

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

---

**ТОШКЕНТ ДАВЛАТ ТРАНСПОРТ УНИВЕРСИТЕТИ**

**БАБАНАЗАРОВА НАРГИСА КАМИЛОВНА**

**ЮҚОРИ КУЧЛАНИШЛИ ЖИҲОЗЛАР РЕЖИМЛАРИНИ НАЗОРАТ  
ҚИЛУВЧИ ТИЗИМЛАР УЧУН МАСОФАВИЙ ТРАНСФОРМАТОРЛИ  
ТОК ЎЗГАРТИРГИЧЛАРИ**

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

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

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

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

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

**Бабаназарова Наргиса Камиловна**

Юқори кучланишли жиҳозлар режимларини назорат қилувчи тизимлар  
учун масофавий трансформаторли ток ўзгартиргичлари..... 3

**Бабаназарова Наргиса Камиловна**

Дистанционные трансформаторные преобразователи тока для систем  
контроля режимами высоковольтных оборудований ..... 19

**Babanazarova Nargisa Kamilovna**

Remote transformer current transducers for control systems of high-voltage  
equipment modes..... 35

**Эълон қилинган ишлар рўйхати**

**Список опубликованных работ**

List of published works..... 38

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

---

**ТОШКЕНТ ДАВЛАТ ТРАНСПОРТ УНИВЕРСИТЕТИ**

**БАБАНАЗАРОВА НАРГИСА КАМИЛОВНА**

**ЮҚОРИ КУЧЛАНИШЛИ ЖИҲОЗЛАР РЕЖИМЛАРИНИ НАЗОРАТ  
ҚИЛУВЧИ ТИЗИМЛАР УЧУН МАСОФАВИЙ ТРАНСФОРМАТОРЛИ  
ТОК ЎЗГАРТИРГИЧЛАРИ**

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

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

**Фалсафа доктори (PhD) диссертацияси мавзуси Ўзбекистон Республикаси Вазирлар Маҳкамаси ҳузуридаги Олий аттестация комиссиясида В2021.1.PhD/T2194 рақам билан рўйхатга олинган.**

Диссертация Тошкент давлат транспорт университетида бажарилган.

Диссертация автореферати уч тилда (ўзбек, рус, инглиз тилида (резюме)) Илмий кенгаш веб-саҳифасида ([www.tdtu.uz](http://www.tdtu.uz)) ва «ZiyoNet» Ахборот таълим порталида ([www.ziyounet.uz](http://www.ziyounet.uz)) жойлаштирилган.

**Илмий раҳбар:** **Амиров Султон Файзуллаевич**  
техника фанлари доктори, профессор

**Расмий оппонентлар:** **Сиддиқов Илхомжон Ҳакимович**  
техника фанлари доктори, профессор

**Плахтиев Анатолий Михайлович**  
техника фанлари доктори, профессор

**Етакчи ташкилот:** **ЎЗР ФА Энергетика муаммолари институти**

Диссертация ҳимояси Тошкент давлат техника университети ҳузуридаги DSc.03/30.12.2019.T.03.02 рақамли Илмий кенгашнинг 2021 йил «16» 12 соат 12<sup>00</sup> даги мажлисида бўлиб ўтади (Манзил: 100095, Тошкент шаҳри, Университет кўчаси, 2. Тел.: (99871) 246-46-00; факс: (99871) 227-10-32; e-mail: [tstu\\_info@tdtu.uz](mailto:tstu_info@tdtu.uz)).

Диссертация билан Тошкент давлат техника университетининг Ахборот-ресурс марказида танишиш мумкин 23 рақами билан рўйхатга олинган). (Манзил: 100095, Тошкент шаҳри, Университет кўчаси, 2. Тел.: (99871) 207-14-70).

Диссертация автореферати 2021 йил «4» 12 кун таркатилди.  
(2021 йил «23» 11 даги 21 рақамли реестр баённомаси).



