

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

---

**ТОШКЕНТ ДАВЛАТ ТЕХНИКА УНИВЕРСИТЕТИ**

**АНАРБОЕВ МУХИДДИН АЛМАНОВИЧ**

**РЕАКТИВ ҚУВВАТНИ БОШҚАРИШ ТИЗИМЛАРИ УЧУН  
ФУНКЦИЯЛАРИНИНГ ИМКОНИЯТЛАРИ КЕНГАЙТИРИЛГАН  
ЭЛЕКТРОМАГНИТ ТОКНИ КУЧЛАНИШГА ЎЗГАРТГИЧЛАР**

**05.01.06 – Ҳисоблаш техникаси ва бошқарув тизимининг элементлари  
ва қурилмалари**

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

**Тошкент– 2021**

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

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

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

**Анарбоев Мухиддин Алманович**

Реактив қувватни бошқариш тизимлари учун функцияларининг  
имкониятлари кенгайтирилган электромагнит токни кучланишга  
ўзгартгичлар ..... 3

**Анарбоев Мухиддин Алманович**

Электромагнитные преобразователи тока в напряжение с расширенными  
функциональными возможностями для систем управления реактивной  
мощностью ..... 21

**Anarboev Muxiddin Almanovich**

Electromagnetic current-to-voltage transducers with advanced functionality  
for reactive power control ..... 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 ДАВЛАТ ТЕХНИКА УНИВЕРСИТЕТИ**

**АНАРБОЕВ МУХИДДИН АЛМАНОВИЧ**

**РЕАКТИВ ҚУВВАТНИ БОШҚАРИШ ТИЗИМЛАРИ УЧУН  
ФУНКЦИЯЛАРИНИНГ ИМКОНИЯТЛАРИ КЕНГАЙТИРИЛГАН  
ЭЛЕКТРОМАГНИТ ТОКНИ КУЧЛАНИШГА ЎЗГАРТГИЧЛАР**

**05.01.06 – Ҳисоблаш техникаси ва бошқарув тизимининг элементлари  
ва қурилмалари**

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

**Тошкент– 2021**



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

**Диссертация мавзусининг долзарблиги ва зарурати.** Жаҳонда энергия истеъмолчиларини сифатли ва узлуксиз электр энергияси билан таъминлашда электр таъминоти манбаларининг назорат ва бошқарув тизимининг элементи ҳамда қурилмаларини такомиллаштиришга катта эътибор қаратилмоқда. Истеъмолчиларни юқори сифатли электр энергия билан таъминлаш назорат ва бошқарув тизимининг кенг функционаллиги ҳамда қурилмаларнинг юқори сезгирлиги, ишончли ишлаши ва маълумотларнинг аниқлиги каби параметрларга боғлиқ. Шунинг учун бирламчи ўлчов ва ўзгартириш элементлари, уларнинг тузилиш тамойиллари, тадқиқот алгоритмлари ва дастурий таъминоти ҳамда ахборот-ўлчов ва сигнал ўзгартириш воситаларининг кенг функционал имкониятли туркумларини ишлаб чиқиш ва қўллашга алоҳида эътибор қаратилмоқда. Бу борада ривожланган мамлакатларнинг электр энергия таъминоти тизимларида реактив қувватини назорат ва бошқарув элементлари ҳамда қурилмаларининг кенг функционал имкониятли турларини яратиш ҳамда амалиётга жорий қилиш муҳим аҳамият касб этмоқда.

Жаҳонда электр энергия реактив қуввати манбалари ишлаб чиқараётган энергиянинг катталиқ ва параметрлари, назорат ва бошқарув элементлари, воситалари ҳамда шу асосда электр энергия таъминоти тизимларини такомиллаштиришга қаратилган қатор илмий тадқиқотлар олиб борилмоқда. Ушбу йўналишда электр энергия реактив қуввати катталиқ ва параметрларини назорат ва бошқарув қурилмаларини сифатли сигналлар билан таъминлаш асосий талаблардан бири ҳисобланади. Шунинг учун электр энергия таъминоти реактив қувват манбаларининг назорати ва бошқариш, мониторинг қилиш, ишлаб чиқиладиган ва истеъмол қилинадиган электр энергияни режалаштириш, бошқарувида қўлланиладиган турли ўзгартгичлар ва уларнинг тузилмаларида кечаётган жараёнларни рационал алгоритмлар асосида моделлаштириш муҳим аҳамиятга эга. Тадқиқотларда элементлар тузилиши, катталиқ ва параметрларини аниқлаш, дастурий таъминотлари, назорат ва бошқарув сигнал ўзгартгичларининг илғор техник ечимларини ишлаб чиқишга алоҳида эътибор қаратилмоқда.

Республикамизда электр энергия таъминоти тизими реактив қувват манбаларининг назорат ва бошқарув элементлари, қурилмалари, воситалари ва тизимларини ривожлантириш ҳамда амалиётга қўллашга йўналтирилган мақсадли чора-тадбирлар ва кенг қўламдаги ишлар амалга оширилмоқда. Ўзбекистон Республикасини янада ривожлантириш бўйича Ҳаракатлар стратегиясида «.. иқтисодиёт, ижтимоий соҳа, бошқарув тизимига ахборот-коммуникация технологияларини жорий этиш, иқтисодиётда энергия ва ресурслар сарфини камайтириш, ишлаб чиқаришга энергия тежайдиган технологияларни кенг жорий этиш»<sup>1</sup> каби вазифалар белгилаб берилган.

---

<sup>1</sup>Ўзбекистон Республикаси Президентининг 2017 йил 7 февралдаги “Ўзбекистон Республикасини янада ривожлантириш бўйича Ҳаракатлар стратегияси тўғрисида”ги ПФ-4947-сонли Фармони.

Мазкур вазифаларни амалга оширишда, жумладан электр энергия таъминоти тизимида реактив қувватни назорат ва бошқарув жараёнида иштирок этадиган элементлар ва воситаларининг янги туркумларини яратиш, сигналларини ўзгартирувчи бирламчи ахборот-ўлчов элементларини ишлаб чиқиш муҳим вазифалардан бири ҳисобланади.

Ўзбекистон Республикаси Президентининг 2017 йил 7 февралдаги ПФ-4947-сон “Ўзбекистон Республикасини янада ривожлантириш бўйича Ҳаракатлар стратегияси тўғрисида”ги Фармони, 2017 йил 23 августдаги ПҚ-3238-сон “Замонавий энергия самарадор ва энергия тежайдиган технологияларни янада жорий этиш чора-тадбирлари тўғрисида”, 2015 йил 5 майдаги ПҚ-2343-сон “2015-2019 йилларда иқтисодиёт тармоқлари ва ижтимоий соҳада энергия сифimini қисқартириш, энергияни тежайдиган технологиялар ва тизимларни жорий этиш чора-тадбирлари дастури тўғрисида”, 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”, 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 соҳага тегишли бошқа меъёрий-ҳуқуқий ҳужжатларда 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.** Электр энергия таъминоти тизимининг реактив қувват манбаларини назорат ва бошқарув жараёнларини амалга ошириш тамойиллари электр, магнит каби турли табиатли катталиқ ва параметрларни бирламчи электромагнит ўзгартгичларда назорат қилинаётган физик катталиқлар ва параметрларга тегишли асосда ўзгартириш, узатиш, ишлов бериш ва қайд қилишда қулай кўринишга (электр сигнал) айлантириб берадиган элементларни талаб этади. Шунинг учун узлуксиз ва ишончли электр энергия таъминоти тизимини яратишда электр токи қийматига мос келувчи кучланиш кўринишидаги сигналларни ҳосил қиладиган ўзгартгичларнинг тадқиқи бўйича кенг қамровли илмий-тадқиқот ишлари олиб борилмоқда.

Ушбу йўналишда таниқли ҳорижий олимлар, жумладан Н.Schaumburg, R.Nanitch, I.Rampias, Б.С.Сотсков, Л.А.Островский, В.П.Миловзоров, Е.П.Осадчий, М.Ф.Зарипов, А.А.Преображенский, М.М.Белов, Н.Е.Конюхов, Е.С.Левщина, П.В.Новицкий, М.А.Ураксеевлар илмий тадқиқотлар олиб боришган. Шунингдек, республикаимизнинг таниқли олимлари

А.А.Абдукаюмов, Р.К.Азимов, С.Ф.Амиров, Ш.М.Гулямов, Х.З.Игамбердиев, А.М.Плахтиев, Ю.Г.Шипулин, Н.Р.Юсупбеков, Э.Ўлжаев, И.Х.Сиддиқовларнинг илмий тадқиқот ишлари кўриб ўтилган муаммолар ва масалаларнинг ечимига бағишланган.

Таҳлиллар натижалари кўрсатдики, электр энергия таъминоти тизимининг бир, икки ва уч фазали ток ҳамда кучланишли реактив қувват манбаларини назорат ва бошқарувида замонавий техника ҳамда технологияларни комплекс қўллаш, бошқарув ва мониторинг учун зарурий сигналларни шакллантириш жараёнларини моделлаштириш ва алгоритмлаш, электр энергияси реактив қуввати манбаларини назорат ва бошқарувида уч фазали электромагнит ўзгартгичларни тузилмавий ва параметрик лойиҳалаш, уларнинг кенг функционал имкониятли туркумларини 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 Жиззах политехника институти ва Тошкент ахборот технологиялари университети илмий-тадқиқот ишлари режаларининг №ИОТ 2013-2-28 «Энергия тежамкор реактив қувват манбаларини автоматик ростлагичларини саноат корхоналарида жорий этиш» (2013-2014), №VN 81182259 «Pilot project of Uzbekistan: Climate Change mitigation in rural areas of Uzbekistan - demonstration project at private farm Furqat of Pakhtakor district in the Mirzachul steppe» (2014-2017) ва №БВ-А3-027 «Мустақил энергия манбали бинонинг электр таъминоти бошқарув тизимини ишлаб чиқиш ва жорий этиш» (2017-2018) мавзуларидаги илмий лойиҳалари доирасида бажарилган.

**Тадқиқотнинг мақсади** реактив қувватни бошқариш тизимлари учун сигнал ўлчов-ўзгартириш функцияларининг имкониятлари кенгайтирилган уч фазали, бир, икки ва уч сезгир элементли электромагнит ток ўзгартгичларининг моделларини ишлаб чиқишдан иборат.

**Тадқиқотнинг вазифалари:**

электр энергияси реактив қуввати назорат ва бошқаруви учун уч фазали тоқларни сигналга ўлчов ўзгартгичларининг тузилиш тамойиллари, моделлари ва қўлланиш соҳаларини таҳлил қилиш;

бир, икки ва уч сезгир элементли, сигнал ўлчов-ўзгартириш функцияларининг имкониятлари кенгайтирилган уч фазали тоқлар электромагнит ўзгартгичларнинг моделларини яратиш;

сигнал ўлчов-ўзгартириш функцияларининг имкониятлари кенгайтирилган, бир, икки ва уч сезгир элементли уч фазали тоқлар электромагнит ўзгартгичларининг статик, динамик моделларини ишлаб чиқиш;

реактив қувват назорат ва бошқарув тизимининг сигнал ўлчов-ўзгартириш функцияларини имкониятлари кенгайтирилган, уч фазали, бир, икки ва уч сезгир элементли электромагнит тоқлар ўзгартгичларининг ишончлилиги ва иш ҳолати кўрсаткичларини тадқиқ қилиш;

электр таъминоти тизимининг реактив қувватини назорат ва бошқаруви

учун бир, икки ва уч элементли, сигнал ўлчов-ўзгартириш функцияларининг имкониятлари кенгайтирилган, уч фазали тоқлар электромагнит ўзгартгичларининг IoT-моделли, дастурий таъминотини яратиш.

**Тадқиқотнинг объекти** сифатида реактив қувватни бошқариш тизимлари учун функцияларининг имкониятлари кенгайтирилган электромагнит токни кучланишга ўзгартгичлар олинган.

**Тадқиқотнинг предмети**ни сигнал ўлчов-ўзгартириш функцияларининг имкониятлари кенгайтирилган, бир, икки ва уч сезгир элементли уч фазали, тоқлар электромагнит ўзгартгичларининг иккиламчи кучланиш кўринишидаги сигнал ҳосил қилиш жараёнлари ташкил этади.

**Тадқиқотнинг усуллари.** Тадқиқот давомида электр ва магнит занжирларининг катталиқ ва параметрларини ҳисоблаш, хатоликларни ҳисоблаш, графлар ва сигналлар, рақамли ишлов бериш ва узатиш, электромагнит ўзгартгичларни лойиҳалаш ва моделлаштириш усулларидан фойдаланилган.

**Тадқиқотнинг илмий янгилиги** қуйидагилардан иборат:

илк маротаба, электр энергияси реактив қуввати уч фазали тоқларини кучланиш кўринишидаги сигналга ўзгартирувчи бир, икки ва уч сезгир элементли электромагнит ўзгартгич қурилмаси яратилган;

уч фазали тоқлар электромагнит ўзгартгичнинг тарқалган параметрли статик ва динамик моделлари тавсифлари асосида чиқиш сигналининг меъёрланганлиги, чизиқлилиги ва юқори аниқлигини таъминлаш мезонлари ишлаб чиқилган;

уч сезгир элементли электромагнит ўзгартгичнинг ишончилиқ кўрсаткичларининг тузилмавий модели ишлаб чиқилган;

уч фазали, бирламчи тоқларни иккиламчи кучланишга ўзгартиришнинг бир, икки ва уч сезгир элементли электромагнит ўзгартгичларнинг IoT модели яратилган.

**Тадқиқотнинг амалий натижалари** қуйидагилардан иборат:

электр таъминоти тизими реактив қувват бошқаруви талаблари асосида тўла уч фазали токни кучланиш кўринишидаги иккиламчи сигналга ўзгартгичнинг уч сезгир элементли тузилмасининг физик модели ишлаб чиқилган;

тарқалган параметрли уч фазали уч сезгир элементли сигнал ўлчов-ўзгартириш функцияларининг имкониятлари кенгайтирилган ўзгартгичларнинг, чиқиш кучланишини миқдорини меъёрлиги, чизиқлилиги ва юқори аниқлигини ҳисоблаш имконини берувчи дастурий таъминот ишлаб чиқилган;

тарқалган параметрли уч фазали уч сезгир элементли сигнал ўлчов-ўзгартириш функцияларининг имкониятлари кенгайтирилган ўзгартгичнинг статик ва динамик тавсифлари тадқиқотининг дастурий таъминоти ишлаб чиқилган;

реактив қувватни бошқариш тизимлари учун бирламчи уч фазали тўла ток қийматини иккиламчи кучланиш кўринишидаги чиқиш сигналига



ўзгартгичларни тавсифларини тадқиқ қилишнинг IoT-технологияси дастурий воситалари амалиётга жорий этилган;

сигнал ўлчов-ўзгартириш функцияларининг имкониятлари кенгайтирилган, тарқалган параметрли, уч фазали ва уч сезгир элементли электромагнит ток ўзгартгичнинг статик тавсифининг ҳисоблаш аниқлиги 2,6% га оширилган.

**Тадқиқот натижаларининг ишончлилиги** реактив қувват назорат ҳамда бошқарув тизими учун ишлаб чиқилган функцияларининг имкониятлари кенгайтирилган бир, икки ва уч сезгир элементли уч фазали токни электромагнит ўзгартгичларининг тузилиш тамойиллари, моделлари, статик, динамик, метрологик ва техник тавсифлари олинган натижалар умумқабул қилинган мезонлар асосида қиёсий солиштириш орқали изоҳланади.

