитию возобновляемой энергетики в 2017-2021 годах и повышению энергоэффективности в экономических отраслях и социальной сфере», № ПП-4422 от 22 августа 2019 года «О мерах по повышению энергоэффективности экономических отраслей и социальной сферы, внедрению энергосберегающих технологий и развитию источников возобновляемой энергии».

**Соответствие исследования приоритетным направлениям развития науки и техники в республике.** Данное исследование выполнено в соответствии с приоритетными направлениями развития науки и технологий республики II. «Энергетика, энерго- и ресурсосбережение» и IV. «Информатизация и развитие информационно-коммуникационных технологий».

**Степень изученности проблемы.** В настоящее время проводятся обширные научные исследования в изучении процессов преобразования многофазных первичных токов во вторичное напряжение источников реактивных мощностей электрических систем, энергообеспечение возобновляемыми источниками электроэнергии, разработке принципов их проектирования и применения, а также поиску эффективных, качественных и надежных способов решений проблем энергоснабжения на основе первичных датчиков, применяемых в контроле и управлении качеством электроэнергии.

Исследования рассматриваемой проблемы осуществляли М.Ф.Зарипов, Н.Schaumburg, Л.Ф.Куликовский, Н.Е.Конюхов, Е.С.Левщина, В.П.Милов-зоров, П.В.Новицкий, Л.А.Островский, Е.П.Осадчий, И.Ю.Петрова, А.А.Преображенский, М.А.Ураксеев и другие известные зарубежные ученые. Также известные ученые нашей республики такие как А.А.Абдукаюмов, Р.К.Азимов, К.Р.Аллаев, С.Ф.Амиров, Х.З.Игамбердиев, П.Р.Исматуллаев, И.Х.Сиддиков, А.А.Халиков, Ю.Г.Шипулин, Н.Р.Юсупбеков и другие посвятили свои исследования настоящему вопросу.

Анализ показал, что проблемы комплексного применения современной техники и технологий, моделирования, алгоритмизации и исследования устройств и датчиков многофазных первичных токов во вторичное напряжение контроля и управления источников реактивной мощности, первичных токов систем электроснабжения с возобновляемыми источниками энергии на вторичное напряжение, не изучены в достаточной степени. В то же время вопросы идентификации возобновляемых источников энергии, структурных и параметрических исследований устройств контроля и управления, разработки и внедрения современных принципов контроля и управления датчиками реактивной мощности и устройствами для определения качества электроэнергии также не достаточно изучены.

**Связь диссертационного исследования с планами научно-**

**исследовательской деятельности высшего учебного учреждения, где выполнена диссертация.** Диссертационное исследование выполнено в рамках проектов, включенных в план научно-исследовательских работ Ташкентского университета информационных технологий имени Мухаммеда аль-Хорезми на тему 574049-ЕРР-1-2016-1-IT-ЕРРКА2-СВНЕ-JP (2016-2019 гг.), также реализован Контракт № 7/18 в рамках проекта «Разработка и внедрение системы управления электроснабжением для независимого энергетического сектора» (2018-2019 гг.).

**Цель исследования.** Разработка и исследование модели и принципа построения датчика многофазных первичных токов во вторичное напряжение контроля и управления реактивной мощности систем электроснабжения с возобновляемыми источниками энергии.

**Задачи исследования:**

анализ и контроль устройств управления реактивной мощности систем электроснабжения с возобновляемыми источниками энергии, сформировать основные требования к ним;

сравнительное изучение принципов и физико-технических эффектов конструкции датчиков преобразования первичных токов реактивной мощности электроэнергии;

выбор и обоснование типа датчика для контроля и управления многофазными первичными токами источников реактивной мощности;

разработка модели датчика с сигналом в виде вторичного напряжения на выходе, основанную на взаимодействии магнитных потоков, генерируемых многофазными первичными токами;

разработка алгоритмов для структурных и параметрических исследований датчиков контроля и управления многофазными первичными токами;

разработка модели и алгоритма программного обеспечения для исследования показателей надежности и работоспособного состояния датчика тока контроля и управления;

исследование основных характеристик датчиков контроля и управления многофазных первичных токов источников реактивной мощности на основе моделей с сосредоточенными и распределенными параметрами.

**Объектом исследования** является модель и датчик управления и контроля, преобразующий первичные многофазные токи реактивной мощности систем электроснабжения с возобновляемыми источниками энергии во вторичные напряжения.

**Предметом исследования** является процесс преобразования многофазных первичных токов реактивных мощностей систем электроснабжения с возобновляемыми источниками энергии на сигнал в виде вторичного выходного напряжения.

**Методы исследования.** В процессе исследований использовались методы, используемые для расчета и исследования величин и параметров электрических и магнитных цепей с сосредоточенными и распределенными параметрами, цифровой обработки данных, теории моделирования, графов генерации и передачи сигналов.

**Научная новизна исследования** заключается в следующем:

созданы модели датчика с сосредоточенными и распределенными параметрами многофазных первичных токов во вторичное напряжение реактивной мощности системы электроснабжения с возобновляемыми источниками энергии;

разработан принцип построения магнитопровода датчика многофазных первичных токов во вторичное напряжение с взаимовлияющими магнитными потоками;

созданы модели физико-технических эффектов, показателей надежности и работоспособного состояния датчика многофазных первичных токов во вторичное напряжение;

разработаны Cloud Computing модель, алгоритм исследования и оценки эффективности реактивной мощности в системах электроснабжения.

**Практические результаты исследования** заключаются в следующем:

разработаны модели конструкции электромагнитного преобразования многофазных первичных токов на вторичное напряжение источников реактивной мощности систем электроснабжения с возобновляемыми источниками энергии и определена область применения датчика;

разработано программное обеспечение на основе Cloud Computing контроля и управления эффективностью реактивной мощности, отвечающей требованиям систем электроснабжения с возобновляемыми источниками энергии.

**Достоверность результатов исследования** обосновывается на сравнении полученных теоретических и практических результатов исследования модели датчика многофазных первичных токов на вторичное напряжения с сосредоточенными и распределенными параметрами источников реактивных мощностей и соответствием общепринятыми критериям статических и динамических характеристик.

**Научная и практическая значимость исследования.**

Научная значимость результатов исследования обусловлена в разработке принципа контроля и управления производства реактивной мощности систем электроснабжения с возобновляемой энергией, основанной на спросе потребителей, создание графических и аналитических моделей исследования, алгоритмов процессов контроля и управления и нормализацией, линейности и допустимой точностью выходного сигнала датчика источников многофазных первичных токов реактивных мощность на вторичное напряжение.

Практическая значимость результатов исследования обусловлена увеличением возможности контроля и управления источников реактивной мощности в системе электроснабжения на основе датчика многофазных первичных токов на вторичное напряжение, повышением энергоэффективности, обеспечение нормированного выходного сигнала, а также разработкой и внедрением физической модели датчика.

**Внедрение результатов исследования.** На основании результатов

исследований, полученных по модели и принципу построения датчика контроля и управления многофазных первичных токов реактивной мощности системы электроснабжения с возобновляемыми источниками энергии были достигнуты:

сосредоточенные и распределенные параметрические модели датчиков первичных токов во вторичное напряжение реактивных мощности систем электроснабжения с возобновляемыми источниками энергии внедрены на АО «Каракалпакская предприятия территориальные электрические сети» (справка Министерства Энергетики от 20 декабря 2019 года №05-10-4723). В результате источники реактивных мощностей системы электроснабжения – блоки реактивной мощности косинусных конденсаторов с вторичным выходным напряжением позволили генерировать мощности, зависящие от напряжения, которые определяют эффективность систем электроснабжения;

принцип построения магнитопровода датчика многофазных первичных токов во вторичное напряжение с взаимовлияющими магнитными потоками и модели физико-технических эффектов, показателей надежности и работоспособного состояния датчиков, внедрены на предприятии АО «Тахиаташская ТЭС» (справка Министерства Энергетики от 20 декабря 2019 года №05-10-4723). В результате стало возможным регулировать мощность источников реактивной мощности, уменьшать потери мощности и генерировать энергоэффективную реактивную мощность, а также обеспечивать энергоэффективность на допустимом уровне;

модель и алгоритм исследования Cloud Computing оценки эффективности реактивной мощности в системах электроснабжения были внедрены на предприятии АО «Тахиаташская ТЭС» и АО «Каракалпакское предприятие территориальные электрические сети» (справка Министерства Энергетики от 20 декабря 2019 года №05-10-4723). В результате исследования, разработанная модель позволила получать информацию о реактивной мощности, энергии и энергоэффективности потребителей в режиме реального времени, повысить точность датчика контроля и управления многофазных токов реактивной мощности на 1,8%.