**Н.Р. Юсупбеков**

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

**У.Ф. Мамиров**

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

**Х.З. Игамбердиев**

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

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

**Диссертация мавзусининг долзарблиги ва зарурати.** Жаҳонда саноат, қишлоқ хўжалиги, темир йўл транспорти ва халқ хўжалигининг бошқа тармоқлари электр таъминоти тизимларининг сифати ва ишлатиш самарадорлигини оширишга, узлуксиз электр энергияси таъминоти шароитларида маълум мезонларга асосланган ўлчаш ва бошқариш қурilmаларини ишлаб чиқаришга алоҳида эътибор қаратилмоқда. Бунда электр энергияси йирик истеъмолчилари электр таъминоти тизимлари юқори кучланишли жиҳозларини самарали ишлашини таъминлайдиган бошқарув тизимлари ва уларнинг ўлчаш элементларини ишлаб чиқиш катта аҳамият касб этади.

Жаҳонда юқори кучланишли жиҳозлар режимларини бошқариш тизимлари учун катта ўзгарувчан ток ўзгартиргичларини яратишга қаратилган илмий тадқиқотлар олиб борилмоқда. Бу борада, юқори сезгирлик, аниқлик, чиқиш қуввати ва экстремал эксплуатация шароитларида характеристикаларининг ишончилигини таъминлайдиган, шунингдек, кучланиш остида бўлган юқори кучланишли жиҳозларнинг тоқлари тўғрисида ўлчов маълумотларини олиш учун ўрнатилган ток ўзгартиргичларини монтаж ва демонтаж қилиш имкониятини таъминлайдиган турларини яратиш зарурати юзага келмоқда.

Мамлакатимизда юқори кучланишли электротехник ва электроэнергетик жиҳозларни модернизациялашга, юқори кучланишли жиҳозлар режимларини назорат қилувчи тизимлар учун масофавий трансформаторли ток ўзгартиргичлари ишлаб чиқаришга катта эътибор қаратилмоқда. 2017-2021 йилларда Ўзбекистон Республикасини янада ривожлантириш бўйича Ҳаракатлар стратегиясида, жумладан «... электр энергиясини ишлаб чиқариш учун янги қувватларни яратиш ва мавжудларини модернизациялаш, ... қайта тикланадиган энергия манбаларидан фойдаланишни кенгайтириш бўйича чора-тадбирларни амалга ошириш ва бошқа ёқилғи-энергия манбалари билан таъминлаш орқали аҳолини электр энергияси билан таъминлашни яхшилаш., ... йўл инфратузилмасини янада ривожлантириш, ... бошқарув тизимида ахборот-коммуникация технологияларини жорий этиш»<sup>1</sup> вазифалари белгиланган. Мазкур вазифаларни амалга ошириш, шу жумладан юқори кучланишли жиҳозлар режимларини назорат тизимлари учун сезгирлиги ва чиқиш қуввати юқори бўлган катта тоқларни масофадан ўлчовчи янги ўзгартиргичларни ва уларнинг математик моделларини ишлаб чиқиш ҳамда тақсимланган электр ва магнит параметрли магнит занжирларини ҳисоблаш усулларини такомиллаштириш муҳим вазифа ҳисобланади.

Ўзбекистон Республикаси Президентининг 2017 йил 7 февралдаги ПФ-4947-сон «Ўзбекистон Республикасини янада ривожлантириш бўйича Ҳаракатлар стратегияси тўғрисида»ги Фармони, Ўзбекистон Республикаси

---

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

Президентининг 2017 йил 23 августдаги ПҚ-3238-сон «Замонавий энергия самарадор ва энергия тежайдиган технологияларни янада жорий этиш чора-тадбирлари тўғрисида» ва 2017 йил 13 ноябрдаги ПҚ-3384-сон «Электр энергияси ва табиий газни назорат қилиш ва ҳисобга олишнинг автоматлаштирилган тизимини жадал жорий этиш чора-тадбирлари тўғрисида»ги қарорлари ҳамда мазкур фаолиятга тегишли бошқа меъёрий-ҳуқуқий ҳужжатларда белгиланган вазифаларни амалга оширишга 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 ресурстежамкорлик» устувор йўналиши доирасида бажарилган.