**Тадқиқот натижаларининг илмий ва амалий аҳамияти.** Тадқиқот натижаларининг илмий аҳамияти функцияларининг имкониятлари кенгайтирилган бир, икки ва уч сезгир элементли уч фазали, ток электромагнит ўзгартгичининг статик ва динамик моделлари, алгоритмлари, чиқиш кучланишининг миқдорини меъёрлаш, чизиқлилиги, юқори аниқлилиги ва ишончлилигини таъминлаш мезонларини шакллантирилганлиги билан изоҳланади.

Тадқиқот натижаларининг амалий аҳамияти электр энергия таъминоти тизимининг реактив қувватини назорат ва бошқаришда уч фазали тоқлар миқдорлари ва бурчаклари бўйича ўлчаш-ўзгартириш функцияларининг кенгайтирилганлиги, меъёрланган чиқиш сигналли уч фазали уч сезгир элементли электромагнит ўзгартгичининг ишлаб чиқилганлиги ва амалиётда қўлланилганлиги билан изоҳланади.

**Тадқиқот натижаларининг жорий қилиниши.** Реактив қувватни бошқариш тизимлари учун функцияларининг имкониятлари кенгайтирилган электромагнит токни кучланишга ўзгартгичлар бўйича олинган натижалар асосида:

токни кучланишга ўзгартиргич қурилмасига Ўзбекистон Республикаси Интеллектуал мулк агентлигининг ихтирога патенти олинган (IAP 04907, 2014 й). Натижада, ўзгартгичлар чиқиш кучланиши миқдорини меъёрланганлиги, чизиқлилиги ва юқори аниқлигини таъминлаш имконини берган;

тарқалган параметрли, уч фазали, учта сезгир элементли токни кучланишга электромагнит ўзгартгичларнинг статик ва динамик моделлари, ўзгартгичларнинг IoT технологияси модели учун яратилган дастурий воситалар «Жиззах вилояти ҳудудий электр тармоқлари корхонаси» АЖда жорий этилган (Энергетика вазирлигининг 2020 йил 3 февралдаги 05-13-1351-сон маълумотномаси). Натижада, функцияларининг имкониятлари кенгайтирилган тарқалган параметрли уч фазали уч сезгир элементли ўзгартгичнинг статик ва динамик катталикларини ҳисоблаш аниқлигини 2.6 % га ошириш имконини берган.

**Тадқиқот натижаларининг апробацияси.** Тадқиқот натижалари 3 та

халқаро, 2 та республика илмий-амалий конференциялари ҳамда илмий семинарларда муҳокама қилинган.

**Тадқиқот натижаларининг эълон қилинганлиги.** Диссертация мавзуси бўйича жами 8 та мақола Ўзбекистон Республикаси Олий Аттестация Комиссиясининг диссертациялар асосий илмий натижаларини чоп этиш учун тавсия этган илмий нашрларда, шундан 2 таси хорижий журналларда чоп этилган.

**Диссертациянинг тузилиши ва ҳажми.** Диссертация кириш, тўрт боб, хулоса, фойдаланилган адабиётлар рўйхати ва иловалардан иборат. Диссертациянинг ҳажми 115 бетни ташкил этади.

## 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 «**Электр энергия реактив қувватининг назорати ва бошқаруви ток ўзгартгичлари**» деб номланган биринчи бобида электр таъминоти тизимида реактив қувватнинг аҳамияти, катталиклари ва хусусиятлари таҳлил қилинган. Реактив қувват манбаларининг турлари, уларни танлаш шартлари, химоялаш турлари кўриб ўтилган.

Реактив қувватни назорат қилиш ва бошқариш, уч фазали бирламчи тоқлар катталик ва бурчаклари маълумотларини иккиламчи кучланиш кўринишидаги сигналга ўзгартириш тамойиллари, назорат ва бошқаришни сигнал билан таъминловчи ўзгартгичлар, уч фазали бирламчи тоқларни иккиламчи кучланишга ўзгартгичнинг тузилиш асослари, диссертация иши мақсади ва вазифалари келтирилган.

Электр энергия таъминот тизимларида реактив қувватни бошқариш ва назорат қилиш муҳим вазифалардан ҳисобланади. Бунда электр энергиясининг катталиклари, параметрлари ва уларни ўзгартириш назорат ва бошқарув тизими ва уларда қўлланилган бирламчи ток ва кучланиш ўзгартгичларини тўғри танлаш ва лойиҳалаш масалалари билан боғлиқ. Адабиётлар таҳлили ва материалларни умумлаштириш ҳамда кўрилаётган муаммоларнинг ўрганилиш даражасини таҳлил қилиш асосида диссертация тадқиқотининг асосий мақсад ва вазифалари белгиланган.

Электр энергия узатиш қурилмаси ёки тармоғидан узатилаётган  $S$  - тўла қувват қуйидагича аниқланади:

$$S = \sqrt{P^2 + Q^2}$$

ва бунда уч фазали ток қуйидагига тенг бўлади:

$$I = \frac{\sqrt{P^2 + Q^2}}{\sqrt{3} \cdot U},$$

бу ерда  $P$  - актив қувват (Вт, кВт, МВт),  $Q$  – реактив қувват (ВАр, кВАр, МВАр),  $U$  – кучланиш (В, кВ).

Электр энергия тизими узатиш тармоғи охирида  $Q_k$  миқдорли реактив қувват манбалари, яъни компенсацияловчи қурилмалар ўрнатилганда тўла қувват ва ток қуйидагича аниқланади:

$$S^b = \sqrt{P^2 + (Q - Q_k)^2},$$
$$I^b = \frac{\sqrt{P^2 + (Q - Q_k)^2}}{\sqrt{3} \cdot U},$$

бу ерда:  $Q_k$ –компенсацияловчи қурилма сифатида қўлланилган реактив қувват манбасининг ўрнатма реактив қуввати.

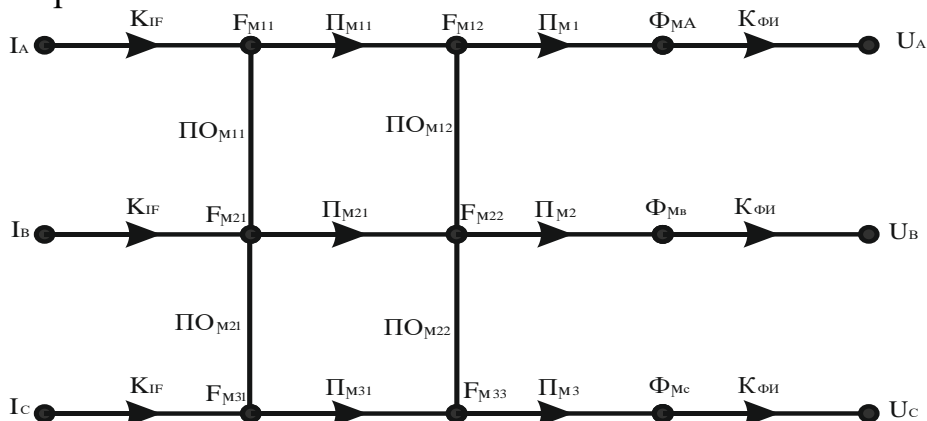
Электр энергияси электромагнит ток ўзгартгичлар тузилмаларининг дастлабки таҳлили ва уларнинг имкониятларини нисбий баҳолаш шуни кўрсатдики, электр таъминот тизимидаги реактив қувватни бошқариш учун тузилмасини тайёрлаш технологиясининг оддийлиги, юқори ишончилиги ва тежамкорлиги бўйича уч фазали тўла ток қийматини кучланиш кўринишдаги чиқиш сигналига ўзгартирувчи, функцияларининг имкониятлари кенгайтирилган электромагнит ўзгартгичлар энг истиқболли ҳисобланади.

Диссертациянинг «**Электромагнит ток ўзгартириш жараёнларини ва ўзгартиргичлар тузилишларини моделлаштириш**» деб номланган иккинчи бобида электр энергия реактив қуввати бошқариш тизимлари учун қўлланилувчи, сигнал ўлчов-ўзгартириш функцияларининг имкониятлари кенгайтирилган токни кучланишга электромагнит ўзгартгичларнинг бирламчи қувват ва энергиянинг бирламчи тоқларини иккиламчи кучланишга ўзгартириш жараёни, ўзгартириш бўлақларининг моделлари ва тадқиқот алгоритми, жараёнида иштирок этувчи ва бирламчи тоқларни иккиламчи кучланиш кўринишидаги сигналга ўзгартириш тамойиллари физик-техник эффектларининг моделлари келтирилган.

Электр таъминоти тизимларининг тармоқларидан оқаетган бир, икки, уч фазали бирламчи тоқларни иккиламчи кучланиш, сигнал кўринишига ўзгартиришда сигнал ўзгартириш тамойили функцияларининг имкониятлари кенгайтирилган электромагнит токни кучланишга ўзгартгичларда битта, иккита ва уч сезгир элемент ўлчов чулғамлари қўлланилганда бирламчи тоқлар, ўзгартириш занжири ёки тузилмаси, унинг геометрик шакли ва ўлчамлари ҳамда қўлланилган сигнал ўзгартириш тамойили физик –техник эффектга кўра алгоритм асосида тадқиқ этилади.

Электр таъминот тизими реактив қувват манбаси уланган электр тармоғининг тарқалган параметрли уч фазали уч сезгир элементли функцияларининг имкониятлари кенгайтирилган электромагнит токни

кучланишга ўзгартгичлар чиқиш кучланишини ҳосил қилиш граф модели 1-расмда келтирилган:



1-расм. Тарқалган параметрли уч фазали уч сезгир элементли функцияларининг имкониятлари кенгайтирилган токни кучланишга электромагнит ўзгартгичнинг чиқиш кучланиши ҳосил қилиш граф модели.

Тарқалган параметрли уч фазали уч сезгир элементли функцияларининг имкониятлари кенгайтирилган токни кучланишга электромагнит ўзгартгичнинг чиқиш кучланишини шакллантириш граф модели асосида ҳосил қилинган аналитик ифода куйидаги кўринишда бўлади:

$$U_a = W_{IU}(I_A, U_a)I_A + W_{IU}(I_B, U_a)I_B + W_{IU}(I_C, U_a)I_C;$$

$$U_B = W_{IU}(I_A, U_B)I_A + W_{IU}(I_B, U_B)I_B + W_{IU}(I_C, U_B)I_C;$$

$$U_c = W_{IU}(I_A, U_C)I_A + W_{IU}(I_B, U_C)I_B + W_{IU}(I_C, U_C)I_C;$$

бу ерда:  $W_{IU}(I_A, U_a)$ ,  $W_{IU}(I_B, U_a)$ ,  $W_{IU}(I_C, U_a)$ ,  $W_{IU}(I_A, U_b)$ ,  $W_{IU}(I_B, U_b)$ ,  $W_{IU}(I_C, U_b)$ ,  $W_{IU}(I_A, U_c)$ ,  $W_{IU}(I_B, U_c)$ ,  $W_{IU}(I_C, U_c)$ -  $I_A$ ,  $I_B$ ,  $I_C$  бирламчи тоқларни  $U_a$ ,  $U_b$ ,  $U_c$  иккиламчи кучланишларга ўзгартириш бўлагининг узатиш функциялари.

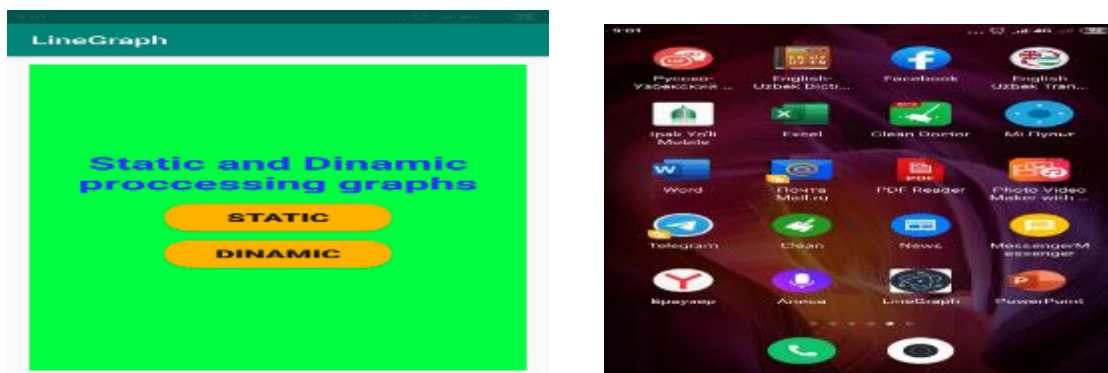
Диссертациянинг «**Функцияларининг имкониятлари кенгайтирилган электромагнит токни кучланишга ўзгартгичларнинг тавсифлари**» деб номланган учинчи бобида уч фазали уч сезгир элементли функцияларининг имкониятлари кенгайтирилган токни кучланишга электромагнит ўзгартгичларнинг статик ва динамик моделлари ҳамда ўзгартгичларнинг ишончилиги ва иш ҳолати кўрсаткичларининг тадқиқотлари натижалари келтирилган.

Электр таъминоти тизимларида реактив қувват назорат ва бошқарувида ток ўзгартгичларининг тавсифлари белгиловчи аҳамиятга эга. Ток ўзгартгичларининг асосий тадқиқ қилинадиган тавсифларига статик, динамик тавсифлари, сезгирлик ва хатолик манбалари киради.

Уч фазали уч сезгир элементли ўзгартгичларнинг статик тавсифларининг тадқиқоти алгоритми ва дастурий таъминоти ўзгартириш, ўлчов, назорат, бошқариш ва ахборот коммуникация тизимларининг асосий қисми ҳисобланиб, дастурий таъминот электр қурилмалари ва тармоқларидан оқаётган уч фазали бирламчи тоқларни иккиламчи кучланишга статик

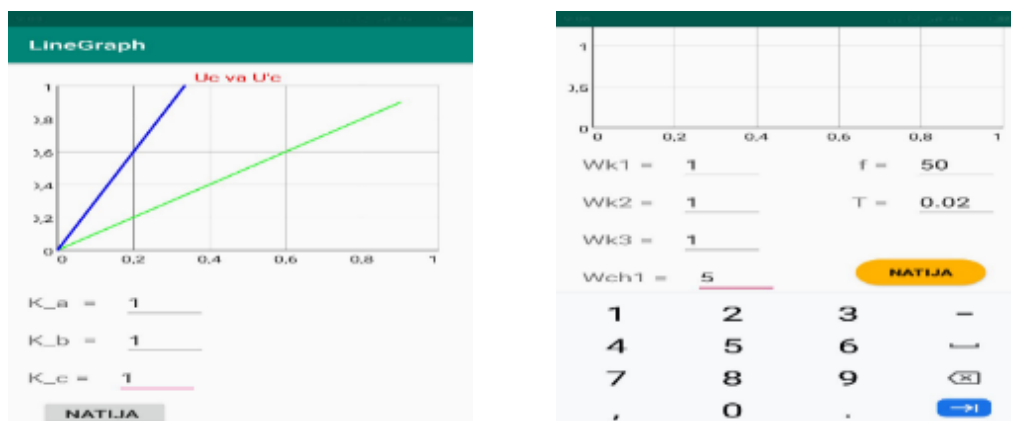
Ўзгартириш жараёнини аналитик ифодалари асосида ўзгартгичларнинг катталиқ ва параметрларини амалий тадқиқ этишга мўлжалланган [DGU 07373, 19.12. 2019 й].