**Апробация результатов исследования.** Результаты данного исследования прошли апробацию на 7 научно-практических конференциях и семинарах, в том числе на 3-и международных и 4-и республиканских конференциях.

**Опубликованность результатов исследования.** По теме диссертации опубликовано всего 14 научных работ. Из них 4 научных статей, в том числе 2-в зарубежных журналах, рекомендованных Высшей аттестационной комиссией для публикации основных научных результатов докторских диссертаций, вместе с тем имеется 3 Свидетельств на программу ЭВМ.

**Структура и объем диссертации.** Структура диссертации состоит из введения, четырёх глав, заключения, списка использованной литературы и приложений. Объем диссертации составляет 117 страниц, 40 рисунков и 4 таблицы.

## ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ ДИССЕРТАЦИИ

Во **введении** изложены актуальность и востребованность исследования, цели и задачи исследования, объекты и темы, демонстрируется актуальность развития науки и техники в стране, научная новизна и практические результаты исследования, раскрыта научная и практическая значимость полученных результатов, приведены сведения об опубликованных работах и структуре диссертации.

Первая глава диссертации **«Анализ устройств и методов управления реактивной мощностью в системах электроснабжения с возобновляемой энергией»** раскрывает цели и задачи диссертации, принципы производства и контроля активной и реактивной мощности, энергии в системах энергоснабжения с возобновляемыми источниками энергии, принцип преобразования многофазных первичных токов во вторичное напряжение, представлены датчики сигналов для управления и контроля, основы построения датчиков преобразования многофазного первичного тока во вторичное напряжение.

Датчики контроля и управления являются важным инструментом, который позволяет синхронизировать по напряжению и мощности на основе производства достаточной реактивной мощности, что позволяет непрерывно передавать электроэнергию в электрическую сеть СЭС с ВИЭ.

В настоящее время новые типы ВИЭ широко используются в СЭС, при этом большое внимание уделяется процессам производства и преобразования реактивной части электроэнергии, первичные датчики современной смены электроэнергии, вырабатываемой источниками реактивной мощности и энергии, важность быстрого и качественного контроля и управления с помощью средств и устройств. Анализ показал, что СЭС с ВИЭ включают первичные датчики и устройства, которые обеспечивают высококачественные и надежные сигналы контроля и управления.

Датчики систем управления и контроля сигнализации, измерительные приборы и устройства контролируют непрерывность, надежность, расход материалов и другие технико-экономические показатели источников электроснабжения. На основе анализа литературы и обобщения материалов и анализа изучения рассматриваемых проблем были определены основные цели и задачи диссертационного исследования.

Схема соединения источников и потребителей систем электроснабжения (СЭС) возобновляемых источников энергии (ВИЭ) с возможностью оценки энергоэффективности по модели Cloud Computing, установка и подключение датчиков многофазных первичных токов реактивной мощности представлена на рис.1.

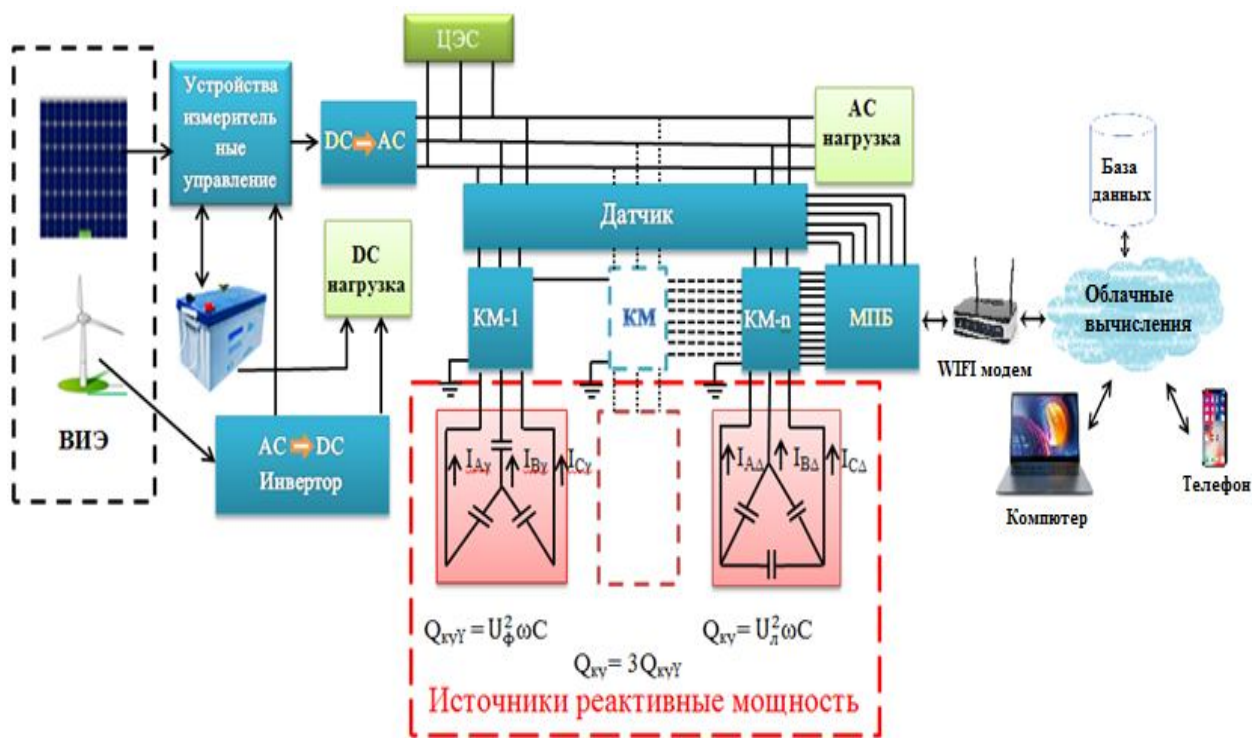


Рис.1. Схема соединения источников и потребителей СЭС с ВИЭ возможностью оценки энергоэффективности по модели Cloud Computing, установка и подключение датчиков многофазных первичных токов реактивной мощности.

Вторая глава диссертации «**Моделирование процесса и переключение многофазных первичных токов реактивного источника мощности с возобновляемыми источниками энергии на вторичное напряжение**» раскрывают принципы преобразования первичных многофазных токов во вторичное напряжение источников реактивных мощностей, модели и алгоритмы исследования процесса преобразования первичных токов, а также модели физико-технических эффектов принципов преобразования первичных токов в сигнал в виде вторичного напряжения.

В СЭС с ВИЭ высокоформализованный процесс моделирования и исследования структуры датчика, участвующего в процессе генерации и преобразования многофазных токов реактивной мощности и энергии во вторичное выходное напряжение (20 В) и ток (0,1 А) в номинальных значениях графовой модели, работающие от источников реактивной мощности  $I_{Ay}, I_{By}, I_{Cy}, I_{Ad}, I_{Bd}, I_{Cd}$  в процессе преобразования первичных токов во вторичные напряжения  $U_{Эч}$  и модель преобразования магнитных величин  $\Phi_{\mu}$  - магнитных потоков, пересекающие чувствительные элементы датчика, представлена на рис.2.