**Муаммонинг ўрганилганлик даражаси.** Электр таъминоти қурилмаларининг назорат ва бошқарув тизимлари учун масофавий трансформаторли ток ўзгартиргичларини ишлаб чиқиш бўйича долзарб масалаларни ечишга қаратилган илмий тадқиқотлар жаҳоннинг етакчи илмий марказларида ва олий таълим муассасаларида, жумладан Istituto Nazionale di Ricerca Metrologica ва University of Campania “Luigi Vanvitelli” (Италия), Worcester Polytechnic Institute, Wright State University, University of Michigan ва University of California (АҚШ), Seoul National University (Жанубий Корея), University Malaysia Perlis (Малайзия), Forschungslaboratorien der Siemens AG (Германия), Universidade Federal de Campina Grande (Бразилия), University of Manitoba (Канада), Электродинамика институти ва Киев автоматика институти (Украина), Миллий тадқиқот университети “МЭИ”, Самара давлат техника университети, Пенза давлат университети, Ульяновск давлат техника университети ва Уфа давлат авиация техника университети (Россия), Тошкент давлат техника университети ва Тошкент давлат транспорт университети (Ўзбекистон)да олиб борилмоқда.

Дунёда катта ўзгарувчан тоқларнинг контактсиз ўзгартиргичлари ва ўлчагичларини ишлаб чиқиш бўйича долзарб муаммоларни ҳал қилишга қаратилган бир қатор илмий тадқиқотлар олиб борилмоқда. Бу йўналишда Р. Ripka<sup>2</sup>, А.А. Baschiroto<sup>3</sup>, Y. Nishio<sup>4</sup>, F. Tohyama, N. Onishi, D. Ciudad<sup>5</sup>, М. Díaz-Michelena, L. Pérez, С. Aroca, Ю.В. Афанасьев<sup>6</sup>, Б.С. Стогний, И.М. Сирота, Г.В. Джикаев<sup>7</sup>, В.Е. Казанский<sup>8</sup>, А.П. Кузнецов,

---

<sup>2</sup> Magnetic Sensors and Magnetometers / P. Ripka. – Boston: Artech house, 2000. – 494 p

<sup>3</sup> Baschiroto A.A. fluxgate magnetic sensor: From PCB to microintegrated technology // IEEE Trans. Instrum. Meas. – 2007. – Vol. 56. – P. 25-31.

<sup>4</sup> The sensor temperature characteristics of a fluxgate magnetometer by a wide-range temperature test for a Mercury exploration sat-ellite // Meas. Sci. Technol. – 2007. – Vol. 18. – P. 2721–2730.

<sup>5</sup> Small Fluxgate Magnetometers: Development and Future Trends in Spain // Sensors. – 2010. – Vol. 10, – P. 1859-1870

<sup>6</sup> Афанасьев Ю.В., Адоньев Н.М., Кибель В.М., Сирота И.М., Стогний Б.С. Трансформаторы тока. – Л.: Энергоатомиздат, 1989. – 417 с

<sup>7</sup> Джикаев Г.В. Измерительные преобразователи больших переменных токов в электроэнергетике: дис. ... к. т. н. – Ульяновск, 2004. – 228 с

<sup>8</sup> Казанский В.Е., Кузнецов А.П. Автоматизация энергетических систем. Учебное пособие. Москва, «Высшая школа», 1973. – 176 с

Ю.А. Андреев<sup>9</sup>, Г.В. Абрамзон, Г.И. Разин<sup>10</sup>, А.П. Щелкин, Н.Г. Семенко<sup>11</sup>, Ю.А. Гамазов, В.Е. Баранова<sup>12</sup>, В.С.Ковженкин<sup>13</sup>, В.С.Буряк<sup>14</sup> ва бошқ. катта ҳисса қўшишган.

Мамлакатимизда катта ўзгарувчан тоқларнинг электромагнит ўзгартиргичларини такомиллаштириш бўйича илмий муаммоларни ҳал қилишга маҳаллий олимлардан М.Ф. Зарипов<sup>15</sup>, А.М. Плахтиев<sup>16</sup>, И.Х. Сиддиков<sup>17</sup>, С.Ф. Амиров<sup>18</sup>, Г.П. Петров<sup>19</sup>, А.М. Сафаров<sup>20</sup>, Н. Савридинов<sup>21</sup>, Б.Х. Хушбоков, Ф.Д. Назаров, Н.Е. Балгаев<sup>22</sup>, Д.Ш. Рустамов, Н.О. Атауллаев, И.Х. Холиддинов<sup>23</sup>, А.Б. Абубакиров<sup>24</sup>, С.Х. Жумабоев<sup>25</sup>, Ш.С. Мухсимов<sup>26</sup>, М.А. Анарбоев<sup>27</sup> ва бошқалар катта ҳисса қўшишган. Бу олимларнинг саъй-ҳаракатлари билан катта ўзгарувчан тоқларнинг контактсиз ўзгартиргичларини лойиҳалаш ва ҳисоблашнинг

---

<sup>9</sup> Андреев Ю.А., Абрамзон Г.В. Преобразователи тока для измерений без разрыва цепи. – Ленинград: «Энергия», 1979. - 144 с.