Тарқалган параметрли уч фазали уч сезгир элементли ўзгартгичларнинг статик ва динамик моделларининг тадқиқоти IoT-технологиясининг Android операцион тизимларида тузилган дастурий таъминотнинг Интернет илова кўриниши 2-расмда келтирилган.



2-расм. Тарқалган параметрли уч фазали уч сезгир элементли ўзгартгичларнинг статик ва динамик моделларининг тадқиқотини IoT технологиясининг Android операцион тизимларида тузилган дастурий таъминотининг интернет илова кўриниши.

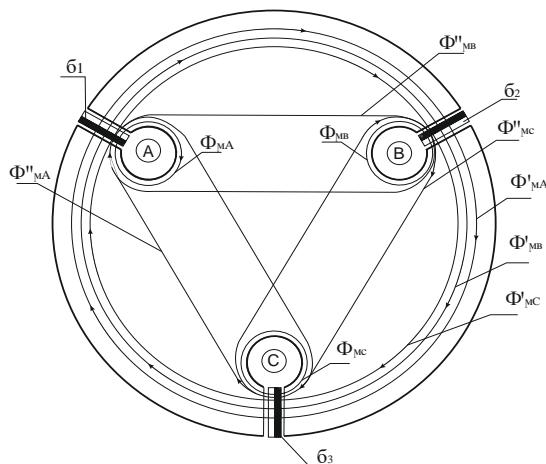
Тарқалган параметрли уч фазали уч сезгир элементли ўзгартгичларнинг статик тавсифлари тадқиқоти IoT технологиясининг Android операцион тизимларида тузилган дастурий таъминоти асосида олинган натижалари 3-расмда келтирилган.



3-расм. Тарқалган параметрли уч фазали уч сезгир элементли ўзгартгичларнинг статик тавсифлари тадқиқоти IoT технологиясининг Android операцион тизимларида тузилган дастурий таъминоти асосида олинган натижалари.

Электр таъминоти тизимлари реактив қувватини бошқарув ва назоратида бирламчи тоқларнинг қийматини кучланиш кўринишдаги чиқиш сигналига ўзгартирадиган ўзгартгичларнинг статик тавсифларини таҳлил қилишда чиқиш кучланишини  $U_{эчиқ}$  сигналининг кўринишини функцияларининг имкониятлари кенгайтирилган электромагнит токни кучланишга ўзгартгичларнинг турли параметрларига боғлиқлиги тадқиқ

этилди. Функцияларининг имкониятлари кенгайтирилган электромагнит токни кучланишга ўзгартгичлар асосида бирламчи токларни иккиламчи кучланишга ўзгартириш жараёни 4- расмдаги кўринишга эга бўлади.



4-расм. Функцияларининг имкониятлари кенгайтирилган электромагнит токни кучланишга ўзгартгич модели.

$\Phi_{\mu A}, \Phi_{\mu B}, \Phi_{\mu C}$  – А, В, С электр тармоғининг фазалар токлари ҳосил қилган ва мос сезгир элементини кесиб ўтадиган асосий магнит оқимлари.

$\Phi'_{\mu A}, \Phi'_{\mu B}, \Phi'_{\mu C}, \Phi''_{\mu A}, \Phi''_{\mu B}, \Phi''_{\mu C}$  - сезгир элемент учун асосий бўлмаган фазалар токлари ҳосил қилган магнит оқимлари.

Функцияларининг имкониятлари кенгайтирилган токни кучланишга электромагнит ўзгартгичларнинг иккиламчи кучланишлари куйидаги асосда аниқланади:

$$U_A = 4.44f w_{1ч} \left( \frac{w_{1к}}{R_{\mu 1\varepsilon} + R_{\mu \delta 1\varepsilon}} I_A + \frac{w_{2к}}{R_{\mu 1\varepsilon} + R_{\mu 2\varepsilon} + R_{\mu \delta 1\varepsilon} + R_{\mu \delta 2\varepsilon}} I_B + \frac{w_{3к}}{R_{\mu 1\varepsilon} + R_{\mu 3\varepsilon} + R_{\mu \delta 1\varepsilon} + R_{\mu \delta 3\varepsilon}} I_C \right);$$

$$U_B = 4.44f w_{2ч} \left( \frac{w_{1к}}{R_{\mu 1\varepsilon} + R_{\mu 2\varepsilon} + R_{\mu \delta 1\varepsilon} + R_{\mu \delta 2\varepsilon}} I_A + \frac{w_{2к}}{R_{\mu 2\varepsilon} + R_{\mu \delta 2\varepsilon}} I_B + \frac{w_{3к}}{R_{\mu 2\varepsilon} + R_{\mu 3\varepsilon} + R_{\mu \delta 2\varepsilon} + R_{\mu \delta 3\varepsilon}} I_C \right);$$

$$U_C = 4.44f w_{3ч} \left( \frac{w_{1к}}{R_{\mu 1\varepsilon} + R_{\mu 3\varepsilon} + R_{\mu \delta 1\varepsilon} + R_{\mu \delta 3\varepsilon}} I_A + \frac{w_{2к}}{R_{\mu 2\varepsilon} + R_{\mu 3\varepsilon} + R_{\mu \delta 2\varepsilon} + R_{\mu \delta 3\varepsilon}} I_B + \frac{w_{3к}}{R_{\mu 3\varepsilon} + R_{\mu \delta 3\varepsilon}} I_C \right);$$

бу ерда:  $f$ -электр тоқининг частотаси,  $W_{1к}, W_{2к}, W_{3к}$ -кириш чулғамлари ўрамлар сони,  $W_{1ч}, W_{2ч}, W_{3ч}$ -сезгир элементлар (чулғамлар) чиқиш чулғамларининг ўрамлар сонлари,  $R_{\mu 1\Sigma}, R_{\mu 2\Sigma}, R_{\mu 3\Sigma}, R_{\mu \delta 1\Sigma}, R_{\mu \delta 2\Sigma}, R_{\mu \delta 3\Sigma}, I_A, I_B, I_C$  - бирламчи токлар ҳосил қилган  $\Phi'_{\mu 1}, \Phi'_{\mu 2}, \Phi'_{\mu 3}$  магнит оқимларининг магнит ўзак ва ҳаво оралиқларининг  $\delta_1, \delta_2, \delta_3$  дан оқиб ўтиш йўлининг магнит қаршиликлари, уларнинг қийматлари тарқалган параметрли модел асосида аниқланади:

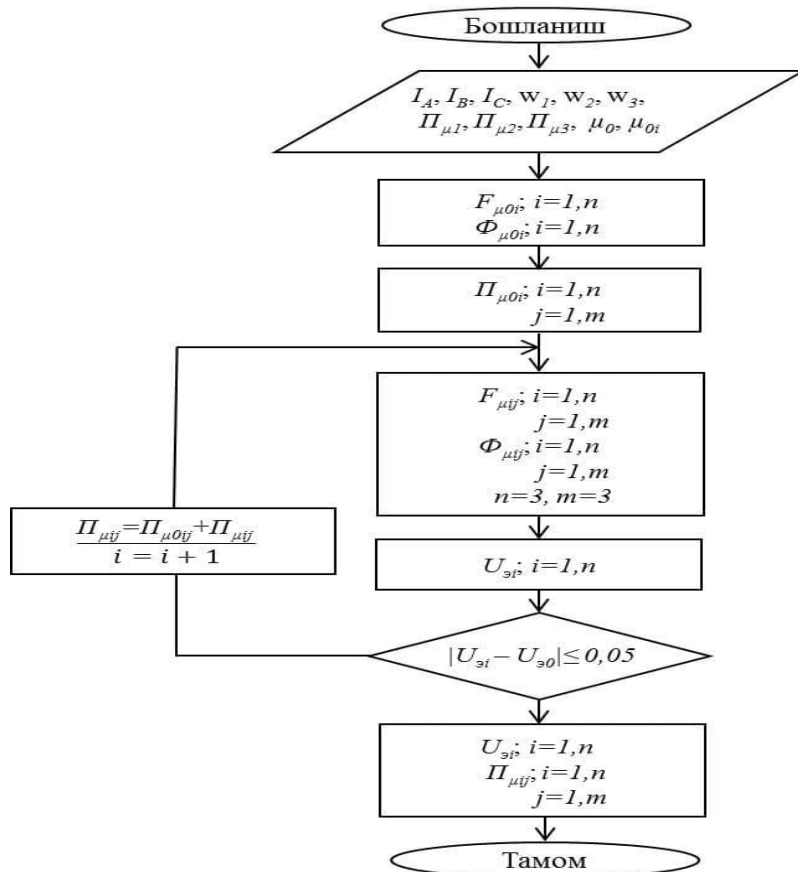
$$R_{\mu} = \rho_{\mu} L_{\mu} / F = L_{\mu} / \mu F, \quad R_{\mu \delta} = \rho_{\mu \delta} \delta / F = \delta / \mu_o F,$$

бу ерда:  $\rho_{\mu}, \rho_{\mu \delta}$ -магнит ўзак материали ва сезгир элемент жойлаштирилган ҳаво оралиқлари солиштирма магнит қаршиликлари.

Келтирилган моделда асосий ўзгарувчилар сифатида  $I_A, I_B, I_C$ -бирламчи токлар (1-500 ампер чегарада).  $W_{1к}, W_{2к}, W_{3к}$ -кириш чулғамлари ўрамлар сони (1-5) ўрамлар сони,  $W_{1ч}, W_{2ч}, W_{3ч}$ -сезгир элементлар (чулғамлар) чиқиш чулғамлар ўрамлар сонлари  $W_{1к}, W_{2к}, W_{3к} = (20-200)$  ўрам диапазонга ўзгартирилиши  $R_{\mu 1\Sigma}, R_{\mu 2\Sigma}, R_{\mu 3\Sigma}, R_{\mu \delta 1\Sigma}, R_{\mu \delta 2\Sigma}, R_{\mu \delta 3\Sigma}$  ўзгартириш бўлақларининг

магнит қаршилиқлари  $\mu, \mu_0$  нинг қийматлари  $L_\mu, F_\mu$  магнит қаршилиғи оралиғининг бўлакчаси узунлиғи ва кўндаланг кесим юзасини ўзгартириб, модел асосида тадқиқотлар олиб борилган.

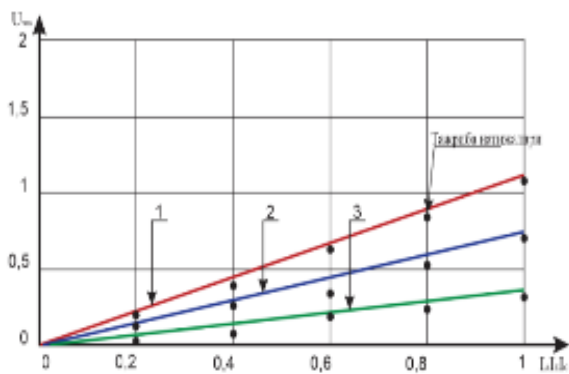
Функцияларининг имкониятлари кенгайтирилган токни кучланишга электромагнит ўзгартгичларнинг иккиламчи кучланишлари тадқиқоти статик ва динамик моделлари тадқиқоти 5-расмда келтирилган алгоритм асосида амалга оширилади.



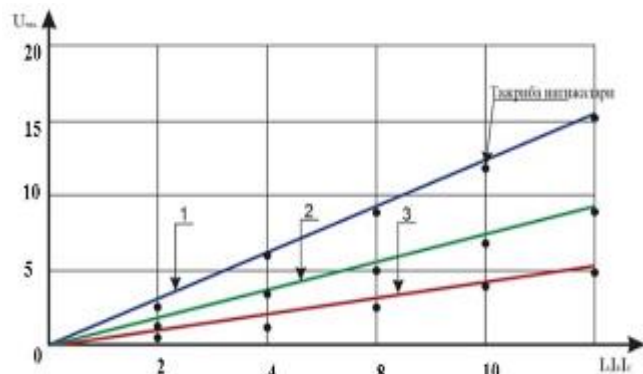
5-расм. Ўзгартгичларнинг тавсифлари тадқиқоти алгоритми.

Функцияларининг имкониятлари кенгайтирилган токни кучланишга электромагнит ўзгартгичларнинг бирламчи чўлғамлар сони  $W_1=1(3)$ ,  $W_1=2(2)$ ,  $W_1=3(1)$  га тенг бўлганда, иккиламчи чулғамлар сони  $W_2=100$  га тенг бўлгандаги ҳолат учун ( $U_{\text{чик}}$ ) чиқиш кучланишининг бирламчи чулғамлар сонига боғлиқлик графиги 6-а расмда берилган. Бунда бирламчи тоқлар  $I_1=0.2-1$  А, тармоқ частотаси  $f=50$  Гц, сезгир элементи актив юзаси  $F_{\text{чул}}=0.0001$  м<sup>2</sup>,  $F_{\text{пўлат}}=0.0004$  м<sup>2</sup>,  $L_{\text{пўлат ўзак}}=0.05$  м пўлат ўзак узунлиғи, ҳаво оралиқ  $L_x=0.001$  м.ни ташкил этади.

Ўзгартгичнинг бирламчи чўлғамлар сони  $W_1=2(3)$ ,  $W_1=3(2)$ ,  $W_1=5(1)$ , га тенг бўлганда, иккиламчи чулғамлар сони  $W_2=20$  га тенг бўлгандаги ҳолат учун ( $U_{\text{чик}}$ ) чиқиш кучланишининг бирламчи чулғамлар сонига боғлиқлик графиги 6-б расмда берилган. Бунда бирламчи тоқлар  $I_1=0.2-10$  А, тармоқ частотаси  $F=50$  Гц, сезгир элементи актив юзаси  $F_{\text{чул}}=0.002$  м<sup>2</sup>,  $F_{\text{пўлат}}=0.004$  м<sup>2</sup>,  $L_{\text{пўлат ўзак}}=0.01$  м пўлат ўзак узунлиғи, ҳаво оралиқ  $L_x=0.001$  м.



а)

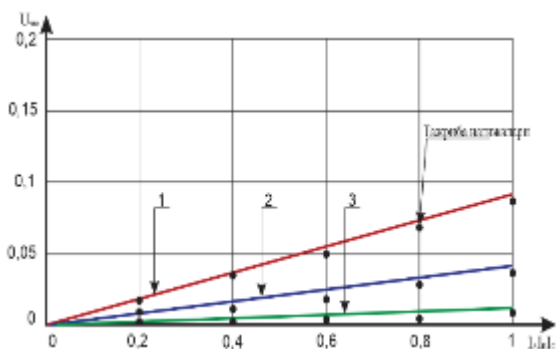


б)

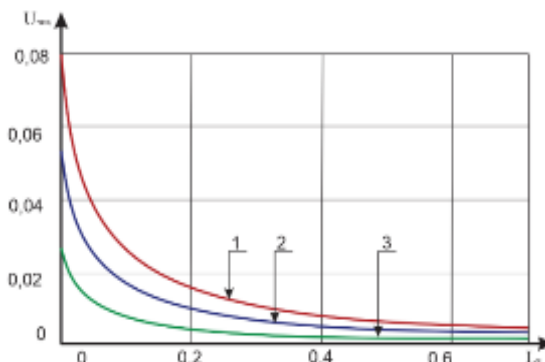
6-расм. ( $U_{\text{чик}}$ ) кучланишининг бирламчи чулғамлар сонига боғлиқлик графиги ( $W_1=1,2,3$ ,  $W_2=100$  – 6а-расм) ва ( $W_1=2,3,5$ ,  $W_2=20$  – 6б-расм).