В магнитном сердечнике датчика первичных токов на вторичного напряжения м.д.с. -  $F_{\mu}$ , и магнитные потоки -  $\Phi_{\mu}$  на основе взаимовлияния магнитных потоков, созданные многофазными токами источников реактивной мощности, определяются следующим образом:

$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{F_{\mu 11}-F_{\mu 12}}{\Pi_{\mu 11}} + \frac{F_{\mu 11}-F_{\mu 21}}{\Pi_{\mu 11}} = K_{I \Delta F \mu} I_{A \gamma} \\ \frac{F_{\mu 21}-F_{\mu 11}}{\Pi_{\mu 11}} + \frac{F_{\mu 21}-F_{\mu 22}}{\Pi_{\mu 21}} + \frac{F_{\mu 21}-F_{\mu 31}}{\Pi_{\mu 21}} = K_{I \Delta F \mu} I_{B \gamma} \\ \frac{F_{\mu 31}-F_{\mu 21}}{\Pi_{\mu 21}} + \frac{F_{\mu 31}-F_{\mu 32}}{\Pi_{\mu 31}} + \frac{F_{\mu 31}-F_{\mu 41}}{\Pi_{\mu 31}} = K_{I \Delta F \mu} I_{C \gamma} \\ \frac{F_{\mu 41}-F_{\mu 31}}{\Pi_{\mu 31}} + \frac{F_{\mu 41}-F_{\mu 42}}{\Pi_{\mu 41}} + \frac{F_{\mu 41}-F_{\mu 51}}{\Pi_{\mu 41}} = K_{I \Delta F \mu} I_{A \Delta} \\ \frac{F_{\mu 51}-F_{\mu 41}}{\Pi_{\mu 41}} + \frac{F_{\mu 51}-F_{\mu 52}}{\Pi_{\mu 51}} + \frac{F_{\mu 51}-F_{\mu 61}}{\Pi_{\mu 51}} = K_{I \Delta F \mu} I_{B \Delta} \\ \frac{F_{\mu 61}-F_{\mu 51}}{\Pi_{\mu 51}} + \frac{F_{\mu 61}-F_{\mu 62}}{\Pi_{\mu 61}} = K_{I \Delta F \mu} I_{C \Delta} \end{array} \right. \quad (1)$$

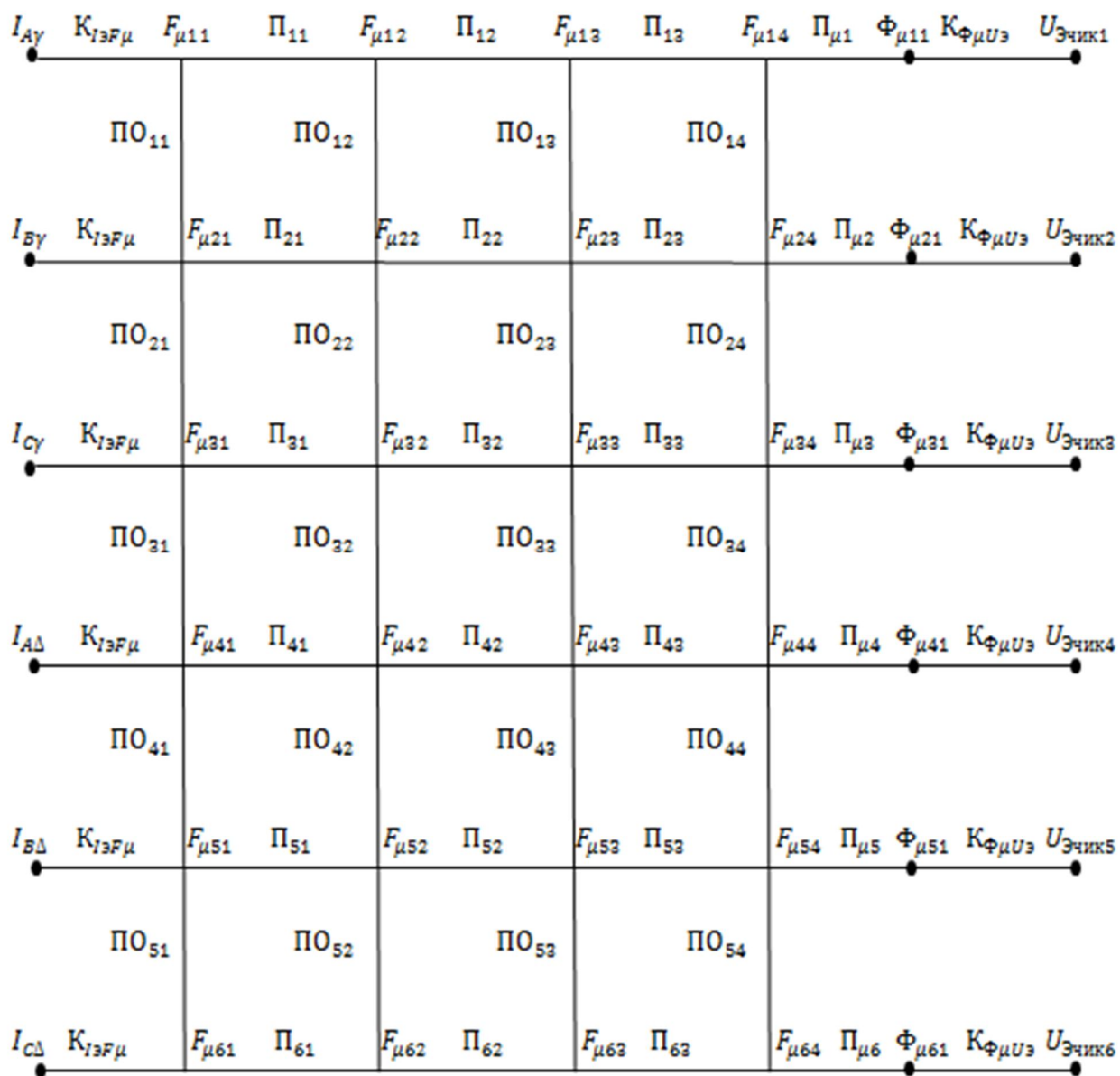


Рис.2. Процесс преобразования многофазных первичных токов во вторичное напряжение и модель структуры преобразования датчика.

Основные выводы исследований состоят в том, что характер изменения магнитных потоков нелинейно зависят от размера воздушного пространства, а вторичные выходные напряжения линейно зависят от многофазных первичных токов и определяются на основе взаимовлияющих магнитных потоках  $\Phi_{\mu}=f(I_{\varepsilon})$  от многофазных первичных токов источников реактивной мощности СЭС сч ВИЭ.

В третьей главе диссертации «**Основные характеристики датчиков преобразования многофазных токов в напряжение**» представлены результаты исследования статических, динамических и метрологических характеристик датчика преобразования многофазных первичных токов источников реактивных мощностей на вторичное напряжение, а также показатели надежности и работоспособного состояния элементов датчика.