<sup>10</sup> Разин Г.И., Щелкин А.П. Бесконтактное измерение электрических токов. – Москва, Атомиздат, 1974. – 160 с.

<sup>11</sup> Семенко Н.Г., Гамазов Ю.А. Измерительные преобразователи больших электрических токов и их метрологическое обеспечение. – М.: Издательство стандартов, 1984. – 132 с.

<sup>12</sup> Баранова В.Е. Измерение слабого магнитного поля на основе феррозондового датчика: дис.канд. техн. наук. - Томск, 2015. - 134 с.

<sup>13</sup> Ковженкин В.С. Исследование дистанционных трансформаторов тока применительно к релейной защите линий напряжением 110-220 кВ: дис. канд. техн. наук. – Москва: 1997.-185 с

<sup>14</sup> Буряк В.С. Обзор принципов и выполнения устройств, заменяющие высоковольтные трансформаторы тока//Информэнерго, Москва, 1971. - 64 с

<sup>15</sup> Зарипов М.Ф. Преобразователи с распределенными параметрами для автоматики и информационно-измерительной техники. – Москва: Энергия, 1969.– 176 с.

<sup>16</sup> Плахтиев А.М. Бесконтактные ферромагнитные преобразователи с распределенными магнитными параметрами для систем контроля и управления: Дисс. ... докт. техн. наук. – Ташкент: ТашГТУ, 2009. – 399 с.

<sup>17</sup> Патент РУз. №04475. Преобразователь тока в напряжение /Амиров С.Ф., Азимов Р.К., Сиддиков И.Х., Хакимов М.Х., Хушбоков Б.Х., Назаров Ф.Д., Рустамов Д.Ш.// Официальный вестник, 2012. - №2.

<sup>18</sup> Амиров С.Ф., Бабаназарова Н.К., Жумабоев С.Х., Исследование магнитных цепей нового дистанционного трансформаторного преобразователя тока // «Развитие науки и технологий», научно-технический журнал, Бухара, 2021. № 3, -С. 143-148.

<sup>19</sup> Петров Г.П. Разработка и исследование магнитомодуляционных преобразователей постоянных токов для систем управления: автореф. дисс. ... к.т.н., Ташкент, ТашПИ. – 21 с.

<sup>21</sup> Савридинов Н. Разработка и исследование магнитомодуляционных бесконтактных преобразователей постоянных и импульсных токов для систем управления: дисс. ... к.т.н. /ПГТУ –Ташкент, 1992. –150 с.

<sup>22</sup> Балгаев Н.Е. Гальваномагнитные датчики больших токов для систем контроля и управления: дис. ... к. т. н. – Ташкент: ТашГТУ, 2011.–193 с.

<sup>23</sup> Холиддинов И.Х. Разработка методов обеспечения качества электроэнергии при несимметричных режимах в низковольтных электрических сетях: Дис... доктора философии (PhD) - Ташкент, ТашГТУ, 2017. – 119 с.

<sup>24</sup> Абубакиров А.Б. Модели и принципы построения датчиков управления многофазных токов реактивной мощности системы электроснабжения с возобновляемыми источниками энергии: Дис... доктора философии (PhD) - Ташкент, ТУИТ, 2020. – 117 с.

<sup>25</sup> Жумабоев С.Х. Индукционные преобразователи разности токов для систем контроля и управления: автореф. дисс. ... на PhD, Ташкент, ТГТУ, 2021. – 44 с.

<sup>26</sup> Мухсимов Ш.С. Трансформаторы тока с автоматическим регулированием диапазона для систем управления устройствами тягового электроснабжения: автореф. дисс. ... на PhD, Ташкент, ТГТУ, 2021. – 44 с.