Функцияларининг имкониятлари кенгайтирилган токни кучланишга электромагнит ўзгартгичнинг бирламчи чулғамлар сони  $W_1=1$  га тенг, иккиламчи чулғамлар сони  $W_2=200$  га тенг бўлгандаги ҳолат учун ( $U_{\text{чик}}$ ) чиқиш кучланишининг ( $F_{\text{пўлат}}$ ) пўлат ўзак юзасининг ҳар хил ўлчамларига боғлиқлик графиги 7-а расмда берилган бўлиб, бу графикда бирламчи тоқлар  $I_1=0.2-1$  А, тармоқ токи частотаси  $f=50$  Гц, сезгир элемент актив юзаси  $F_{\text{чул}}=0.0001$  м<sup>2</sup>, пўлат ўзак узунлиги  $L_{\text{пўлат ўзак}}=0.05$  м, ҳаво орлиқ  $L_x=0.001$  м. Пўлат ўзак юзаси ҳар хил ўлчамлари:  $F_{\text{пўлат}}=0.0001$  м<sup>2</sup> (яшил-1),  $F_{\text{пўлат}}=0.0004$  м<sup>2</sup> (кўк-2),  $F_{\text{пўлат}}=0.0009$  м<sup>2</sup> (қизил-3) ни ташкил этади.

Функцияларининг имкониятлари кенгайтирилган электромагнит токни кучланишга ўзгартгичнинг чиқиш ( $U_{\text{чик}}$ ) кучланишининг ҳаво орлиқ ( $L_x$ ) ўлчамларига боғлиқлик графиги 7-б расмда берилган бўлиб, бирламчи чулғамлар сони  $W_1=2$ , иккиламчи чулғамлар сони  $W_2=200$  га тенг, бирламчи тоқлар  $I_1=100$  А (Яшил-3),  $I_1=200$  А (Кўк-2),  $I_1=300$  А (Қизил-1) бўлган ҳолатлар. Тармоқ частотаси  $f=50$  Гц, сезгир элементининг актив юзаси  $F_{\text{чул}}=0.0001$  м<sup>2</sup>, пўлат ўзакнинг актив юзаси  $F_{\text{пўлат}}=0.0004$  м<sup>2</sup>, пўлат ўзак магнит оқими йўлининг узунлиги  $L_{\text{пўлат ўзак}}=0.05$  м.ни ташкил этади.



а)



б)

7-расм. а) ўзгартгичнинг бирламчи чулғамлар сони  $W_1=1$  га тенг, иккиламчи чулғамлар сони  $W_2=200$  га тенг бўлгандаги ҳолат учун ( $U_{\text{чик}}$ ) чиқиш кучланишининг ( $F_{\text{пўлат}}$ ) пўлат ўзак юзасининг ўлчамларига боғлиқлик графиги; б) ўзгартгич ( $U_{\text{чик}}$ ) чиқиш кучланишининг ҳаво орлиқ ( $L_x$ ) ўлчамларига боғлиқлик графиги.

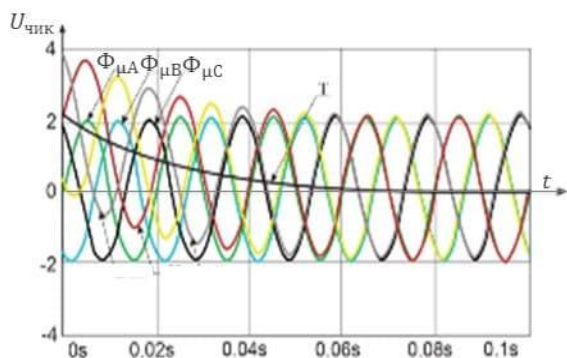


Тарқалган параметрли моделларнинг ҳисоблаш натижаларидан шуларни хулоса қилиш мумкинки,  $l_{x.o}$  ҳаво оралиғининг қиймати ортганида, кучланиш кўринишдаги  $U_{эчик}$  чиқиш сигнали қиймати кескин камаяди, сезгир элементлар ўрамлари сонини ортиши чиқиш сигнали қийматини ўзгаришига тўғри таъсир қилади, сезгир элементлар кесимининг ўзгариши эса сигнал кўринишдаги чиқиш кучланишини чизикли ўзгаришини таъминлайди. Тарқалган параметрли моделларнинг ҳисоблаш натижаларидан шуни кўриш мумкинки, сезгир элементнинг ўрамлар сони  $W_2=20-100$  ўрамлар сонига тенг бўлганда, ҳаво оралиғининг баландлиги 0,0003- 0,001 м бўлганда чиқиш сигнали рационал қийматга эга бўлади.

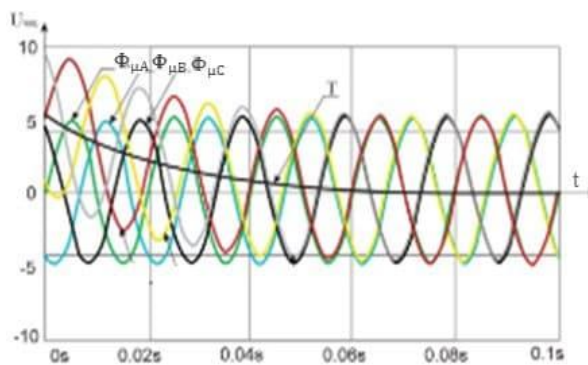
Уч фазали учта сезиш элементли ўзгартгичнинг бирламчи чўлғамларидан оқиб ўтадиган электр юкламаларга уланганида ўтиш режимида магнит оқими оний қийматларининг бундай ортишлари – ўзгартгичларнинг бирламчи чўлғамлари орқали оқиб ўтадиган нормал токларни кўп мартага ошириши мумкин бўлган магнитловчи токнинг кескин ортишини пайдо бўлишига олиб келади. Актив қаршилиқнинг бўлиши юқори частотали тебранишларнинг сўнишига олиб келади ва ток эгрилиги  $u(t)$  кучланишга нисбатан фазалар бўйича илгарилаб кетадиган  $\varphi$  силжиши ўрнатилган синусоидал характерга эга бўлади.

Агар электр тармоғи индуктивликсиз ( $L_o = 0$ ) бўлганида, у ҳолда токнинг бошланғич кескин ортиши кузатилар эди, шундан бошлаб ток аста-секин ўрнатиладиган синусоидал қийматга яқинлашади.

Реактив қувватини бошқариш тизимида манба ҳолатини аниқлаш ўзгартгичининг динамик режими магнит занжиридаги магнит оқимнинг вақт бўйича ўзгариши графиклари аниқланади (8–расм. -бирламчи чулғам  $W_{кир}=1$ га тенг, иккиламчи чулғам  $W_{чик} = 20$  га тенг бўлганда, 9–расм. бирламчи чулғам  $W_{кир}=3$ , иккиламчи чулғам  $W_{чик} = 20$  га тенг бўлганда).



8-расм. Ўзгартгичлардан ток оқиб ўтган ҳолатда тизимдаги магнит оқимларнинг ўзгариш графиклари ( $W_{кир} = 1$ ,  $W_{чик} = 20$ ).



9-расм. Ўзгартгичлардан ток оқиб ўтган ҳолатда тизимдаги магнит оқимларнинг ўзгариш графиклари ( $W_{кир} = 3$ ,  $W_{чик} = 20$ ).

Магнит оқимнинг ўзгариши графиклари асосида хулоса қилиш мумкинки, ўзгартгичларнинг ўзгартириш магнит тизимида ўрнатилган режимида электр юкламанинг бирламчи чўлғамларидан оқиб ўтадиган тўла

ток магнит ўтказгичнинг сезгир элементида ўртача 0,06- 0,065 секундларда тўлиқ ўзининг турғунлик қийматига эришади.

Функцияларининг имконияти кенгайтирилган электромагнит ток ўзгартгичларининг ишончлилик ва иш ҳолати кўрсаткичлари 10-расмда кўрсатилган схема асосида тадқиқ этилди, бунда ўзгартгич элементларининг хаммаси иш ҳолатда бўлганда ўлчов схемаси иш ҳолатда бўлади деб қабул қилинди.



10-расм. Функцияларининг имкониятлари кенгайтирилган токни кучланишга электромагнит ўзгартгичнинг тузилиш схемаси.

БЧ – бирламчи чулғам, ЭМ – электромагнит ўзак, СЭ – сезгир элемент.

Схемага кўра, функцияларининг имкониятлари кенгайтирилган электромагнит ток ўзгартгичларининг элементларини иш ҳолатдаги эҳтимоллиги кўпайтириш эҳтимоллиги қонуни қабул қилинган.

$$P_{ўзг} = P_{ў,б,ч} \times P_{ў,м,ў} \times P_{сез,э} = 0,99 \times 0,99 \times 0,99 = 0,97$$

Ўзгартгичнинг ишдан чиқиш эҳтимоллиги:

$$Q_{ўзг} = 1 - P_{ўзг} = 1 - 0,97 = 0,03$$

Диссертациянинг «**Реактив қувват назорат ва бошқарувида функцияларининг имкониятлари кенгайтирилган ток ўзгартгичларининг амалий тадқиқлари**» деб номланган тўртинчи бобида реактив қувват назорат ҳамда бошқарув тизими учун ишлаб чиқилган функцияларининг имкониятлари кенгайтирилган бир, икки ва уч сезгир элементли уч фазали токни электромагнит ўзгартгичларнинг тузилиш тамойили, кучланиш кўринишидаги чиқиш сигналининг катталиқ ва параметрларини тадқиқ этиш натижалари келтирилган.

Реактив қувватни бошқариш тизимлари учун уч фазали, уч сезгир элементли функционал имкониятлари кенгайтирилган электромагнит ток ўзгартгичларининг модели яратилган (11а-расм).



а)



б)

11–расм. а) Реактив қувватни бошқариш тизимлари учун функционал имконияти кенгайтирилган, электромагнит ток ўзгартгичларининг кўриниши, б) тадқиқот стенди.

Тажриба тадқиқотлари Жиззах политехника институти “Энергетика” кафедрасида “Электр энергиясини тижорат ҳисоби автоматлаштирилган тизими” (11-б расм) лаборатория тадқиқотлари мажмуаси қурилмалари ёрдамида амалга оширилган.

## ХУЛОСА

“Реактив қувватни бошқариш тизимлари учун функцияларининг имкониятлари кенгайтирилган электромагнит токни кучланишга ўзгартгичлар” мавзусидаги фалсафа доктори (PhD) диссертацияси бўйича олиб борилган тадқиқотлар натижасида қуйидаги хулосалар тақдим этилади:

1. Ишлаб чиқилган ва тадқиқ этилган токни кучланишга функцияларининг имкониятлари кенгайтирилган электромагнит ўзгартгичлар электр таъминоти тизимида реактив қувватни бошқариш учун ишончли бошқариш имкониятлари, ахборот ўлчов воситалари учун меъёрий сигналларни олиш ва энергия таъминоти тизимларида уч фазали ток катталигини белгиланган аниқликда ва тезкорликда таъминлаш имконини берган.

2. Сигнал ўлчов-ўзгартириш функцияларининг имкониятлари кенгайтирилган электромагнит ўзгартгичлар ёрдамида электр таъминоти тизимлари электр тармоқлари бирламчи фазаларидан оқаётган уч фазали тоқлар ҳосил қилган ўзаро таъсирлашувчи магнит оқимлар катталиклари ва ўзгаришларига мос келувчи ҳамда ўзгартгичнинг иккиламчи чўлғамида кучланиш кўринишидаги сигналлар ҳосил қилиш тамойили яратилган. Яратилган тамойил асосида шакллантирилган ўзгартгич тузилмасига Ўзбекистон Республикаси Интеллектуал мулк агентлиги томонидан янгилик сифатида “Токни кучланишга ўзгартгич” номли ихтирога патент олинган (Патент № IAP 04907, 28.05.2014 й. амал қилиш муддати 20 йил).

3. Сигнал ўлчов-ўзгартириш функцияларининг имкониятлари кенгайтирилган уч фазали учта сезгир элементли электромагнит ўзгартгичларининг статик ва динамик моделлари сезгир элементларини узунлиги  $L_x = 0.0003-0.001$  м. бўлган ҳаво оралиғида жойлаштирилганда ва сезгир элементларнинг юзалари  $F_{\text{чул}} = 0.002$  м<sup>2</sup>,  $F_{\text{пўлат}} = 0.004$  м<sup>2</sup>, пўлат ўзак узунлиги  $L_{\text{пўлат ўзак}} = 0.01$  м. ва иккиламчи чулғам ўрамлар сони  $W_2 = 100$  га тенг бўлганда чиқиш кучланишининг меъёрий қиймати ( 20 В) таъминланган.

4. Электр таъминоти тизими реактив қувват бошқаруви сигнал ўлчов-ўзгартириш функцияларининг имкониятлари кенгайтирилган, уч фазали, учта сезгир элементли, токни кучланишга электромагнит ўзгартгичи бирламчи тоқларга улангандан кейин 0,060–0,065 сония вақт ўтгач чиқиш сигналининг турғун ҳолатини шакллантириш имконини берган (белгиланган талаб бўйича турғун ҳолатнинг шаклланиш вақти 0,2 сониядан ошмаслиги керак).

5. Яратилган ишончлилик кўрсаткичларининг модели асосидаги ҳисоблар ва натижалар шуни кўрсатдики, функционал имконияти кенгайтирилган уч фазали уч сезгир элементли бирламчи тоқларни

иккиламчи кучланишга электромагнит ток ўзгартгичларининг иш қобилиятини таъминлаш умумий эҳтимоллиги  $P_{\text{ум,ўзг}} = 0,97$  ни ташкил этган.

6. Сигнал ўлчов-ўзгартириш функцияларининг имкониятлари кенгайтирилган электромагнит токни кучланишга ўзгартгичларнинг тарқалган параметрли статик ва динамик моделлари Android операцион тизимларида шакллантирилган дастурий таъминотлари IoT технологиясининг интернет иловаси кўринишида яратилган ва Ўзбекистон Республикаси Интеллектуал мулк агентлиги томонидан “Тарқалган параметрли уч фазали учта сезгир элементли ўзгартгичларнинг тавсифларини тадқиқоти дастурий таъминоти” номли электрон ҳисоблаш машиналари дастурлари расмий рўйхатдан ўтказилган (Гувоҳномалар: № DGU 06465, 17.05.2019, № DGU 07373, 19.12.2019, № DGU 07500, 08.01.2020).

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

---

**ТАШКЕНТСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ  
УНИВЕРСИТЕТ**

**АНАРБОЕВ МУХИДДИН АЛМАНОВИЧ**

**ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫЕ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛИ ТОКА В  
НАПРЯЖЕНИЕ С РАСШИРЕННЫМИ ФУНКЦИОНАЛЬНЫМИ  
ВОЗМОЖНОСТЯМИ ДЛЯ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ РЕАКТИВНОЙ  
МОЩНОСТЬЮ**

**05.01.06 – Элементы и устройства вычислительной техники и системы управления**

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

**Ташкент – 2021**

Тема диссертации доктора философии (PhD) зарегистрирована в Высшей аттестационной комиссии при Кабинете Министров Республики Узбекистан за В2018.2.PhD/T689.

Диссертация выполнена в Ташкентском государственном техническом университете и Джизакском политехническом институте.

Автореферат диссертации на трех языках (узбекский, русский, английский (резюме)) размещен на веб-странице Научного совета (www.tdtu.uz) и Информационно-образовательном портале «ZiyoNET» (www.ziynet.uz.).