Статистические, динамические и метрологические характеристики источников реактивной мощности СЭС сч ВИЭ на основе процессов преобразования, протекающие в структуре датчика многофазных первичных токов во вторичный сигнал в виде напряжения исследуются на основе графовой модели с распределенными параметрами (рис.2) и следующего аналитического выражения:

$$\left\{ \begin{array}{l} U_{a\gamma} = K_{\Phi\mu U_{\varepsilon}} \Pi_{\mu 1} (W(F_{\mu 11}, F_{\mu 14}) K_{I_{\varepsilon} F_{\mu}} I_{A\gamma} + W(F_{\mu 21}, F_{\mu 14}) K_{I_{\varepsilon} F_{\mu}} I_{B\gamma} + \\ \quad + W(F_{\mu 31}, F_{\mu 14}) K_{I_{\varepsilon} F_{\mu}} I_{C\gamma} + W(F_{\mu 41}, F_{\mu 14}) K_{I_{\varepsilon} F_{\mu}} I_{A\Delta} + \\ \quad + W(F_{\mu 51}, F_{\mu 14}) K_{I_{\varepsilon} F_{\mu}} I_{B\Delta} + W(F_{\mu 61}, F_{\mu 14}) K_{I_{\varepsilon} F_{\mu}} I_{C\Delta}); \\ U_{b\gamma} = K_{\Phi\mu U_{\varepsilon}} \Pi_{\mu 2} (W(F_{\mu 21}, F_{\mu 24}) K_{I_{\varepsilon} F_{\mu}} I_{B\gamma} + W(F_{\mu 11}, F_{\mu 24}) K_{I_{\varepsilon} F_{\mu}} I_{A\gamma} + \\ \quad + W(F_{\mu 31}, F_{\mu 24}) K_{I_{\varepsilon} F_{\mu}} I_{C\gamma} + W(F_{\mu 41}, F_{\mu 24}) K_{I_{\varepsilon} F_{\mu}} I_{A\Delta} + \\ \quad + W(F_{\mu 51}, F_{\mu 24}) K_{I_{\varepsilon} F_{\mu}} I_{B\Delta} + W(F_{\mu 61}, F_{\mu 24}) K_{I_{\varepsilon} F_{\mu}} I_{C\Delta}); \\ U_{c\gamma} = K_{\Phi\mu U_{\varepsilon}} \Pi_{\mu 2} (W(F_{\mu 31}, F_{\mu 34}) K_{I_{\varepsilon} F_{\mu}} I_{C\gamma} + W(F_{\mu 11}, F_{\mu 34}) K_{I_{\varepsilon} F_{\mu}} I_{A\gamma} + \\ \quad + W(F_{\mu 21}, F_{\mu 34}) K_{I_{\varepsilon} F_{\mu}} I_{B\gamma} + W(F_{\mu 41}, F_{\mu 34}) K_{I_{\varepsilon} F_{\mu}} I_{A\Delta} + \\ \quad + W(F_{\mu 51}, F_{\mu 34}) K_{I_{\varepsilon} F_{\mu}} I_{B\Delta} + W(F_{\mu 61}, F_{\mu 34}) K_{I_{\varepsilon} F_{\mu}} I_{C\Delta}); \\ U_{a\Delta} = K_{\Phi\mu U_{\varepsilon}} \Pi_{\mu 2} (W(F_{\mu 41}, F_{\mu 44}) K_{I_{\varepsilon} F_{\mu}} I_{A\Delta} + W(F_{\mu 11}, F_{\mu 44}) K_{I_{\varepsilon} F_{\mu}} I_{A\gamma} + \\ \quad + W(F_{\mu 21}, F_{\mu 44}) K_{I_{\varepsilon} F_{\mu}} I_{B\gamma} + W(F_{\mu 31}, F_{\mu 44}) K_{I_{\varepsilon} F_{\mu}} I_{C\gamma} + \\ \quad + W(F_{\mu 51}, F_{\mu 44}) K_{I_{\varepsilon} F_{\mu}} I_{B\Delta} + W(F_{\mu 61}, F_{\mu 44}) K_{I_{\varepsilon} F_{\mu}} I_{C\Delta}); \\ U_{b\Delta} = K_{\Phi\mu U_{\varepsilon}} \Pi_{\mu 5} (W(F_{\mu 51}, F_{\mu 54}) K_{I_{\varepsilon} F_{\mu}} I_{B\Delta} + W(F_{\mu 11}, F_{\mu 54}) K_{I_{\varepsilon} F_{\mu}} I_{A\gamma} + \\ \quad + W(F_{\mu 21}, F_{\mu 54}) K_{I_{\varepsilon} F_{\mu}} I_{B\gamma} + W(F_{\mu 31}, F_{\mu 54}) K_{I_{\varepsilon} F_{\mu}} I_{C\gamma} + \\ \quad + W(F_{\mu 41}, F_{\mu 54}) K_{I_{\varepsilon} F_{\mu}} I_{A\Delta} + W(F_{\mu 61}, F_{\mu 54}) K_{I_{\varepsilon} F_{\mu}} I_{C\Delta}); \\ U_{c\Delta} = K_{\Phi\mu U_{\varepsilon}} \Pi_{\mu 5} (W(F_{\mu 61}, F_{\mu 64}) K_{I_{\varepsilon} F_{\mu}} I_{C\Delta} + W(F_{\mu 11}, F_{\mu 64}) K_{I_{\varepsilon} F_{\mu}} I_{A\gamma} + \\ \quad + W(F_{\mu 21}, F_{\mu 64}) K_{I_{\varepsilon} F_{\mu}} I_{B\gamma} + W(F_{\mu 31}, F_{\mu 64}) K_{I_{\varepsilon} F_{\mu}} I_{C\gamma} + \\ \quad + W(F_{\mu 41}, F_{\mu 64}) K_{I_{\varepsilon} F_{\mu}} I_{A\Delta} + W(F_{\mu 51}, F_{\mu 64}) K_{I_{\varepsilon} F_{\mu}} I_{B\Delta}); \end{array} \right. \quad (2)$$

где  $K_{\Phi\mu U_{\varepsilon}} = \omega_{2ч}$  – коэффициент межцепной связи между взаимовлияющими магнитными потокам –  $\Phi_{\mu}$  и выходным напряжением  $U_{\varepsilon\gamma}$  с вторичными

напряжениями (при номинальных значениях многофазных первичных токов вторичное напряжение принимает значение равное - 20 В, а вторичный ток - 0,1 А, тогда коэффициент межцепной связи принимает значения  $\omega_{2ч}$  от 1 до 20 витков.

Формы участков магнитного преобразования – магнитопроводов датчика многофазных первичных токов -  $I_{A\gamma}, I_{B\gamma}, I_{C\gamma}, I_{A\Delta}, I_{B\Delta}, I_{C\Delta}$  – от источника реактивной мощности СЭС с ВИЭ, показаны на рис.3.

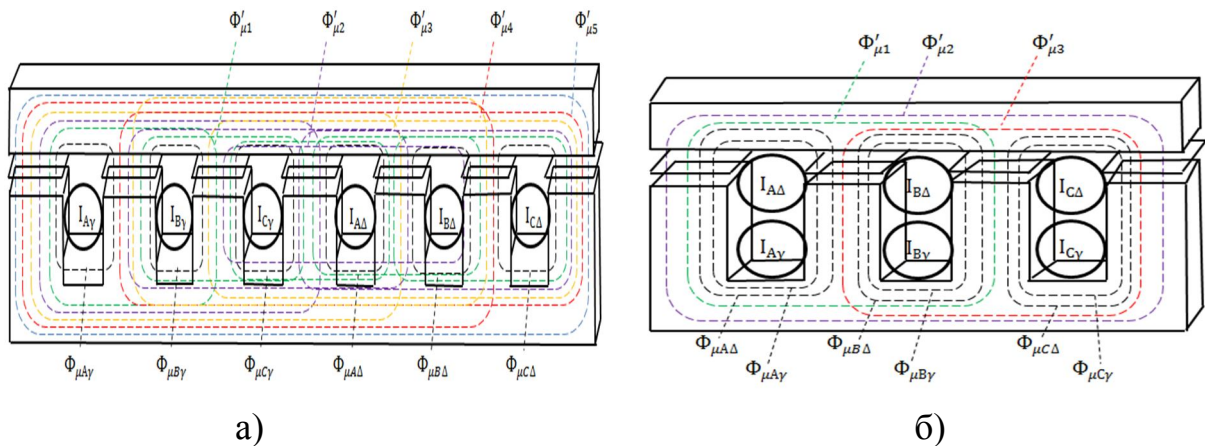


Рис.3. Формы участков магнитного преобразования – магнитопроводов датчика многофазных первичных токов:

а) форма с горизонтальными частями; б) форма с параллельными частями.

Статические характеристики сетевой зависимости СЭС с ВИЭ линии электропередачи датчика между однофазными токами и выходным напряжением датчика и влияние геометрических размеров диапазона на выходное напряжение при различных входных токах показаны на рис. 4 и 5.