<sup>27</sup> Анарбоев М.А. Электромагнитные преобразователи тока в напряжение с расширенными функциональными возможностями для систем управления реактивной мощностью: автореф. дисс. ... на PhD, Ташкент, ТГТУ, 2021. – 44 с.

назарий асослари ишлаб чиқилган ва ривожлантирилган, мазкур ўзгартиргичларнинг оригинал конструкциялари ва схемали ечимлари таклиф қилинган ва ишлаб чиқаришга жорий қилинган.

Бирок, шу билан бирга, сезгирлиги ва чиқиш қуввати юқори бўлган катта ўзгарувчан тоқларнинг масофавий ўзгартиргичларини ишлаб чиқишга, шунингдек юқори кучланишли жиҳозлар режимларини бошқариш тизимларида токни ўзгартириш учун қўллаш имкониятларига етарлича эътибор берилмаган.

**Диссертация тадқиқотининг диссертация бажарилган олий таълим муассасасининг илмий-тадқиқот ишлари режалари билан боғлиқлиги.** Диссертация тадқиқоти Тошкент давлат транспорт университети илмий-тадқиқот ишлар режаларининг 3-сон «Темир йўл транспорти учун электромагнит ўлчаш воситаларини такомиллаштириш» (2018-2020) мавзусидаги лойиҳа доирасида бажарилган.

**Тадқиқотнинг мақсади** юқори кучланишли жиҳозлар режимларини назорат тизимлари учун сезгирлиги ва чиқиш қуввати юқори бўлган масофавий трансформатор ток ўзгартиргичларини ишлаб чиқиш, тадқиқ қилиш ва амалиётда қўллашдан иборат.

**Тадқиқотнинг вазифалари:**

замонавий босқичда юқори кучланишли жиҳозларнинг катта ўзгарувчан тоқларини ўзгартириш масалаларини ўрганиш ва назорат тизимларининг катта ток ўзгартиргичларига бўлган асосий талабларини шакллантириш;

катта ўзгарувчан тоқлар мавжуд ўзгартиргичлари асосий техник характеристикаларининг қиёсий таҳлилини ўтказиш, катта ўзгарувчан тоқлар ўзгартиргич турини танлаш ва асослаш;

юқори сезгирлик ва чиқиш қувватига эга масофавий трансформатор ток ўзгартиргичлари янги конструкцияларини ишлаб чиқиш;

масофавий трансформатор ток ўзгартиргичлари математик моделларини ишлаб чиқиш;

масофавий трансформатор ток ўзгартиргичларининг асосий тавсифларини тадқиқ этиш.

**Тадқиқотнинг объекти** юқори кучланишли жиҳозлар режимларини назорат тизимлари учун масофавий трансформатор ток ўзгартиргичлари олинган.

**Тадқиқотнинг предмети** юқори кучланишли жиҳозлар режимларини назорат тизимлари учун масофавий трансформатор ток ўзгартиргичларини ишлаб чиқиш ва уларнинг асосий характеристикаларини ўрганишдан иборат.

**Тадқиқотнинг усуллари.** Тадқиқот жараёнида йиғиқ ва тарқоқ параметрларга эга бўлган электр ва магнит занжирлар, Максвелл тенгламаларига асосланган электромагнит майдон назариялари, систематик ва тасодифий хатоликларни аниқлаш назариялари, турли физик табиатли занжирларнинг энергия-ахборот моделлари ва параметрик структуравий схемалари усуллари қўлланилган.

**Тадқиқотнинг илмий янгилиги** қуйидагилардан иборат:

юқори кучланишли жиҳозлар режимларини назорат тизимлари учун



юқори сезгирлик ва чиқиш қувватига эга янги масофавий трансформатор ток ўзгартиргичлари ишлаб чиқилган;

кўп ўрамли ўзак магнит занжирларини электр ва магнит параметрларининг тақсимланишини ҳисобга олган ҳолда ҳисоблаш услуби ишлаб чиқилган;

ёндош фазалар тоқларининг магнит майдонларининг таъсири ва уч фазали линия симларининг жойлашишини ҳисобга олган ҳолда юқори кучланишли уч фазали линиядаги тоқларни ўлчаш учун ўрнатилган учта масофавий трансформатор ток ўзгартиргичлари учун умумлашган математик моделлар ишлаб чиқилган;

масофавий трансформатор ток ўзгартиргичларининг статик, динамик ва метрологик характеристикаларини тадқиқ этиш жараёнини соддалаштириш имкониятини берувчи параметрик структуравий схемалар ишлаб чиқилган.