**Научный руководитель:** Сиддиқов Илхомжон Хақимович  
доктор технических наук, профессор

**Официальные оппоненты:** Улжаев Эркин  
доктор технических наук, доцент

Алиев Равшан Маратович  
доктор технических наук, доцент

**Ведущая организация:** Бухарский инженерно-технологический институт

Защита диссертации состоится «19» 06 2021 года в 10<sup>00</sup> часов на заседании Научного совета DSc.03/30.12.2019.T.03.02 при Ташкентском государственном техническом университете (Адрес: 100095, г. Ташкент, ул. Университетская, 2. Тел: (99871) 246-46-00; факс: (99871) 227-10-32; e-mail: tstu\_info@tdtu.uz).

С диссертацией можно ознакомиться в Информационно-ресурсном центре Ташкентского государственного технического университета (регистрационный номер №210) (Адрес: 100095, г. Ташкент, ул. Университетская, 2. Тел.: 246-03-41).

Автореферат диссертации разослан «04» 06 2021 года.  
(реестр протокола рассылки № 2 от «01» 02 2021 года).



**Н.Р. Юсупбеков**  
Председатель Научного совета по  
присуждению ученых степеней,  
д.т.н., профессор, академик

**У.Ф.Мамиров**  
Ученый секретарь Научного совета по  
присуждению ученых степеней,  
доктор философии (PhD) по техническим наукам

**Х.З.Игамбердиев**  
Председатель Научного семинара при  
Научном совете по присуждению ученых  
степеней, д.т.н., профессор, академик

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

**Актуальность и востребованность темы диссертации.** В мире большое внимание уделяется совершенствованию элементов и устройств контроля и управления источниками электроснабжения при обеспечении потребителей энергии качественной и бесперебойной электроэнергией. Обеспечение потребителей высококачественной электроэнергией связано с такими параметрами, как расширенная функциональная возможность системы контроля и управления, а также высокая чувствительность устройств, надежная работа и точность данных. Поэтому особое внимание уделяется разработке и применению элементов первичного измерения и преобразования, их принципов построения, алгоритмов исследования и программного обеспечения, а также расширению функциональных возможностей информационно-измерительных устройств. В этом отношении большое значение приобретают создание, а также внедрение в практику элементов контроля и управления реактивной мощности, а также расширению функциональных возможностей измерительных и преобразовательных устройств в системах обеспечения электроэнергией развитых стран.

В мире проводится ряд научных исследований, направленных на совершенствованию величин и параметров энергии, производимой источниками реактивной мощности электроэнергии, элементов и средств контроля и управления, а также на его основе систем обеспечения электроэнергией. Одним из основных требований в этом направлении является обеспечение качественными сигналами устройств контроля и управления величин и параметров реактивной мощности электроэнергии. Поэтому важное значение приобретают различные преобразователи, применяемые при контроле и управлении источниками реактивной мощности обеспечения электроэнергией, мониторинге, планировании производимой и потребляемой электроэнергии, экономии и моделирование на основе рациональных алгоритмов процессов, происходящих в их структуре. В исследованиях особое внимание уделяется на строение элементов, исследование величин и параметров, программное обеспечение, разработку передовых технических решений преобразователей сигнала контроля и управления.

В нашей республике осуществляются целевые меры и широкомасштабные работы, направленные на развитие элементов, устройств, средств и систем контроля и управления источниками реактивной мощности системы обеспечения электроэнергией. В Стратегии действий по дальнейшему развитию Республики Узбекистан определены, в частности, такие задачи, как «внедрение информационно-коммуникационных технологий в экономику, социальную сферу, систему управления, сокращение энергоемкости и ресурсоемкости экономики, широкое внедрение в производство энергосберегающих технологий»<sup>1</sup>. Реализация данных задач, в частности, создание новых циклов

---

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

элементов и средств, принимающих участие в процессе контроля и управления реактивной мощности в системе обеспечения электроэнергией, разработка и внедрение в практику первичных информационно-измерительных и преобразовательных элементов и устройств, считаются важными задачами.

Данное диссертационное исследование в определенной степени служит реализации задач, предусмотренных в Указе Президента Республики Узбекистан №УП-4947 от 7 февраля 2017 года «О Стратегии действий по дальнейшему развитию Республики Узбекистан», постановлениях главы государства №ПП-3238 от 23 августа 2017 года «О мерах по дальнейшему внедрению современных энергоэффективных и энергосберегающих технологий», №ПП-2343 от 5 мая 2015 года «О Программе мер по сокращению энергоемкости, внедрению энергосберегающих технологий в отраслях экономики и социальной сфере на 2015–2019 годы», №ПП-3012 от 26 мая 2017 года «О программе мер по дальнейшему развитию возобновляемой энергетики, повышению энергоэффективности в отраслях экономики и социальной сфере на 2017-2021 годы», №ПП-4422 от 22 августа 2019 года «Об ускоренных мерах по повышению энергоэффективности отраслей экономики и социальной сферы, внедрению энергосберегающих технологий и развитию возобновляемых источников энергии», а также в других нормативно-правовых актах, касающихся данной сферы.

**Соответствие исследования приоритетным направлениям развития науки и технологий республики.** Данное исследование выполнено в соответствии с приоритетными направлениями развития науки и технологии Республики П. «Энергетика, энергия и ресурсосбережение» и IV. «Информатизация и развитие информационно-коммуникационных технологий».

**Степень изученности проблемы.** Принципы реализации процессов контроля и управления источниками реактивной мощности системы обеспечения электроэнергией требуют таких элементов, как электрические, магнитные, способных измерять и преобразовать в удобный вид (электрический сигнал) при преобразовании, передаче, обработке и учете на соответствующей основе физических величин и параметров, контролируемых в первичных электромагнитных преобразователях величин и параметров разного характера. Поэтому при создании непрерывной и надежной системы электроснабжения проводятся целенаправленные научно-исследовательские работы по исследованию преобразователей, генерирующих сигналы в виде напряжения, соответствующего значению первичных электрических токов.

В этом направлении научные исследования проводили известные зарубежные ученые Н.Schaumburg, R.Hanitch, I.Rampias, Б.С.Сотсков, Л.А.Островский, В.П.Миловзоров, Е.П.Осадчий, М.Ф.Зарипов, А.А.Преображенский, М.М.Белов, Н.Е.Конюхов, Е.С.Левщина, П.В.Новицкий, М.А.Ураксеев. Равно как научно-исследовательские работы известных ученых нашей республики А.А.Абдукаюмова, Р.К.Азимова, С.Ф.Амирова, Ш.М.Гулямова, Х.З.Игамбердиева, А.М.Плахтиева, Ю.Г.Шипулина,



Н.Р.Юсупбекова, Э.Улжаева, И.Х.Сиддикова посвящены решению рассматриваемых проблем и задач.

Результаты анализа показали, что вопросы комплексного применения современных техники и технологий при контроле и управлении одно-, двух- и трехфазными токами, а также источниками реактивной мощности с напряжением, моделирования и алгоритмизации процессов формирования нормированных сигналов для управления и мониторинга, структурного и параметрического проектирования трехфазных электромагнитных преобразователей при контроле и управлении источников реактивной мощности электроэнергии, разработки и реализации элементов и устройств измерения и преобразования сигналов в виде вторичного напряжения не изучены в достаточной степени.

**Связь темы исследования с планом научно-исследовательских работ высшего образовательного учреждения, где выполнена диссертация.** Диссертационное исследование выполнено в рамках проектов ИОТ 2013-2-28 «Внедрение автоматических регуляторов энергосберегающих источников реактивной мощности на промышленных предприятиях» (2013-2014), № VN 81182259 «Pilot project of Uzbekistan: Climate Change mitigation in rural areas of Uzbekistan — demonstration project at private farm Furqat of Pakhtakor district in the Mirzachul steppe» (2014-2017) и № БВ-А3-027 «Разработка и внедрение системы управления электроснабжением зданий с источниками автономной энергии» (2017-2018) планов научно-исследовательских работ Джизакского политехнического института и Ташкентского университета информационных технологий.

**Цель исследования** состоит из разработки моделей электромагнитных преобразователей трехфазных токов реактивной мощности в сигнал с расширенными функциональными возможностями измерения и преобразования с одним-, двумя- и тремя чувствительными элементами.

**Задачи исследования:**

анализировать принципы построения, модели и области применения преобразователей измерения и преобразования трехфазных токов в сигнал для контроля и управления реактивной мощностью электроэнергии;

создать модели электромагнитных преобразователей измерения и преобразования трехфазных токов в сигнал с расширенными функциональными возможностями и одним-, двумя- и тремя чувствительными элементами;

разработать статические, динамические модели электромагнитных преобразователей измерения и преобразования трехфазных токов в сигнал с расширенными функциональными возможностями и одним-, двумя-и тремя чувствительными элементами;

исследовать показатели надежности и рабочего состояния электромагнитных преобразователей измерения и преобразования трехфазных токов в сигнал с расширенными функциональными возможностями и одним-, двумя- и тремя чувствительными элементами системы контроля и управления реактивной мощностью;

создать и применить на практике IoT-модель, программное обеспечение электромагнитных преобразователей измерения и преобразования трехфазных токов в сигнал с расширенными функциональными возможностями и одним-, двумя- и тремя чувствительными элементами для контроля и управления реактивной мощностью системы электроснабжения.

**Объектом исследования** выбраны электромагнитные преобразователи измерения и преобразования трехфазных токов в сигнал с расширенными функциональными возможностями и одним-, двумя- и тремя чувствительными элементами управления реактивной мощностью системы электроснабжения.

**Предмет исследования** составляют процессы образования сигнала в виде вторичных напряжений электромагнитных преобразователей измерения и преобразования трехфазных токов в сигнал с расширенными функциональными возможностями и одним-, двумя- и тремя чувствительными элементами.

**Методы исследования.** В ходе исследования применялись методы вычисления величин и параметров электрических и магнитных цепей, теории погрешностей, графов и сигналов, цифровой обработки и передачи, проектирования и моделирования электромагнитных преобразователей.

**Научная новизна исследования** заключается в следующем:

впервые создана установка электромагнитного преобразователя с одним-, двумя- и тремя чувствительными элементами при преобразовании трехфазных токов реактивной мощности электроэнергии в сигнал в виде напряжения;

разработаны критерии обеспечения нормированности, линейности и высокой точности выходного сигнала на основе характеристик статических и динамических моделей электромагнитного преобразователя трехфазных токов с распределенными параметрами;

разработана структурная модель показателей надежности электромагнитного преобразователя с тремя чувствительными элементами;

создана IoT модель электромагнитных преобразователей с одним-, двумя- и тремя чувствительными элементами преобразования трехфазных первичных токов во вторичное напряжение.

**Практические результаты исследования** заключаются в следующем:

разработана на основе требований управления реактивной мощностью системы электроснабжения физическая модель трехфазного чувствительного элемента структуры преобразователя измерения и преобразования вторичного сигнала в виде напряжения;

разработано программное обеспечение, позволяющее вычислить нормировку, линейность и высокую точность величины выходного напряжения преобразователей измерения и преобразования трехфазных токов в сигнал с расширенными функциональными возможностями, тремя чувствительными элементами и распределенными параметрами;

разработано программное обеспечение исследования статических и динамических характеристик преобразователя измерения и преобразования трехфазных токов в сигнал с расширенными функциональными возможностями, тремя чувствительными элементами и распределенными

параметрами;

получены свидетельства и внедрены в практику программные средства IoT-технологии исследования характеристик преобразователей величины первичного трехфазного полного тока на выходное вторичное напряжение для систем управления реактивной мощностью;

повышена на 2,6% точность расчета статической характеристики преобразователя измерения и преобразования трехфазного тока в сигнал с тремя чувствительными элементами, распределенным параметром и расширенными функциональными возможностями.

**Достоверность результатов исследования** обосновывается путем сравнительного сопоставления принципов, моделей, статических, динамических, метрологических и технических характеристик структуры электромагнитных преобразователей измерения и преобразования трехфазных токов в сигнал с расширенными функциональными возможностями и одним-, двумя- и тремя чувствительными элементами, разработанных для систем контроля и управления реактивной мощностью на основе общепринятых критериев по полученным результатам.

#### **Научная и практическая значимость результатов исследования.**

Научная значимость результатов исследования обосновано формированием статических и динамических моделей, алгоритмов, критериев обеспечения нормировки, линейности, высокой точности и надежности объема выходного напряжения электромагнитных преобразователей измерения и преобразования трехфазных токов в сигнал с расширенными функциональными возможностями и одним-, двумя- и тремя чувствительными элементами.

Практическая значимость результатов исследования обосновано расширением функций изменения объемов и углов трехфазных токов при контроле и управлении реактивной мощностью системы электроснабжения, разработкой и применением на практике электромагнитных преобразователей измерения и преобразования трехфазных токов в сигнал с расширенными функциональными возможностями, одним-, двумя- и тремя чувствительными элементами и нормированным выходным сигналом.

**Внедрение результатов исследования.** На основе результатов, полученных по преобразователям электромагнитного тока в напряжение с расширенными функциональными возможностями для систем управления реактивной мощностью:

получен патент Агентства интеллектуальной собственности Республики Узбекистан на изобретение трехфазного устройства преобразователь тока в напряжение (IAP 04907, 2014 г.). Созданные трехфазные преобразователи с тремя чувствительными элементами дали возможность обеспечения нормированности, линейности и высокой точности величины выходного напряжения;

программные средства, созданные для статических и динамических моделей электромагнитных преобразователей трехфазного тока в напряжение с тремя чувствительными элементами и распределенным параметром, модели

IoT-технологии преобразователей внедрены в АО «Джизакское предприятие территориальных электрических сетей» (справка Министерства энергетики от 3 февраля 2020 г. № 05-13-1351). В результате появилась возможность повышения на 2,6% точности вычисления статических и динамических величин трехфазного преобразователя с тремя чувствительными элементами, распределенным параметром и расширенными функциональными возможностями.

**Апробация результатов исследования.** Результаты исследования прошли обсуждения на 3 международных и 2 республиканских научно-практических конференциях.

**Опубликованность результатов исследования.** По теме исследования опубликовано 8 статей в научных изданиях, рекомендованных ВАК Республики Узбекистан для опубликования основных научных результатов докторских диссертаций, из них 2 в зарубежных журналах.

**Структура и объем диссертации.** Диссертация состоит из введения, четырех глав, заключения, списка использованной литературы и приложений. Объем диссертации составляет 115 страниц.

## ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ ДИССЕРТАЦИИ

Во **введении** обоснованы актуальность и востребованность темы диссертации, описаны цель и задачи, объект и предмет исследования, показано соответствие исследования приоритетным направлениям развития науки и технологий республики, изложены научная новизна и практические результаты исследования, раскрыты теоретическая и практическая значимости полученных результатов, приведены сведения о внедрении в практику результатов исследования, опубликованных работах и структуре диссертации.

В первой главе диссертации, названной **«Преобразователи тока контроля и управления реактивной мощностью электроэнергии»**, проанализированы значение, величина и особенности реактивной мощности в системе электроснабжения. Рассмотрены типы источников реактивной мощности, условия их выбора, виды защиты.

Приведены принципы контроля и управления реактивной мощностью, преобразования данных величины и углов трехфазного первичного тока в сигнал в виде вторичного напряжения, преобразователи, обеспечивающие контроль и управление сигналом, основы структуры преобразователя трехфазного первичного тока во вторичное напряжение, цель и задачи диссертационной работы.