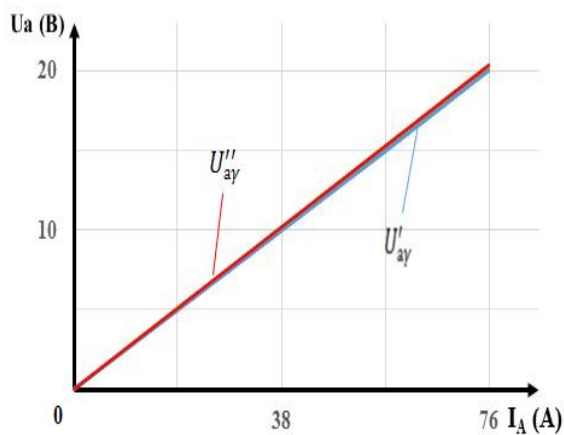


Рис.4. Статическая характеристика между первичным током и выходным напряжением (источник реактивной мощности подключен к звезде - в форме  $\gamma$ ).  $U'_{a\gamma}$  - для модели с сосредоточенными параметрами,  $U''_{a\gamma}$  - для модели с распределенными параметрами.

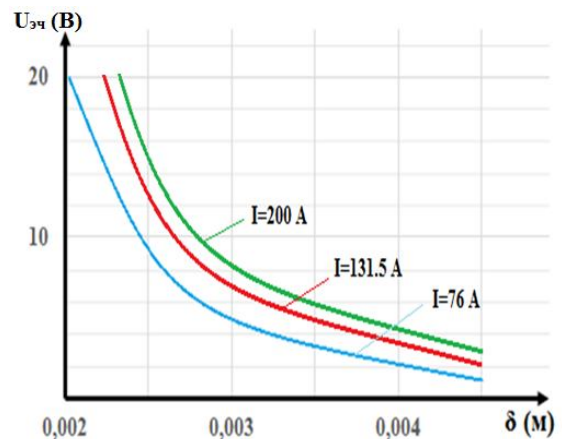


Рис.5. Схема геометрических размеров воздушного диапазона и влияние первичных токов на выходное напряжение.

Аналитические выражения модели исследования характеристик датчика многофазных токов источников реактивной мощности СЭС с ВИЭ, основанные по схемам соединения в форме звезды -  $\gamma$  и в форме треугольник -  $\Delta$  представляются следующим образом:

$$\left\{ \begin{array}{l} U_{A\gamma} = K_{\Phi\mu U_3} \Pi_{\mu 1} W(F_{\mu 11}, F_{\mu 14}) K_{I_3 F \mu} (I_{A\gamma} \sin \omega t + I_{A\mu} e^{-\frac{t}{T}}); \\ U_{B\gamma} = K_{\Phi\mu U_3} \Pi_{\mu 2} W(F_{\mu 21}, F_{\mu 24}) K_{I_3 F \mu} (I_{B\gamma} (\sin \omega t + 120^\circ) + I_{B\mu} e^{-\frac{t}{T}}); \\ U_{C\gamma} = K_{\Phi\mu U_3} \Pi_{\mu 3} W(F_{\mu 31}, F_{\mu 34}) K_{I_3 F \mu} (I_{C\gamma} (\sin \omega t - 120^\circ) + I_{C\mu} e^{-\frac{t}{T}}); \\ U_{A\Delta} = K_{\Phi\mu U_3} \Pi_{\mu 4} W(F_{\mu 41}, F_{\mu 44}) K_{I_3 F \mu} (I_{A\Delta} \sin(\omega t) + I_{A\mu} e^{-\frac{t}{T}}); \\ U_{B\Delta} = K_{\Phi\mu U_3} \Pi_{\mu 5} W(F_{\mu 51}, F_{\mu 54}) K_{I_3 F \mu} (I_{B\Delta} (\sin \omega t + 120^\circ) + I_{B\mu} e^{-\frac{t}{T}}); \\ U_{C\Delta} = K_{\Phi\mu U_3} \Pi_{\mu 6} W(F_{\mu 61}, F_{\mu 64}) K_{I_3 F \mu} (I_{C\Delta} (\sin \omega t - 120^\circ) + I_{C\mu} e^{-\frac{t}{T}}). \end{array} \right. \quad (3)$$

Графические представления результатов исследования динамических характеристик основано на аналитические выражения (3) и для датчика многофазных первичных токов с выходными напряжениями (с инерционности параметров электрических сетей СЭС с ВИЭ равной  $T = 0,04$ ) представлены на рис.6:

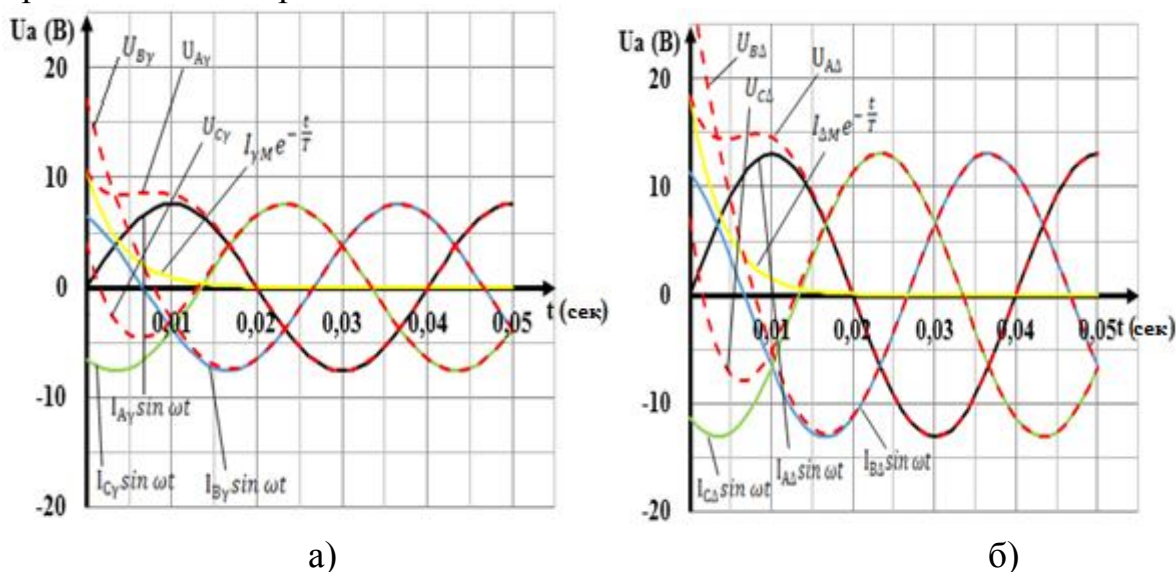


Рис.6. Динамические характеристики датчика многофазных первичных токов с выходными напряжениями (с инерционности параметров электрических сетей СЭС с ВИЭ равной  $t = 0,04$ ):

а) источник реактивной мощности подключен в форме звезда -  $Y$ ,

б) источник реактивной мощности подключен в форме треугольник -  $\Delta$ .

На основании результатов исследования динамических процессов в зависимости от изменения величин и параметров многофазных первичных токов, взаимовлияние магнитных токов и выходных напряжений, можно сделать вывод, что после того, как многофазные первичные токи источника реактивной мощности СЭС с ВИЭ подключаются к электрической сети, напряжение на выходе - выходной сигнал датчика достигается стабильного значения через 0,015 - 0,025 сек. (рис. 6).

На схемах СЭС с ВИЭ, источники реактивной мощности – косинусные конденсаторные установки соединяются по схеме “звезда – Y” и “треугольник – Δ”, при этом относительная погрешность преобразования датчика определяется на основе количества/показателей первичного тока –  $I_{Ay}$  и выходных напряжении -  $U'_{ay}, U''_{ay}$ : на основе следующие исследования

$$\Delta = \frac{I_{Ay} = 76 \text{ A}; \quad U'_{ay} = 20 \text{ В}; \quad U''_{ay} = 20,37 \text{ В};}{(U''_{ay} - U'_{ay})} * 100\% = \frac{(20,37 - 20)}{20} * 100\% = 1,8\% .$$

$$\Delta = \frac{I_{a\Delta} = 131,5; \quad U'_{a\Delta} = 20; \quad U''_{a\Delta} = 20,369;}{(U''_{a\Delta} - U'_{a\Delta})} * 100\% = \frac{(20,369 - 20)}{20} * 100\% = 1,8\% .$$

Основываясь на исследованиях погрешностей датчика, можно сделать вывод о том, что характеристики датчика при подключения источников реактивной мощности по схеме “звезда – Y” адекватны к характеристикам, полученные по схеме подключения источников реактивной мощности по схеме “треугольного - Δ”, исследования проведенные на основе модели с распределенными параметрами обеспечивают выполнение требований линейных выходных сигналов и повышение точности исследования на 1,8%.