**Тадқиқотнинг амалий натижалари** қуйидагилардан иборат:

кўп ўрам ўзакли янги масофавий трансформатор ток ўзгартиргичлари статик, динамик ва метрологик характеристикаларини тадқиқ этиш учун аналитик боғлиқликлар олинган;

юқори кучланишли жиҳозлар тоқини ўзгартириш учун юқори сезгирлик ва чиқиш қувватига эга бўлган қурилма ишлаб чиқилган.

**Тадқиқот натижаларининг ишончилиги** йиғиқ ва тарқоқ параметрли занжирлар ва электромагнит майдонни ҳисоблаш асосий қонунлари, назариялари ва усуллари қўлланилиши билан, шунингдек, назарий ва тажриба натижаларининг ўзаро мос келиши билан асосланади.

**Тадқиқот натижаларининг илмий ва амалий аҳамияти.** Тадқиқот натижаларининг илмий аҳамияти электромагнит занжирлари параметрларининг тақсимланишини ҳисобга олган ҳолда кўп ўрам ўзакли масофавий трансформатор ток ўзгартиргичларининг статик, динамик ва метрологик характеристикалари учун олинган тенгламалари билан изоҳланади.

Тадқиқот натижаларининг амалий аҳамияти ишлаб чиқилган юқори сезгирлик ва чиқиш қувватига эга кўп ўрам ўзакли масофавий трансформатор ток ўзгартиргичларининг ҳисоблаш услубини магнит занжирларининг электр ва магнит параметрларининг тақсимланишини ҳисобга олган ҳолда ишлаб чиқишдан ва ишлаб чиқилган параметрик структуравий схемалар орқали масофавий трансформатор ток ўзгартиргичлари техник характеристикаларини ҳисоблашни соддалаштириш ҳамда уларни лойиҳалаш вақтини қисқартиришни таъминлаши билан изоҳланади.

**Тадқиқот натижаларининг жорий қилиниши.** Масофавий трансформатор ток ўзгартиргичларини ишлаб чиқиш бўйича олинган натижалар асосида:

юқори кучланишли уч фазали линия симларидаги тоқларни ўлчаш қурилмаси учун Ўзбекистон Республикаси Интеллектуал мулк агентлигидан ихтирога патент олинди (№IAP 06465; 2021 й.). Натижада, юқори сезгирлик ва чиқиш қувватига эга бўлган юқори кучланишли жиҳозлар симларидаги тоқларни ўлчаш қурилмаси яратилган;

ишлаб чиқилган ва нархи амалдаги ток трансформаторидан 2,85 баробар арзон бўлган янги масофавий трансформаторли ток ўзгартиргич “Бухоро ҳудудий электр тармоқлари корхонаси” АЖ “Ғарбий” подстанциясида тоқларни ўлчаш жараёнига жорий қилинган (Ўзбекистон Республикаси Энергетика Вазирлигининг 2021 йил 2 ноябрдаги 03-13-5819 - сон маълумотномаси). Натижада, юқори кучланишли жиҳоз режимларини бошқариш тизимида ўлчаш маълумотларини нархи арзон бўлган ўлчов қурилмасидан фойдаланиш имконияти юзага келган;

кўп ўрамли ва ўзакли магнит занжирларнинг электр ва магнит параметрларининг тақсимланишини ҳисобга олган ҳолда уларни ҳисоблаш усули, магнит таъсирини ҳисобга олган ҳолда, уч фазали линиядаги тоқларни масофадан туриб ўлчаш учун ўрнатилган кўп ўрамли ва ўзакли масофавий трансформаторли ток ўзгартиргичнинг умумлаштирилган моделлари “Бухоро ҳудудий электр тармоқлари корхонаси” АЖ “Ғарбий” подстанциясида бошқа иккита қўшни фазалар тоқлари магнит майдонлари таъсири ва уч фазали линиянинг ТФС жойлашувини ҳисобга олган ҳолда жорий қилинган (Ўзбекистон Республикаси Энергетика Вазирлигининг 2021 йил 2 ноябрдаги 03-13-5819 - сон маълумотномаси). Натижада, ишлаб чиқилган масофавий трансформаторли ток ўзгартиргичдан фойдаланиш юқори кучланишли жиҳоз режимларини назорат тизими учун ток ҳақида олинаётган ўлчаш маълумоти нархини 2,85 маротабага камайтириш имконини берган.