Управление и контроль реактивной мощности считаются важными задачами в системах электроснабжения. При этом величина, параметры электроэнергии и их изменение связаны с системой контроля и управления и вопросами правильного выбора и проектирования использованных в них преобразователей первичного тока и напряжения. На основе анализа литературы и обобщения материалов, а также анализа степени изученности рассматриваемых проблем определены основные цели и задачи

диссертационного исследования.

$S$  – полная мощность, передаваемая от устройства передачи энергии или электрической сети, определяется следующим образом:

$$S = \sqrt{P^2 + Q^2}$$

и в этом случае трехфазный ток равен:

$$I = \frac{\sqrt{P^2 + Q^2}}{\sqrt{3} \cdot U},$$

где  $P$  – активная мощность (Вт, кВт, мВт),  $Q$  – реактивная мощность (ВАр, кВАр, мВАр),  $U$  – напряжение (В, кВ).

При установке источников реактивной мощности с величиной  $Q_k$  на конце линии электропередачи системы электроснабжения, то есть компенсирующих устройств, общая мощность и ток определяются следующим образом:

$$S^B = \sqrt{P^2 + (Q - Q_k)^2},$$

$$I^B = \frac{\sqrt{P^2 + (Q - Q_k)^2}}{\sqrt{3} \cdot U},$$

где:  $Q_k$  – установленная реактивная мощность источника реактивной мощности, используемого в качестве компенсирующего устройства.

Предварительный анализ структур преобразователей электромагнитного тока электроэнергии и сравнительная оценка их возможностей показали, что по простоте, высокой надежности и экономичности технологии подготовки структуры для управления реактивной мощностью в системе электроснабжения самыми перспективными считаются электромагнитные преобразователи с расширенными функциональными возможностями, преобразующие трехфазное значение полного тока в выходной сигнал в виде напряжения.

Во второй главе диссертации под названием «**Моделирование процессов изменения электромагнитного тока и структуры преобразователей**» приведены процесс преобразования первичной мощности и энергии из первичного тока во вторичное напряжение электромагнитных преобразователей тока с расширенными функциональными возможностями, применяемых для систем управления реактивной мощностью электроэнергии, модели преобразующих частей и алгоритмы исследования, модели физико-технических эффектов участвующих в процессе принципов преобразования первичных токов во вторичный сигнал в виде напряжения.

При преобразовании одно-, двух-, трехфазных первичных токов, протекающих от сетей систем электроснабжения, на вторичное напряжение в вид сигнала функции принципа преобразования сигналов исследуются на основе следующего алгоритма, основанного на физико-техническом эффекте первичных токов, преобразовательной цепи или структуры, ее геометрической форме и размерах, а также применяемом принципе преобразования сигнала при

использовании одно-, двух- и трех чувствительных элементов — измерительных колец (обмоток) в преобразователях электромагнитного тока в напряжение с расширенными возможностями:

Графическая модель формирования выходного напряжения в трехфазном электромагнитном преобразователе трехфазного первичного тока во вторичное напряжение с расширенными функциональными возможностями, тремя чувствительными элементами и распределенными параметрами, подключенная к источнику реактивной мощности системы электроснабжения, представлена на рисунке 1:

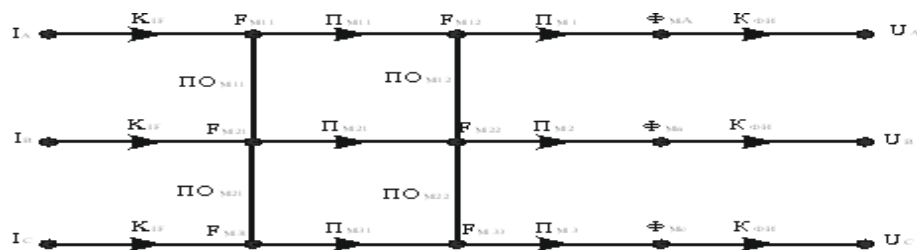


Рисунок 1. Графическая модель появления выходного напряжения электромагнитного преобразователя трехфазного тока в напряжение с расширенными функциональными возможностями, тремя чувствительными элементами и распределенным параметром.

Аналитическое выражение, сформированное на основе графической модели формирования выходного напряжения трехфазном электромагнитном преобразователе тока с расширенными функциональными возможностями, тремя чувствительными элементами и с распределенным параметром, имеет следующий вид:

$$\begin{aligned}
 U_a &= W_{IU}(I_A, U_a)I_A + W_{IU}(I_B, U_a)I_B + W_{IU}(I_C, U_a)I_C; \\
 U_b &= W_{IU}(I_A, U_b)I_A + W_{IU}(I_B, U_b)I_B + W_{IU}(I_C, U_b)I_C; \\
 U_c &= W_{IU}(I_A, U_c)I_A + W_{IU}(I_B, U_c)I_B + W_{IU}(I_C, U_c)I_C;
 \end{aligned}$$

здесь:  $W_{IU}(I_A, U_a)$ ,  $W_{IU}(I_B, U_a)$ ,  $W_{IU}(I_C, U_a)$ ,  $W_{IU}(I_A, U_b)$ ,  $W_{IU}(I_B, U_b)$ ,  $W_{IU}(I_C, U_b)$ ,  $W_{IU}(I_A, U_c)$ ,  $W_{IU}(I_B, U_c)$ ,  $W_{IU}(I_C, U_c)$  - передаточные функции преобразования первичных токов  $I_A$ ,  $I_B$ ,  $I_C$  во вторичные напряжения  $U_a$ ,  $U_b$ ,  $U_c$ .

В третьей главе диссертации, озаглавленной «Характеристики электромагнитных преобразователей тока в напряжение с расширенными возможностями», представлены статические и динамические модели электромагнитных преобразователей трехфазного тока с тремя чувствительными элементами и расширенными функциональными возможностями, а также и результаты исследований показателей надежности и рабочего состояния преобразователей.

При контроле и управлении реактивной мощностью в системах электроснабжения характеристики преобразователей тока имеют определяющее значение. В основные исследуемые характеристики преобразователей тока входят статические, динамические характеристики, источники чувствительности и ошибок.

Алгоритм и программное обеспечение исследования статических характеристик трехфазного преобразователя с тремя чувствительными

элементами считаются основной частью систем преобразования, измерения, контроля, управления и информационной коммуникации, программное обеспечение предназначено для практического исследования величины и параметров преобразователей на основе аналитических выражений процесса статического преобразования трехфазных первичных токов во вторичные напряжения, протекающих от электрических устройств и сетей [DGU 07373, 19.12. 2019 й].

Вид интернет-приложения программного обеспечения, встроенного в операционных системах Android IoT-технологии, исследования статических и динамических моделей трехфазных преобразователей с тремя чувствительными элементами и распределенным параметром приведен на рисунке 2.

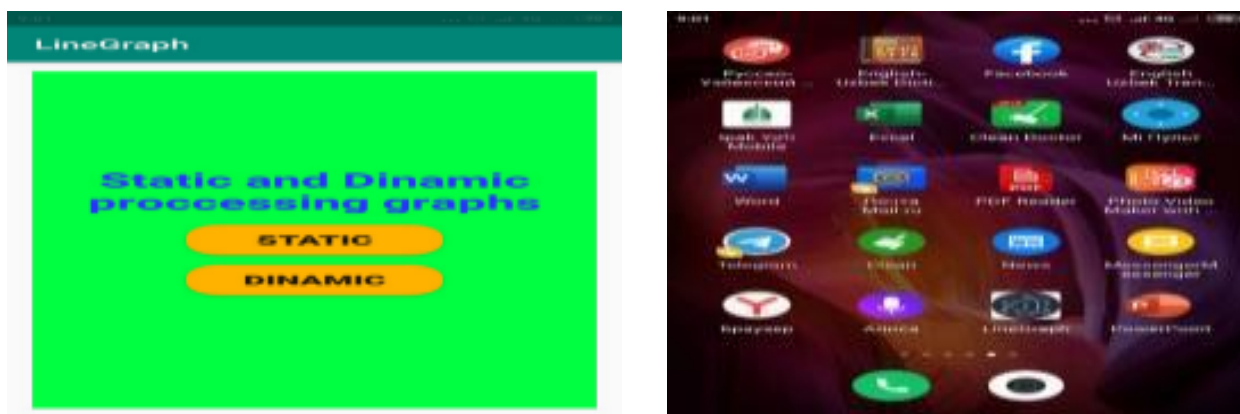


Рисунок 2. Вид интернет-приложения программного обеспечения, встроенного на операционных системах Android IoT-технологии, исследования статических и динамических моделей трехфазных преобразователей с тремя чувствительными элементами и распределенным параметром.

Результаты исследования статических характеристик трехфазных преобразователей с тремя чувствительными элементами и распределенным параметром, полученные на основе программного обеспечения, составленного на операционных системах Android IoT-технологии, представлены на рисунке 3.

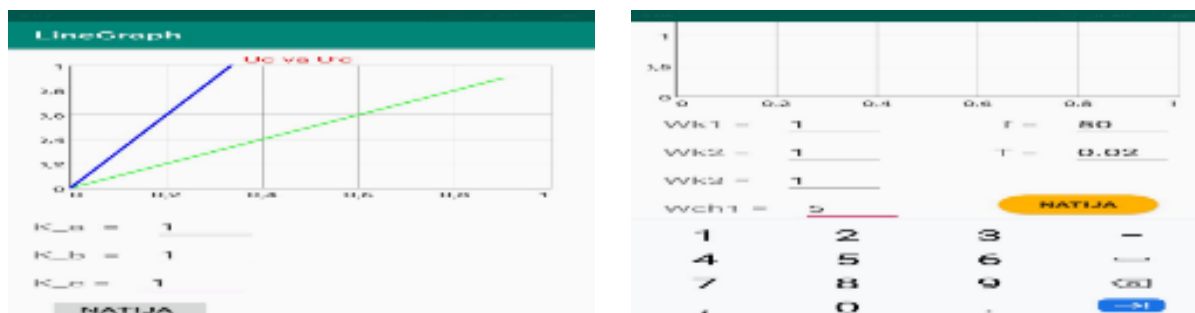


Рисунок 3. Результаты исследования статических характеристик трехфазных преобразователей с тремя чувствительными элементами и распределенным параметром, полученные на основе программного обеспечения, составленного на операционных системах Android IoT-технологии.

При анализе статических характеристик преобразователей, трансформирующих значения первичных токов при управлении и контроле реактивной мощности систем электроснабжения исследована связь вида

сигнала  $U_{эчик}$  выходного напряжения с различными параметрами электромагнитных преобразователей тока с расширенными функциональными возможностями. Процесс преобразования первичных токов во вторичное напряжение на основе электромагнитных преобразователей тока с расширенными функциональными возможностями приобрел вид, представленный на рисунке 4.

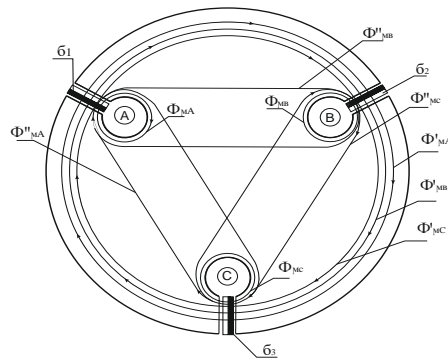


Рисунок 4. Модель электромагнитного преобразователя тока с расширенными функциональными возможностями.

$\Phi_{\mu A}, \Phi_{\mu B}, \Phi_{\mu C}$  - основные магнитные потоки, создаваемые А,В,С -фазными токами электрической сети и проходящие через соответствующий чувствительный элемент.

$\Phi'_{\mu A}, \Phi'_{\mu B}, \Phi'_{\mu C}, \Phi''_{\mu A}, \Phi''_{\mu B}, \Phi''_{\mu C}$  - магнитные потоки, создаваемые не основными фазными токами для чувствительного элемента.

Вторичные напряжения электромагнитных преобразователей тока в напряжение с расширенными функциональными возможностями определяются на основе следующего:

$$U_a = 4.44f w_{1ч} \left( \frac{w_{1к}}{R_{\mu 1\varepsilon} + R_{\mu \delta 1\varepsilon}} I_A + \frac{w_{2к}}{R_{\mu 1\varepsilon} + R_{\mu 2\varepsilon} + R_{\mu \delta 1\varepsilon} + R_{\mu \delta 2\varepsilon}} I_B + \frac{w_{3к}}{R_{\mu 1\varepsilon} + R_{\mu 3\varepsilon} + R_{\mu \delta 1\varepsilon} + R_{\mu \delta 3\varepsilon}} I_C \right);$$

$$U_B = 4.44f w_{2ч} \left( \frac{w_{1к}}{R_{\mu 1\varepsilon} + R_{\mu 2\varepsilon} + R_{\mu \delta 1\varepsilon} + R_{\mu \delta 2\varepsilon}} I_A + \frac{w_{2к}}{R_{\mu 2\varepsilon} + R_{\mu \delta 2\varepsilon}} I_B + \frac{w_{3к}}{R_{\mu 2\varepsilon} + R_{\mu 3\varepsilon} + R_{\mu \delta 2\varepsilon} + R_{\mu \delta 3\varepsilon}} I_C \right);$$

$$U_C = 4.44f w_{3ч} \left( \frac{w_{1к}}{R_{\mu 1\varepsilon} + R_{\mu 3\varepsilon} + R_{\mu \delta 1\varepsilon} + R_{\mu \delta 3\varepsilon}} I_A + \frac{w_{2к}}{R_{\mu 2\varepsilon} + R_{\mu 3\varepsilon} + R_{\mu \delta 2\varepsilon} + R_{\mu \delta 3\varepsilon}} I_B + \frac{w_{3к}}{R_{\mu 3\varepsilon} + R_{\mu \delta 3\varepsilon}} I_C \right);$$

здесь:  $f$  - частота электрического тока,  $W_{1к}, W_{2к}, W_{3к}$  - число витков входных обмоток,  $W_{1ч}, W_{2ч}, W_{3ч}$  - число витков выходных обмоток чувствительных элементов,  $\Phi'_{\mu 1}, \Phi'_{\mu 2}, \Phi'_{\mu 3}$  — магнитные потоки создаваемые  $I_A, I_B, I_C$  — первичными токами,  $R_{\mu 1\Sigma}, R_{\mu 2\Sigma}, R_{\mu 3\Sigma}, R_{\mu \delta 1\Sigma}, R_{\mu \delta 2\Sigma}, R_{\mu \delta 3\Sigma}$ , — магнитные сопротивления пути магнитного потока,  $\delta 1, \delta 2, \delta 3$  — длина воздушного зазора места установки чувствительного элемента, их значения определяются на основе распределенной параметрической модели участка распределения магнитного потока:

$$R_{\mu} = \rho_{\mu} L_{\mu} / F = L_{\mu} / \mu F, \quad R_{\mu \delta} = \rho_{\mu \delta} \delta / F = \delta / \mu_o F,$$

здесь:  $\rho_{\mu}, \rho_{\mu \delta}$  — удельные магнитные сопротивления воздушных зазоров и электро магнита, в которых размещен чувствительный элемент.

Основными переменными в этой модели являются первичные токи  $I_A, I_B, I_C$  (в диапазоне 1–500 ампер), число обмоток выходных катушек  $W_{1к}, W_{2к}, W_{3к}$  (1–5), чувствительные элементы (обмотки), количество выходных обмоток



$W_{1ч}, W_{2ч}, W_{3ч}$ , изменение диапазона обмоток  $W_{1к}, W_{2к}, W_{3к} = (20-200)$ , преобразование диапазона обмоток  $R_{\mu 1\Sigma}, R_{\mu 2\Sigma}, R_{\mu 3\Sigma}, R_{\mu \delta 1\Sigma}, R_{\mu \delta 2\Sigma}, R_{\mu \delta 3\Sigma}$  магнитные сопротивления  $\mu, \mu_0$ , значения  $L, F, \mu$ , магнитного сопротивления.