Анализ принципа преобразования сигнала на основе исследуемого электромагнитного датчика многофазных первичных токов во вторичное напряжение позволяет оценить и исследовать показатель надежности преобразования сигнала и на этой основе составлять возможные условия, образующий суммарную надежность датчика. Вероятность замены элементов преобразования электромагнитного датчика преобразующего многофазные первичные токи СЭС с ВИЭ во вторичное напряжение (первичная обмотка, магнитный сердечник, чувствительный элемент и стержень), представляются следующим образом:

$$P_1 = 0,99; \quad P_2 = 0,99; \quad P_3 = 0,99; \quad P_4 = 0,99.$$

Суммируя вероятность всей возможной работоспособности элементов определяется общая вероятность работоспособного состояния датчика:

$$P = P_1P_2P_3P_4 - P_1P_2P_3(1-P_4) - P_1P_2P_4(1-P_3) - P_1P_3P_4(1-P_2) - P_2P_3P_4(1-P_1) - P_1P_2(1-P_3)(1-P_4) - P_2P_3(1-P_1)(1-P_4) - P_3P_4(1-P_1)(1-P_2) - P_1P_4(1-P_2)(1-P_3) - P_1(1-P_2)(1-P_3)(1-P_4) - P_2(1-P_1)(1-P_3)(1-P_4) - P_3(1-P_1)(1-P_2)(1-P_4) - P_4(1-P_1)(1-P_2)(1-P_3) = 0,92.$$

На основании этой величины можно сделать вывод, что вероятность работоспособного состояния датчика многофазных первичных токов источников реактивной мощности СЭС с ВИЭ во вторичные напряжения составляет  $P = 0,92$ .

В четвертой главе диссертации «**Практические датчики преобразующие многофазные первичные токи во вторичное напряжение**» представлены результаты исследования принципа построения датчика многофазных первичных токов реактивной мощности, значений и параметров выходного сигнала – вторичного напряжения, способствующие исследовать показатели эффективности источников реактивной мощности СЭС с ВИЭ на основе модели и алгоритма Cloud Computing.

На рис.7 показан общий обзор услуг Cloud Computing модели, предоставляемых сетью Интернет для контроля и управления многофазными первичными токами источников реактивной мощности СЭС с ВИЭ.

В исследовании использовались следующие модели и услуги Cloud Computing:

- Software as a service (SaaS) – программное обеспечение в качестве услуг.
- Platform as a service (PaaS) – платформа в качестве услуг.
- Infrastrucche as a servise (IaaS) – инфраструктура в качестве услуг.

Общий обзор модели Cloud Computing, алгоритм исследования и программных вычислительных сервисов, предоставляемых Интернетом для контроля и управления многофазными первичными токами источников реактивных мощностей СЭС с ВИЭ, показан на рис.7.а., окно ввода данных, используемое для снижения стоимости управления на основе введения выходной реактивной мощности СЭС с ВИЭ показано на рис.7.б.



Рис.7. Модель Cloud Computing, общий вид алгоритмов и программных технологий вычислительных услуг (а) и окно исследования эффективности источников реактивной мощности СЭС с ВЭИ (б).

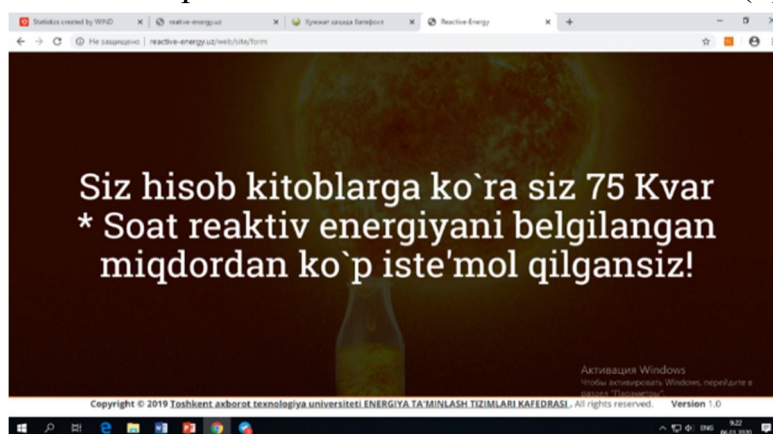


Рис.8. Результаты исследования эффективности источников реактивной мощности СЭС с ВИЭ на основе модели Cloud Computing, алгоритма исследования и программных технологий.

Веб-сайте [www.reactive-energy.uz](http://www.reactive-energy.uz) представлены материалы по исследовательской модели Cloud Computing, алгоритм исследования и программное обеспечение, позволяющие оценить эффективность источников реактивной мощности СЭС с ВИЭ, использующие результаты преобразования датчика многофазных первичных токов в напряжение, предоставлены на рис.8.

Модель Cloud Computing в виде «Алгоритма и программного обеспечения для расчета сроков покрытия затрат на внедрение реактивных источников мощности в систему электроснабжения», зарегистрирована в Агентстве интеллектуальной собственности Республики Узбекистан, содержит в себе алгоритмы исследований, программное обеспечение включают возможности выборочного контроля и управления источниками реактивной мощности в, снижения затрат на их реализацию и расчета эффективности потребления реактивной мощности, а также предназначена для проведения исследований показателей энергоэффективности СЭС с ВИЭ, а его функциональность объясняется следующим образом:

- необходимостью сократить затраты на выявление и внедрение источников реактивной мощности СЭС с ВИЭ, оценка потерь электроэнергии на трансформаторе и кабеле при отсутствие источников реактивной мощности, расчет ежегодной экономии энергии и определение значения реактивной мощности, доступного в ходе управленческих исследований;

- необходимостью внедрения комплексного контроля и управления величинами и параметрами реактивной мощности с целью обеспечения эффективности работы источников реактивной мощности СЭС с ВИЭ.

На рис.9 показаны снаружи вид СЭС с ВИЭ (а), виды экспериментального аппарат (б) и модель датчика.

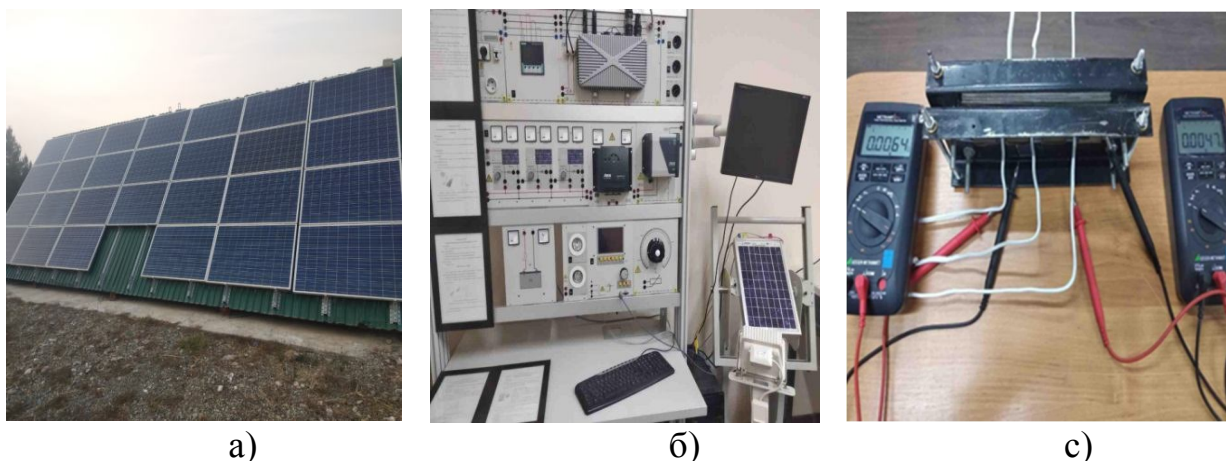


Рис.9. Вид снаружи (а), на экспериментальный аппарат (б) и модель датчика (с) СЭС с ВИЭ.