**Тадқиқот натижаларининг апробацияси.** Мазкур тадқиқот натижалари 6 та илмий-амалий анжуманларда, шу жумладан 2 та халқаро ва 4 та республика анжуманларида апробациядан ўтказилган.

**Тадқиқот натижаларининг эълон қилинганлиги.** Диссертация мавзуси бўйича жами 20 та илмий иш, шундан Ўзбекистон Республикаси Олий аттестация комиссиясининг докторлик диссертациялари асосий илмий натижаларини чоп этиш учун тавсия этилган илмий нашрларда 7 та мақола, жумладан, 1 та хорижий ва 6 та республика журналларида нашр этилган.

**Диссертация тузилиши ва ҳажми.** Диссертация кириш, тўртта боб, хулоса, фойдаланилган адабиётлар рўйхати ва иловалардан иборат. Диссертация ҳажми 120 бетни ташкил қилади.

## **ДИССЕРТАЦИЯ АСОСИЙ МАЗМУНИ**

**Кириш қисмида** ишнинг долзарблиги асосланган, масаланинг ҳолати ёритиб берилган, тадқиқотнинг мақсади ва вазифалари шакллантирилган, тадқиқот объекти ва предмети тавсифи берилган, тадқиқотнинг республика фан ва технологияларни ривожлантириш устувор йўналишларига мослиги кўрсатилган, тадқиқотнинг илмий янгилиги ва амалий натижалари тавсифланган, тадқиқотнинг ишончлилиги, назарий ва амалий аҳамияти асосланган, илмий тадқиқотлар натижаларини ишлаб чиқаришга жорий этиш маълумотлари келтирилган.

Диссертациянинг **“Муаммонинг ҳолати ва тадқиқот вазифаларини шакллантириш”** деб номланган биринчи бобида юқори кучланишли жиҳозларнинг (ЮКЖ) иш режимларини назорат тизимларининг схемалари

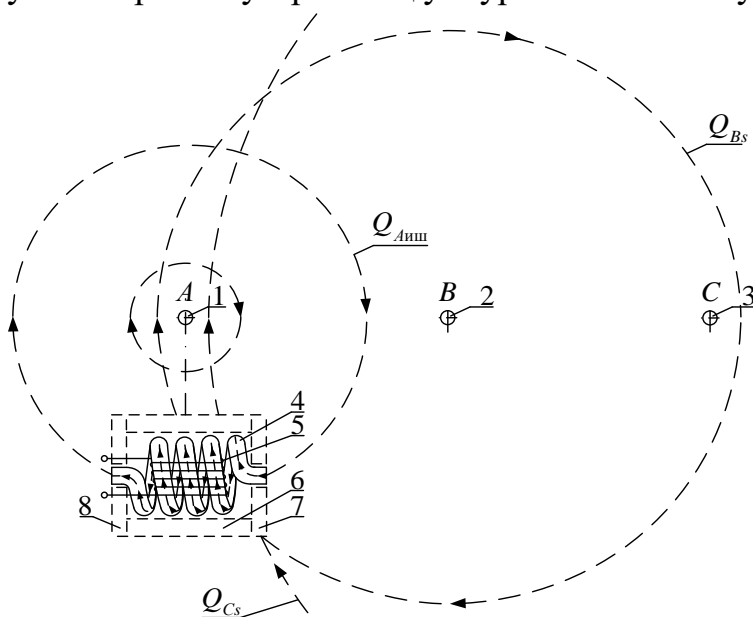
таҳлили амалга оширилган бўлиб, бунда мазкур тизимларда фойдаланиладиган ўзгарувчан ток ўзгартиргичлари юқори кучланишли занжирдан гальваник ажратилган, юқори сезгирлик, аниқлик ва чиқиш қувватига, ЮКЖ нормал ва авария режимларида ўзгартириш функциясининг чизиқлилигига, шунингдек экстремал иш шароитларида характеристикаларининг барқарорлигига эга бўлиши кераклиги аниқланди.