Исследование статических и динамических моделей исследования вторичных напряжений электромагнитного преобразователя с расширенными функциональными возможностями осуществляется на основе алгоритма, приведенного на рисунке 5.

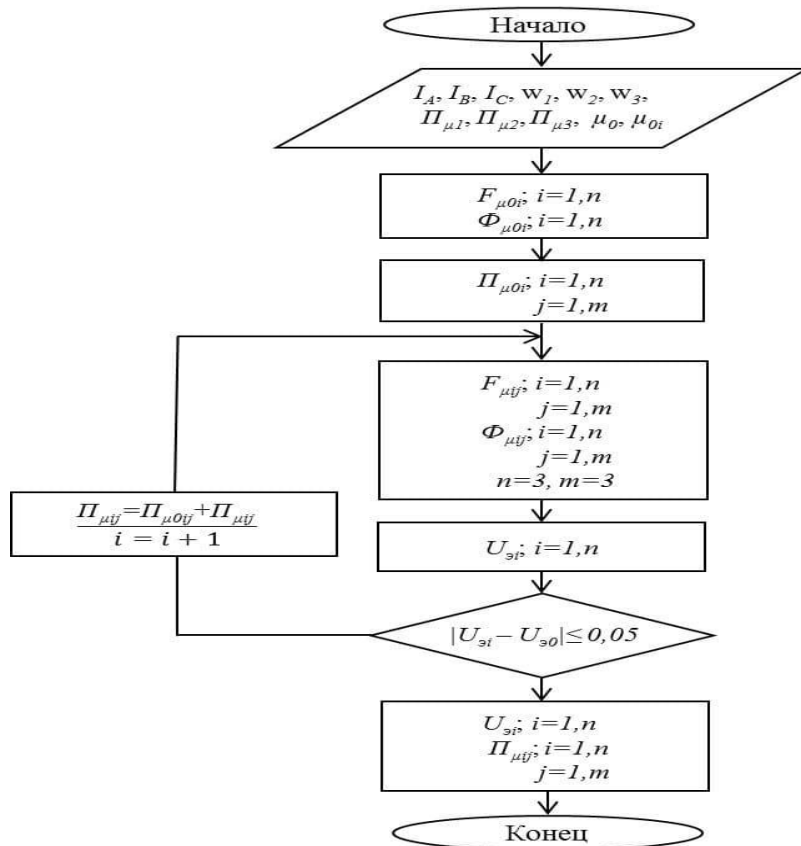


Рисунок 5. Алгоритм исследования характеристик преобразователя.

График зависимости выходного напряжения ( $U_{\text{вых}}$ ) от количества первичных обмоток для случая, когда количество первичных обмоток электромагнитных преобразователей тока с расширенными функциональными возможностями равно  $W_1 = 1(3), W_1 = 2(2), W_1 = 3(1)$ , количество вторичных обмоток равно  $W_2 = 100$ , приведен на рисунке 6а. При этом первичные токи составляют  $I_1 = 0,2-1$  А, частота сети  $F = 50$  Гц, активная поверхность чувствительного элемента  $F_{\text{обмоток}} = 0,0001$  м<sup>2</sup>,  $F_{\text{сталь}} = 0,0004$  м<sup>2</sup>,  $L_{\text{стал.серд.}} = 0,05$  м, длина стального сердечника, воздушный зазор  $L_x = 0,001$  м.

График зависимости выходного напряжения ( $U_{\text{вых}}$ ) от количества первичных обмоток для случая, когда количество первичных обмоток преобразователя равно  $W_1 = 2(3), W_1 = 3(2), W_1 = 5(1)$ , а количество вторичных обмоток равно  $W_2 = 20$ , приведен на рисунке 6б. При этом первичные токи  $I_1 = 0,2-10$  А, частота сети  $F = 50$  Гц, активная поверхность чувствительного элемента  $F_{\text{обмоток}} = 0,002$  м<sup>2</sup>,  $F_{\text{сталь}} = 0,004$  м<sup>2</sup>,  $L_{\text{стал.серд.}} = 0,01$  м, длина стального сердечника, воздушный зазор  $L_x = 0,001$  м.

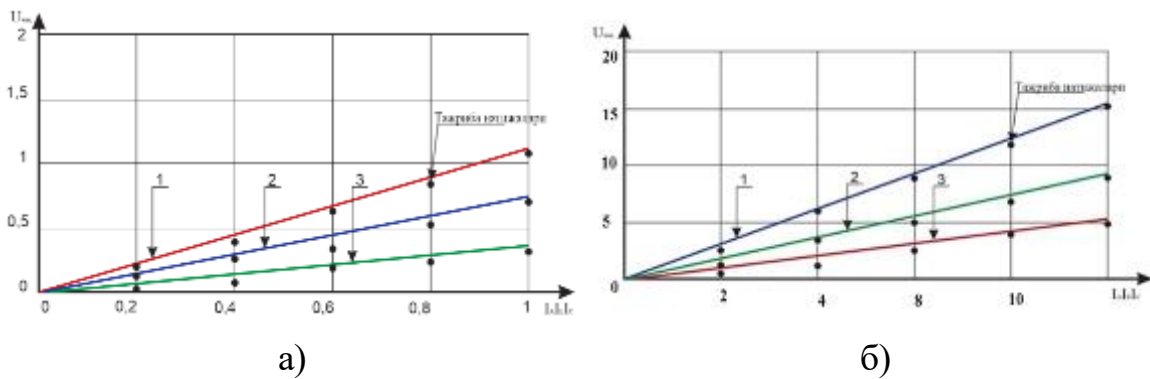


Рисунок 6. График зависимости выходного напряжения ( $U_{\text{вых}}$ ) от количества первичных обмоток ( $W_1 = 1, 2, 3$ ,  $W_2 = 100$  – рис. 6а) и ( $W_1 = 2, 3, 5$ ,  $W_2 = 20$  – рис. 6б).

График зависимости выходного напряжения ( $U_{\text{вых}}$ ) от длины стального сердечника ( $F_{\text{сталь}}$ ), различных размеров для случая, когда количество первичных обмоток электромагнитных преобразователей тока с расширенными функциональными возможностями равно  $W_1 = 1$ , количество вторичных обмоток равно  $W_2 = 100$ , приведен на рисунке 7а, в этом графике первичные токи равны  $I_1 = 0,2-1$  А, частоты сетевого тока  $F = 50$  Гц, активной поверхности чувствительного элемента  $F_{\text{обмоток}} = 0,0001$  м<sup>2</sup>, длины стального сердечника  $L_{\text{стальной серд.}} = 0,05$  м, воздушного зазора  $L_x = 0,001$  м. от размеров поверхности стального сердечника: сталь = 0,0001 м<sup>2</sup> (зеленый-1), сталь = 0,0004 м<sup>2</sup> (синий-2), сталь = 0,0009 м<sup>2</sup> (красный-3) представлены на рис. 7.а

График зависимости выходного напряжения ( $U_{\text{вых}}$ ) электромагнитного преобразователя тока с расширенными функциональными возможностями от размеров воздушного зазора ( $L_x$ ), приведен на рисунке 7б, количество первичных обмоток составляет  $W_1 = 2$ , количества вторичных обмоток  $W_2 = 200$ , первичных токов  $I_1 = 100$  А (зеленый-3),  $I_1 = 200$  А (синий-2),  $I_1 = 300$  А (красный-1), частоты сети  $F = 50$  Гц, активной поверхности чувствительного элемента  $F_{\text{обмоток}} = 0,0001$  м<sup>2</sup>, от активной поверхности стального сердечника  $F_{\text{сталь}} = 0,0004$  м<sup>2</sup>, длина пути магнитного потока стального сердечника  $L_{\text{стальной серд.}} = 0,05$  м.

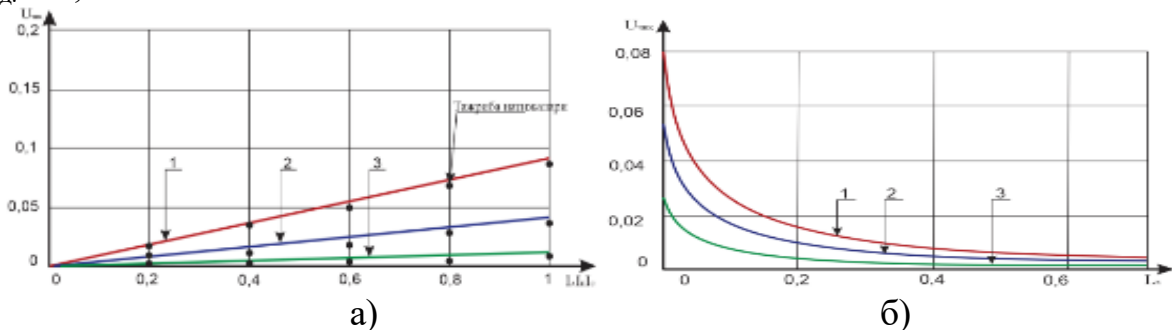


Рисунок 7. График зависимости выходного напряжения от различных размеров поверхности стального сердечника ( $F_{\text{сталь}}$ ), вторичных обмоток  $W_2 = 200$ . (Рис.7.а) и зависимость выходного напряжения преобразователя от размеров воздушного зазора ( $L_x$ ) (Рис.7.б)

Из результатов исследования моделей так же видно, что при количестве витков чувствительного элемента, равном числу витков  $W_2 = 20-100$  витков, длина воздушного зазора должна составлять 0,001 - 0,003 м, при этом выходной

сигнал в виде электрического напряжения имеет нормированное значение (20 В).

Резкое увеличение мгновенных значений магнитного потока в режиме переключения при подключении трехфазного электромагнитного преобразователя трехфазного первичного тока во вторичное напряжение с расширенными функциональными возможностями, тремя чувствительными элементами к электрическим нагрузкам, протекающим через первичные обмотки преобразователя, приводит к внезапному увеличению магнитного потока, который может умножать токи, протекающие через первичные обмотки.

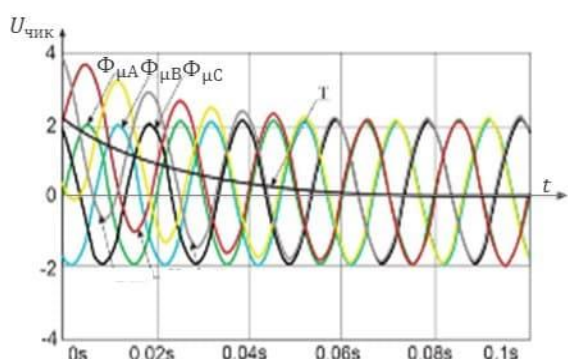


Рисунок 8. Графики изменения магнитных потоков в системе при протекании тока через преобразователи (первичная обмотка  $W_{\text{вход}} = 1$ , вторичная обмотка  $W_{\text{выход}} = 20$ )

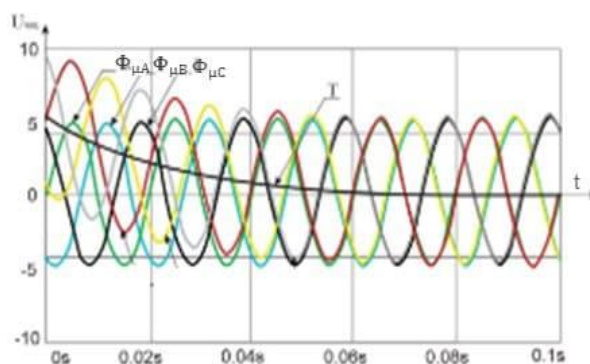


Рисунок 9. Графики изменения магнитных потоков в системе при протекании тока через преобразователи (первичная обмотка  $W_{\text{вход}} = 3$ , вторичная обмотка  $W_{\text{выход}} = 20$ )

Наличие активного сопротивления приводит к гашению высокочастотных колебаний, и кривая тока  $I(t)$  прогрессируется по фазам относительно напряжения  $U(t)$ .  $\varphi$  – сдвиг имеет фиксированную синусоидальную форму. Если бы сеть была без индуктивности ( $L \neq 0$ ), тогда бы наблюдалось первоначальное резкое увеличение тока, от которого ток постепенно приближался бы к заданному синусоидальному значению.

Основываясь на графиках (Рис.8 и Рис.9) изменения магнитного потока, можно сделать вывод, что режим, установленный в магнитной системе, на основе тока, протекающего через первичные обмотки, переходный процесс в чувствительном элементе достигает установившийся режим через 0,06-0,065 с.

Структурная схема исследования надежности трехфазного электромагнитного преобразователя трехфазного первичного тока во вторичное напряжение с расширенными функциональными возможностями, тремя чувствительными элементами представлена на рис.10.

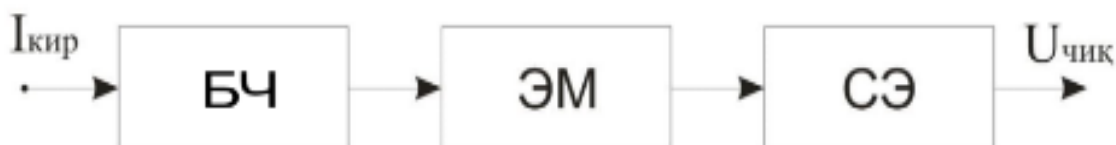


Рисунок 10. Структурная схема исследования надежности трехфазного электромагнитного преобразователя трехфазного первичного тока во вторичное напряжение с расширенными функциональными возможностями, тремя чувствительными элементами.

где: ПО (БЧ)- первичная обмотка, ЭС (ЭМ)- электромагнитный сердечник, ЧЭ (СЭ)- чувствительный элемент.

По схеме рис.10 на основе закона вероятностей рабочего состояния элементов трехфазного электромагнитного преобразователя трехфазного первичного тока во вторичное напряжение с расширенными функциональными возможностями, тремя чувствительными элементами определяем:

$$P_{\text{конв}} = P_{\text{по}} \times P_{\text{эс}} \times P_{\text{чэ}} = 0,99 \times 0,99 \times 0,99 = 0,97.$$

Вероятность выхода из строя трехфазного электромагнитного преобразователя трехфазного первичного тока во вторичное напряжение с расширенными функциональными возможностями, тремя чувствительными элементами:

$$Q_{\text{конв}} = 1 - P_{\text{конв}} = 1 - 0,97 = 0,03.$$

В четвертой главе диссертации под названием **«Практические исследования преобразователей тока с расширенными функциональными возможностями для контроля и управления реактивной мощностью»** представлены результаты исследования принципа построения трехфазного электромагнитного преобразователя трехфазного первичного тока во вторичное напряжение с расширенными функциональными возможностями, тремя чувствительными элементами многофазных первичных токов источников реактивной мощности, величины и параметры выходного сигнала.

Для управления реактивной мощностью разработана физическая модель трехфазного электромагнитного преобразователя трехфазного первичного тока во вторичное напряжение с расширенными функциональными возможностями, тремя чувствительными элементами.

Общий вид преобразователя систем управления реактивной мощностью и лабораторного комплекса «АЭСКУЭ» для исследования элементов и устройств управления реактивной мощности представлены на рис.11.



а)



б)

Рисунок 11. Физическая модель трехфазного электромагнитного преобразователя трехфазного первичного тока во вторичное напряжение с расширенными функциональными возможностями, тремя чувствительными элементами (а) и лабораторный комплекс «АЭСКУЭ» для исследования элементов и устройств управления реактивной мощности (б).