Результаты теоретических и экспериментальных исследований параметров первичных обмоток и первичных токов датчика многофазных первичных токов источников реактивной мощности СЭС с ВИЭ во вторичное напряжение приведены на рис.10.

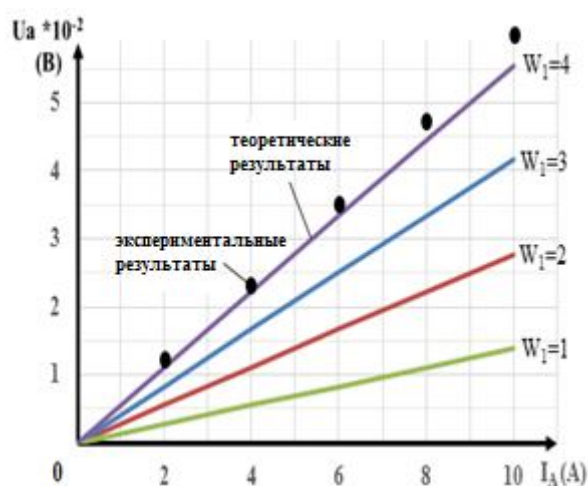


Рис.10. Теоретические и экспериментальные результаты исследования датчиков (с количеством вторичных витков равной  $w_2 = 20$ ).

Контроль и управление производством и потреблением реактивной мощности устройствами коммутации - магнитными переключателями и тиристоров осуществляются в соответствии с сигналом от датчика многофазных первичных реактивных токов источников реактивной мощности СЭС с ВИЭ при обеспечении рациональные технические и экономические параметры, такие как высокая точность, линейность преобразования и надежность.

Контроль и управление высоковольтными реактивными электрическими токами при учете взаимовлияния магнитных потоков, созданные многофазными первичными токами источников реактивной мощности, обеспечивает качество и непрерывность электрического тока СЭС с ВИЭ.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате осуществления исследовательской работы по докторской диссертации (PhD) по теме «Модели и принципы построение датчиков многофазных тока реактивной мощности системы электроснабжения с возобновляемыми источниками энергии», можно сделать следующие выводы:

1. Создан принцип одновременного контроля и управления многофазными первичными токами процесса генерации, передачи и потребления реактивной электроэнергии в СЭС с ВИЭ на основе сигнала в виде вторичного напряжения, в результате достигнуто упрощение конструкции и повышения надежность датчика.

2. Разработана и внедрена математическая модель исследования датчика в виде графа с сосредоточенными и распределенными параметрами, позволяющие учитывать закономерностей распределения магнитных потоков, созданные многофазными первичными токами источников реактивной мощности и обеспечивающий индуцирование вторичных напряжении, что обеспечило линейности и высокой точности результатов исследований.

3. Разработаны модели датчиков многофазных первичных токов, генерируемые источниками реактивной мощности, с возможностью соединения по схемам “звезда – Y” и “треугольник - Δ”, которые дают возможность управления генерируемой реактивной мощностью, сопоставить характеристики входного тока от выходного напряжения, линейный выходной сигнал, что увеличивает точность датчика на 1,8%.

4. Проведено исследование статических характеристик датчика многофазных первичных токов, в результате обоснована адекватность теоретических и практических исследований характеристик датчика, при параметрах вторичного измерительного чувствительного элемента  $w_2 = 20$ , расхождение значений составил 3-4%.

5. Динамические изменения в электромагнитном датчике по преобразованию многофазных первичных токов источников реактивной мощности СЭС с ВИЭ во вторичное напряжение, зависимости первичных токов, являющиеся источником магнитных потоков и выходных напряжений при инерционности параметров электрической сети равной  $T = 0,04$ , достигает установившегося состояния в интервале 0,015 - 0,025 сек., и с этим показателем доказано, что датчик способен генерировать вторичный сигнал с достаточным быстродействием при больших изменениях многофазных первичных токов.

6. Установлено, что преобразование многофазных первичных токов источников реактивной мощности во вторичное напряжение является энтропийная погрешность электромагнитного датчика составил  $\Delta = 0,41$ , т.е.  $\pm 0,41\%$ , что обеспечивает предусмотренную стандартом класса точности для данных типов датчика, который составляет менее 0,5.

7. На основе суммы всех возможных вероятностей преобразования многофазных первичных токов источников реактивной мощности СЭС с ВИЭ во вторичное напряжение, определена вероятность рабочего состояния электромагнитного датчика, которая составила  $P = 0,92$ .

8. Модель Cloud Computing, исследования на основе программного обеспечения веб-сайта [www.reactive-energy.uz](http://www.reactive-energy.uz) на основе Интернет-сайта показателей эффективности потребляемой реактивной мощности, позволили оценить на практике рациональный выбор контролируемых и управляемых значений и формировать оперативную оценку показателей эффективности потребления реактивной мощности в СЭС с ВИЭ.

**SCIENTIFIC COUNCIL AWARDING SCIENTIFIC DEGREES  
DSc. 03/30.12.2019.T.03.02 AT TASHKENT STATE TECHNICAL  
UNIVERSITY**

---

**TASHKENT UNIVERSITY OF INFORMATION TECHNOLOGIES**

**ABUBAKIROV AZIZJAN BAZARBAEVICH**

**MODELS AND PRINCIPLES OF CONSTRUCTION OF SENSORS FOR  
MULTIPHASE CURRENTS REACTIVE POWER CONTROL OF  
RENEWABLE ENERGY SYSTEMS**

05.01.06 – «Elements and devices of computer and data processing and controlling systems»

**DISSERTATION ABSTRACT OF DOCTOR OF PHILOSOPHY (PhD)  
ON TECHNICAL SCIENCES**

**TASHKENT – 2020**

**The theme of dissertation of doctor of philosophy (PhD) was registered at the Supreme Attestation commission at the Cabinet of Ministers of the Republic of Uzbekistan under number B2020.1.PhD/T758**

The dissertation has been prepared at the Tashkent university of information technologies.

The abstract of the dissertation is posted in Three languages (Uzbek, Russian, English (resume)) on the website [www.tdtu.uz](http://www.tdtu.uz) and on the website of «ZiyoNet» Information and educational portal ([www.ziyo.net](http://www.ziyo.net)).

**Scientific adviser:** **Siddikov Ilkhomjon**  
Doctor of Technical Sciences, Professor

**Official opponents:** **Abdukayumov Abdurashid**  
Doctor of Technical Sciences, Professor

**Aliev Ravshan Maratovich**  
Doctor of Technical Sciences, Associate Professor

**Leading organization:** **Bukhara Institute of Engineering and Technology**

Defence of the dissertation will take place «12» 06 2020 in 16<sup>00</sup> hours at a meeting of Scientific council of DSc.03/30.12.2019.T.03.02 at the Tashkent state technical university (to the address: 100095, Tashkent, Universitetskaya St., 2. Ph. (99871) 246-46-00; fax: (99871) 227-10-32; e-mail: [tstu\\_info@tdtu.uz](mailto:tstu_info@tdtu.uz)).

It is possible to study the dissertation in the Information and resource center of the Tashkent state technical university (it is registered № 149 Address: 100095, Tashkent, Universitetskaya St., 2. Ph.: 246-03-41.