Экспериментальные исследования проводились в лабораторном комплексе «Автоматизированная система коммерческого учета электроэнергии» на кафедре «Энергетика» Джизакского политехнического института и

подтвердили адекватность и соответствие результатов проведенных теоретических и практических исследований.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате исследований, проведенных по диссертации доктора философии (PhD) на тему «Электромагнитные преобразователи тока в напряжение с расширенными функциональными возможностями для систем управления реактивной мощностью», сделаны следующие выводы:

1. Электромагнитные преобразователи тока в напряжение с расширенными функциональными возможностями измерения и преобразования дали возможности надежного управления в управлении реактивной мощностью в системе электроснабжения, получения нормированных сигналов для средств измерения информации и обеспечения величины трехфазного тока в системах электроснабжения.

2. Создан принцип получения посредством электромагнитных преобразователей измерения и преобразования трехфазных токов в напряжение с расширенными функциональными возможностями измерения и преобразования сигналов, соответствующих величинам и изменениям взаимодействующих магнитных потоков, создаваемых трехфазными токами, протекающих через первичные фазы электрических сетей систем электроснабжения, а также в виде вторичного напряжения. Агентством интеллектуальной собственности Республики Узбекистан получен патент на изобретение «Преобразователь тока в напряжение» как новинка в составе преобразователя, сформированного на основе созданного принципа (Патент № IAP 04907, 28.05.2014 г., срок действия 20 лет).

3. Доказано, что статические и динамические модели электромагнитных преобразователей измерения и преобразования трехфазных токов в напряжение с тремя чувствительными элементами и расширенными функциональными возможностями при длине переключаемых чувствительных элементов  $L_x = 0,0003-0,001$  м., активной поверхности чувствительных элементов  $F_{\text{обмоток}} = 0,002$  м<sup>2</sup>,  $F_{\text{сталь}} = 0,004$  м<sup>2</sup>, длине стального сердечника  $L_{\text{сталь сердечника}} = 0,01$  м и при количестве вторичных обмоток равной  $W_2 = 100$  витков обеспечивают нормированные значения выходных напряжений (20 В).

4. Функции управления реактивной мощностью системы питания позволяют сформировать установившееся состояние выходного сигнала через 0,060–0,065 секунды после подключения электромагнитного преобразователя измерения и преобразования трехфазных токов в напряжение с расширенными возможностями тремя чувствительными элементами (время формирования установившегося состояния по установленным требованиям не должно превышать 0,2 секунды).

5. Расчеты и результаты на основе созданной модели показателей надежности показали, что общая вероятность обеспечения работоспособности электромагнитных преобразователей трехфазного тока во вторичное напряжение с тремя чувствительными элементами и расширенной

функциональной возможностью составляет  $R_{\text{общ. перемен.}} = 0,97$ .

6. Установлено что, программное обеспечение, сформированное на операционных системах Android, разработанное на основе IoT-технологии позволяет исследовать статические и динамические модели электромагнитных преобразователей измерения и преобразования трехфазных токов в напряжение с расширенными функциональными возможностями и распределенными параметрами, и официально зарегистрированы Агентством интеллектуальной собственности Республики Узбекистан программы электронно-вычислительных машин под названием «Программное обеспечение для исследования статических и динамических характеристик трехфазных преобразователей тока с тремя чувствительными элементами и распределенными параметрами» (свидетельства № DGU 06465 от 17.05.2019, № DGU 07373 от 19.12.2019, № DGU 07500 от 08.01.2020).

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

---

**TASHKENT STATE TECHNICAL UNIVERSITY**

**ANARBOEV MUXIDDIN ALMANOVICH**

**ELECTROMAGNETIC CURRENT -TO -VOLTAGE TRANSDUSERS  
WITH ADVANCD FUNCTIONALITU FOR REACTIVE POWER  
CONTROL**

**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 – 2021**

**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 state technical university and Jizzakh poletechnic institute.

The abstract of the dissertation is posted in Three languages (Uzbek, Russian, English (resume)) on the web page of the Scientific Council (www.tdtu.uz) and an Information and educational portal «ZiyoNet» (www.ziynet.uz).

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

**Official opponents:** **Uljaev Erkin**  
Doctor of Technical Sciences, Associate Professor

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

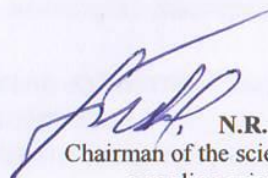
**Leading organization:** **Bukhara Institute of Engineering and Technology**

Defence of the dissertation will take place «19» 06 2021 in 10<sup>00</sup> hours at a meeting of Scientific council of DSc.03/30.12.2019.T.03.02at 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 (registration number 210) (Address: 100095, Tashkent, str. University-2, Ph.: (071) 246-03-41).

The abstract of the dissertation is distributed «04» 06 2021 year.  
(the register of the protocol of mailing № 2 from «01» 02, 2021 year)



  
**N.R. Yusupbekov**  
Chairman of the scientific council  
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 PhD thesis)

**The aim of the research:** the development, research, and implementation of models of electromagnetic current transducers with three-phase, one, two, and three sensing elements with extended functional possibilities of reactive power control.

**The scientific novelty of the research is as follows:**

a model of an electromagnetic three-phase current transformer with extended functionality, one-, two- and three sensitive elements for measuring and converting a signal for monitoring and controlling reactive power of electricity has been created;

static and dynamic models of an electromagnetic three-phase current transformer with three sensitive elements and distributed parameters, criteria for ensuring normalization, linearity and high accuracy of the output voltage have been developed;

a model of indicators of reliability of electromagnetic converters for measuring and converting three-phase current with three sensitive elements and expanded functionality has been created;

a model of IoT-technology of electromagnetic converters of three-phase current into voltage with one, two and three sensitive elements and extended functionality was created and put into practice.

**Implementation of research results.** Based on the results obtained on electromagnetic voltage-current transducers with extended functionality for reactive power management systems:

received a patent from the Intellectual Property Agency of the Republic of Uzbekistan for the invention of a three-phase device, a current-to-voltage converter (IAP 04907, 2014). The created three-phase converters with three sensitive elements made it possible to ensure standardization, linearity and high accuracy of the output voltage value;

software created for static and dynamic models of electromagnetic converters of three-phase current into voltage with three sensitive elements and a distributed parameter, models of IoT-technologies of converters have been introduced in Jizzakh enterprise of territorial electrical networks JSC (reference of the Ministry of Energy dated February 3, 2020 No. 05 -13-1351). As a result, it became possible to increase by 2.6% the accuracy of calculating the static and dynamic values of a three-phase converter with three sensitive elements, a distributed parameter and extended functionality.

**Structure and size of the dissertation.** The dissertation consists of an introduction, four chapters, a conclusion, references, and appendices. The size of the dissertation consists of 115 pages and 34 pictures, 4 tables.

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

**I бўлим (Часть I; Part I)**

1. Азимов Р.К., Сиддиков И.Х., Курбонова М.Ж., Анарбоев М.А., Назаров Ф.Д., Сиддиков О.И., Маматкулов А.Н. Преобразователь тока в напряжение // Патент РУз IAP 04907 Б.И. № 6, 2014 г.

2. Сиддиков И.Х., Ахмедов Т.Б., Анарбоев М.А. Моделирование и исследование электромагнитных преобразователей тока систем автоматического регулирования источников реактивной мощности // «Проблемы энерго-и ресурсосбережения». Научный журнал. Ташкент, 2011.- № 3–4, -С 36–41. (05.00.00; № 21).

3. Сиддиков И.Х., Анарбоев М.А., Хужамов Э.Н., Бекназаров К.Б., Нажматдинов К.М. Исследование погрешностей электромагнитных преобразователей первичного тока с плоскими измерительными обмотками // Химическая технология. Контроль и управление. Международный научно-технический журнал. Ташкент, 2013.- № 1(49). –С. 36-41. (05.00.00; № 12).

4. Салиев Э.А., Сатторов С.А., Сиддиков И.Х., Хакимов М.Х., Мустафакулов А.А., Сиддиков О.И., Анарбоев М.А. Автоматизированный учет — условия повышения эффективности использования энергоресурсов // «Проблемы энерго-и ресурсосбережения». Научный журнал. Ташкент, 2013. № 1-2. -С. 158-164. (05.00.00, № 21).

5. Сиддиков И.Х., Анарбоев М.А., Мирзоев Н.Н., Маматкулов А.Н. Элементы управления статическими и динамическими источниками реактивной мощности // «Проблемы энерго-и ресурсосбережения». Научный журнал (специальный выпуск) Ташкент, 2013. № 3-4. -С. 183-188. (05.00.00; № 21).

6. Siddikov I.Kh., Anarbaev M.A., Bedritskiy I M., Khasanov M.Y. The analysis of base characteristics and inaccuracies of electromagnetic transducers current to voltage with flat measuring windings // International Scientific Journal of European Science Review//July-August, Austria, Vienna, 2015. № 7-8.-pp.137-139. (05.00.00; №3).

7. Махсудов М.Т., Анарбоев М.А., Сиддиков И.Х. Электромагнитные преобразователи тока для управления источниками реактивной мощности // Межд.научн.журнал. Universum: Технические науки: электрон.науч.журнал № 3(60), 2019 от 25. 03.2019, -С.58-61. (№ 18; Ulrich’s Periodicals Directory; № 35; CrossRef; DOI - 10.32743/UniTech.2020.77.8-1).

8. Сиддиков И.Х., Хужаматов Х.Э., Махсудов М.Т., Саидова Г.Э., Анарбоев М.А. Телекоммуникация ва ахборот технологиялари объектлари ва курилмаларининг энергия манбаларининг мониторинги ва бошқаруви // «МУХАММАД АЛ-ХОРАЗМИИ АВЛОДЛАРИ». Илмий-амалий ва ахборот-таҳлилий журнали, № 3 (9) 2019, Тошкент.106-109 б.(05.00.00; № 10).

9. Сиддиков И.Х., Саидова Г.А., Анарбоев М.А. Алгоритм управления электроснабжением устройств и объектов телекоммуникации на основе технологии «Умная энергетика» // «ПОТОМКИ МУХАММЕДА АЛЬ-ХОРЕЗМИ». Научно-практический и информационно-аналитический журнал, № 3 (9), 2019, Ташкент. –С.112-115.(05.00.00; №10).

## II бўлим (Часть II; Part II)

10. Сиддиков. И.Х, Анарбоев М.А., Нажматдинов М.А., Хилиддинов К.М., Мирзаев Н.Н., Григорьев Н.Н., Талипова С.Б. Основы структурного проектирования электромагнитных преобразователей первичного тока во вторичное напряжение на основе плоской изматываемой обмотки / Актуальные вопросы современной техники и технологии. Сборник докладов XIV-я Международная научная конференция. Россия, г Липецк, 2014. -С. 44-51.

11. Анарбоев М.А., Хасанов М.Ю., Сиддиков И.Х. Контроль и управление скорости вращения динамических источников реактивной мощности // Научно-технический журнал. Агентство “УЗСТАНДАРТ”, ”STANDART”, Ташкент, 2015. -№ 3-42. -С. 187-195.

12. Назаров Ф.Д., Хонтураев И.М., Анарбоев М.А., Расулов Ш.Р. Внедрение преобразователей тока в напряжения в системах управления источниками реактивной мощности и энергии // Иқтисодийёт тормоқлари ривожланишини таъминловчи фан, таълим ҳамда модернизациялашган энергия ва ресурс тежамкор технологиялари, воситалари: муаммолар, ечимлар, истиқболлар. Республика илмий-техник анжумани материаллари. Жиззах-2016. ЖизПИ.- 134-136 б.

13. Kh.E.Khujamatov., Anarbaev M.A., Kh.A.Sattarov., M.Najmatdinov ”Modeling and researching of the processes of control of hybrid power supply systems”/ IT-technology and process modeling in fundamental and applied research Proceedings of I International Youth School – Conference 15–17 December, Astrakhan 2016.- pp.. 151-157.

14. Сиддиков И.Х., Анарбоев М.А., Казаков Р.У., Расулова З.С. Методика расчета сверхнормативного технологического расхода электроэнергии в электросетях, питаемых от ТПС «Разъезд 13» предприятия «Самаркандская дистанция электроснабжения» и разработка мероприятий по их уменьшению // «Долзарб муаммолар ва ривожланиш тенденциялари» номли Республика илмий-амалий анжумани материаллари тўплами, 2-қисм. Жиззах, ЖизПИ, 2017.-313-315 б.

15. Anarboev M.A., Turarov U.U., Kozakov R. U., Mallayev O.U. To develop electricity saving method in producing companies. // Научно-практический журнал “Научный прогресс” № 1 (январь). // 2018. г. Уфа, © ООО «Инфинити», 2018. -С. 39-40.

16. Сиддиков И.Х., Анарбоев М.А., Махсудов М.Т. Преобразователи сигнала величины тока для систем управления источниками реактивной мощности. // Научно-технический журнал «Инженерно-строительный вестник Прикаспия». Астрахань, 2018 № 1(23), -С.53-56.

17. Сиддиков И. Х., Махсудов М. Т., Хонтұраев И. М., Анарбоев М.А., Элементы и устройства управления и контроля интеллектуальных электрических сетей систем электроснабжения // Научно-технический журнал «Инженерно-строительный вестник Прикаспия». Астрахань, 2018 № 2 (24), -С. 36-41.

18. Сиддиков И.Х., Абубакиров А.Б., Хужаматов Х.Э., Хасанов М.Ю., Анарбоев М.А. Электр таъминоти тизимида реактив қувват манбаларини жорий этиш ҳаражатларини қоплаш муддатини ҳисоблашнинг алгоритми ва дастурий таъминоти // Электрон-ҳисоблаш машиналари учун яратилган дастурнинг расмий рўйхатдан ўтказилганлиги тўғрисидаги гувоҳнома. № DGU 06465, Ташкент, 17.05.2019 й.

19. 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. Агентство по интеллектуальной собственности РУз, Ташкент, 12.11.2019 г.

20. Siddikov I.Kh., Sattarov Kh., Anarbaev M.A. Ahmedova G.N. Modeling and research of transformation of the three-phases primary current in electrical equipment of control systems // 10th International Symposium on Intelligent Manufacturing and Service Systems. 9-11 September 2019. Sakarya. Turkey, - pp. 340-846.

21. Сиддиков И.Х., Абдумаликов А.А., Хамрақулов Б.А., Махсудов М.Т., Анарбоев М.А., Хонтұраев И.М. Тарқалган параметрли уч фазали учта сезиш элементли ўзгартгичларнинг динамик тавсифлари тадқиқотининг дастурий таъминоти // Электрон-ҳисоблаш машиналари учун яратилган дастурнинг расмий рўйхатдан ўтказилганлиги тўғрисидаги гувоҳнома. № DGU 07500, Тошкент, 08.01.2020 й.

Автореферат “Муҳаммад ал-Хоразмий авлодлари” илмий журнали  
тахририятида ўзбек, рус ва инглиз тилларидаги матнларининг мослиги  
текширилди (28.01.2021)

Бичими: 84x60 <sup>1</sup>/<sub>16</sub>. «Times New Roman» гарнитураси.  
Рақамли босма усулда босилди.  
Шартли босма табағи: 3. Адади 100. Буюртма № 40/21.

Гувоҳнома № 10-3719  
«Тошкент кимё технология институти» босмахонасида чоп этилган.  
Босмахона манзили: 100011, Тошкент ш., Навоий кўчаси, 32-уй.