The abstract of the dissertation is distributed «06» 06 2020 year.  
(the register of the protocol of mailing № 5 from «06» 03 2020 year)



**N.R. Yusupbekov**  
Chairman of the scientific council  
on awarding scientific degrees,  
doctor of technical sciences, professor, academician

**U.F. Mamirov**  
The scientific secretary of scientific council  
on awarding of academic degrees,  
PhD in technical sciences

**H.Z. Igamberdiev**  
Chairman of the scientific seminar of the scientific council  
on awarding academic degrees,  
doctor of technical sciences, professor, academician

## INTRODUCTION (abstract of PhDthesis)

**The aim of the research:** development and research of a model and construction principle of a sensor for multiphase primary currents into secondary voltage for monitoring and controlling the reactive power of power supply systems with renewable energy sources.

**Objectives of the research:**

analysis and control of reactive power control devices of power supply systems with renewable energy sources, formulate the basic requirements for them;

a comparative study of the principles and physical and technical effects of the design of sensors for converting primary currents of reactive power of electricity;

selection and justification of the type of sensor for monitoring and controlling multiphase primary currents of reactive power sources;

development of a sensor model with a signal in the form of a secondary voltage at the output, based on the interaction of magnetic fluxes generated by multiphase primary currents;

development of algorithms for structural and parametric studies of sensors for monitoring and controlling multiphase primary currents;

development of a model and algorithm for software for the study of indicators of reliability and operational state of a current and control current sensor

study of the main characteristics of sensors for monitoring and controlling multiphase primary currents of reactive power sources based on models with lumped and distributed parameters.

**Scientific novelty of the research is:**

sensor models with concentrated and distributed parameters of multiphase primary currents to the secondary voltage of reactive power of a power supply system with renewable energy sources have been created;

the principle of constructing a magnetic circuit for a sensor of multiphase primary currents into secondary voltage with interfering magnetic fluxes has been developed;

models of physical and technical effects, indicators of reliability and operational state of the sensor for multiphase primary currents to secondary voltage have been created;

Cloud Computing model, an algorithm for research and evaluation of reactive power efficiency in power supply systems were developed.

**The publication of the results of the study.** In total, 14 scientific papers were published on the topic of the study, including 4 articles published in scientific journals recommended for publication of the main scientific results of dissertations by the Higher Attestation Commission, 2 articles of which were published in foreign journals and 3 on computer software products for computers recorded evidence (guvokhnoma).

**Structure and size of the dissertation.** The dissertation consists of introduction, four chapters, conclusion, used literature and applications. The size of the dissertation consists of 117 pages and 40 pictures, 4 tables.

**ЭЪЛОН ҚИЛИНГАН ИШЛАР РЎЙХАТИ**  
**СПИСОК ОПУБЛИКОВАННЫХ РАБОТ**  
**LIST OF PUBLISHED WORKS**

**Ибўлим (Часть I; Part I)**

1. Abubakirov A.B. «Research of the electromagnetic transducers for control of current of three phases nets» // European science review, Scientific journal № 5–6 Vienna, Austria. 2018.- pp. 269-273. (05.00.00; №3).

2. Siddikov I.KH., Abubakirov A.B., Yo'ldashov A.A., Babaxova G.Z., Xontoraev I.M., Mirzoev N.N. «Methodology of calculation of techno-economic indices of application of sources of reactive power» // European science review, Scientific journal № 1–2 Vienna, Austria. 2018.- pp. 248-251. (05.00.00; №3).

3. Сиддиков И.Х., Саттаров Х.А., Абубакиров А.Б., Есенбеков А.Ж., Сарсенбаев Д.Б. «Применение управляемых компенсирующих устройств в системах электроснабжения» // Вестник ККОАНРУз. №2. Нукус, 2018.- С. 27-32. (05.00.00; №19).

4. Сиддиков И.Х., Абубакиров А.Б., Нажматдинов К.М., Есенбеков А.Ж. «Электромагнитные преобразователи несимметрии трехфазного тока с расширенными функциональными возможностями» // Вестник ККОАНРУз. №2. Нукус, 2017.- С. 66-68. (05.00.00; №19).

**II бўлим (Часть II; Part II)**

5. Siddikov I.KH., Abubakirov A.B., Sarsenbaev D.B. «The sources of errors of electromagnetics transducers» // «The USA Journal of Applied Sciences», CIBUNET Publishing. USA, 2018.- pp. 34-36.

6. Абубакиров А.Б., Сарсенбаев Д.Б. «Компенсация реактивной мощности в системах электроснабжения преобразовательных установок» // Вестник Каракалпакского государственного университета им. Бердаха. №2. Нукус, 2018.- С. 4-7.

7. Абубакиров А.Б. «Принципы компенсации реактивной мощностей» // Вестник Каракалпакского государственного университета им. Бердаха. №2. Нукус, 2017.- С. 11-13.

8. Абубакиров А.Б. «Электр таъминоти тизимини реактив куввати манбаларининг кўп фазали токларини кучланишга ўзгартириш датчикларни метрологик тавсифлар, хатоликлари ва ишончилиги» / Современные тенденции совершенствования систем контроля и управления технологическими процессами и производствами. Республиканская научно-техническая конференция 11-12 Октябрь, 2019, г. Ташкент, с.188-191.

9. Siddikov I., Sattarov Kh., Abubakirov A.B., Anarbaev M., Khonturaev I., Maxsudov M. «Research of transforming circuits of electromagnets sensor with distributed parameters» / 10 th International Symposium on intelegent Manufacturing and Service Systems. 9-11 September 2019. Sakarya. Turkey, - pp. 831-837.

10. Siddikov I.Kh., Abubakirov A.B., Sharipov M.T., Utemisov A.D. «The root cause of the errors of electromagnetic transducers» / «Орол буйи минтақасида меъморчилик ва шахар қурилиши барқарор ривожланиши масалалари» мавзусида халқаро илмий ва илмий-техник конференцияси. Нукус, 20-21 июнь 2019 йил. 185-188 бетлар.

11. Абубакиров А.Б. «Применение устройств компенсации реактивной мощности на подстанциях промышленных предприятий» / Республиканской научно-технической конференции «Актуальные проблемы энергосбережения при использования альтернативных источников энергии». Қарши 2017. - С. 216-217.

12. Сиддиков И.Х., Абубакиров А.Б., Хужаматов Х.Э., Хасанов Д.Т. «Алгоритм и программное обеспечение расчета срока окупаемости внедрения источников реактивной мощности в системах электроснабжения» // Свидетельство об официальной регистрации программы для электронно-вычислительных машин. № DGU 06465 20190478. Агентство по интеллектуальной собственности РУз, Ташкент, 18.04.2019 г.

13. Сиддиков И.Х., Абубакиров А.Б., Хужаматов Х.Э., Хасанов Д.Т. «Алгоритм и программное обеспечение уменьшения потерь электрической энергии в силовом трансформаторе» // Свидетельство об официальной регистрации программы для электронно-вычислительных машин. № DGU 06460 20190482. Агентство по интеллектуальной собственности РУз, Ташкент, 18.04.2019 г.

14. Сиддиков И.Х., Абдумаликов А.А., Собиров М.А., Махсудов М.Т., Абубакиров А.Б., Анарбоев М.А. «Программное обеспечение для исследования статических характеристик трехфазных трехсенсорных преобразователей с распределенными параметрами» // Свидетельство об официальной регистрации программы для электронно-вычислительных машин. № DGU 07373 20191450. Агентство по интеллектуальной собственности РУз, Ташкент, 12.11.2019 г.

Автореферат «Мухаммад ал-Хоразмий авлодлари» журнали таҳририятида таҳрирдан ўтказилиб, ўзбек, рус ва инглиз тилларидаги матнлар ўзаро мувофиқлаштирилди.

Бичими 60x84<sup>1</sup>/<sub>16</sub>. Рақамли босма усули. Times гарнитураси.  
Шартли босма табоғи: 3,5. Адади 100 нусха. Буюртма № 100.

Гувоҳнома № 10-3719

“Тошкент кимё технология институти” босмахонасида чоп этилган.  
Босмахона манзили: 100011, Тошкент ш., Навоий кўчаси, 32-уй.