Катта ўзгарувчан токларнинг мавжуд ўзгартиргичлари асосий характеристикаларини қиёсий баҳолаш масофавий трансформатор ток ўзгартиргичлари (МТТЎ) талабларга нисбатан тўлиқ жавоб беришини кўрсатди. Шу билан бирга, мавжуд МТТЎ паст сезгирлик ва чиқиш қувватига эга эканлиги аниқланди.

Адабиёт манбаларини таҳлил қилиш натижалари ва қўйилган мақсаддан келиб чиққан ҳолда, тадқиқотнинг асосий вазифалари белгиланди.

Диссертациянинг “**Масофавий трансформатор ток ўзгартиргичлари математик моделлари**” деб номланган иккинчи бобида юқори сезгирлик ва чиқиш қувватига эга МТТЎ ларнинг янги конструкциялари келтирилган ва уларнинг математик моделлари ишлаб чиқилган.

МТТЎ конструкцияларидан бири 1-расмда кўрсатилган. МТТЎ мазкур конструкциясининг ўзига хос хусусиятларидан бири шундаки, ишчи магнит оқими ( $Q_{\mu\text{Аиш}}$ ) ҳар сафар кўп ўрамли ўзак (КЎЎ) 4 ўрамлари бўйлаб ўтганида ўлчаш чўлғами 5 да электр юритувчи куч(ЭЮК) ҳосил қилади:  $e_A = -w_M w_2 \frac{dQ_{\mu As}}{dt}$  (бу ерда  $w_M, w_2$  – мувофиқ равишда КЎЎ ва ўлчаш чулғами ўрамлари сони), яъни янги МТТЎ умумий ЭЮКи унинг прототипи ЭЮКидан  $w_M$  мартага катта бўлади. Бунда янги МТТЎ ўлчаш контури аслиги соленоид туридаги МТТЎ аслигидан тахминан  $w_M^2$  марта катта бўлади. Уч фазали линияда токлар носимметриясини ўлчаш зарурати бўлганида ҳар бир фаза остида МТТЎ ўрнатилади, уларнинг ўлчов чулғамлари эса ўзаро очик учбурчак схемаси бўйича бирлаштирилади.



1-расм. Юқори кучланишли уч фазали линия симларида токни ўлчаш учун янги қурилма конструктив схемаси: 1,2,3 – юқори кучланишли линия симлари; 4 – кўп ўрамли ўзак (КЎЎ); 5 – ўлчаш чўлғами; 6,7,8 – электромагнит экран элементлари.

Ишлаб чиқилган МТТЎ КЎЎни ясаш технологиясини соддалаштириш мақсадида уни наноўлчамли оксидли қатлам билан қопланган темир заррачаларидан ташкил топган композицион материалдан ҳосил қилинган монолит стерженлардан йиғиш тавсия этилди.

Ишлаб чиқилган КЎЎли МТТЎ магнит занжирларининг математик моделларини ишлаб чиқишда эквивалент алмашлаш схемалари усули ва дифференциал тенгламаларни тузиш ва ечишга асосланган классик усул қўлланилган. Бу турдаги магнит занжирларини тадқиқ қилишда одатда фойдаланиладиган чекловлар қабул қилинган. Янги КЎЎли МТТЎ магнит занжири устида ўтказилган тажриба тадқиқотлари бу чекловлар ҳисоблашлар аниқлигига сезиларли даражада таъсир этмаслигини, аммо занжирлар таҳлилини анча осонлаштиришини кўрсатди.

Учта ўрамли КЎЎ МТТЎ чизиқли электромагнит занжирининг КЎЎ ўрамларидаги магнит оқимларининг ўлчанаётган ўзгарувчан ток ( $I_A$ ), бурчак координатаси ( $\alpha$ ) ва электр ва магнит занжирларининг тақсимланган параметрларига боғлиқликлари кўринишида қуйидаги математик модели ишлаб чиқилган:

$$Q_{\mu 1} = \frac{I_A}{3Z_{\mu \Pi} \alpha_M m \Delta^*} \left\{ (\Delta^* - 2\beta_1^2 \beta_2) \left[ \operatorname{ch}(\beta_2 \alpha^*) - \operatorname{ch}(\beta_2 (1 - \alpha^*)) \right] \operatorname{sh} \beta_1 + \right. \\ \left. + (\Delta^* - 2\beta_1^2 \beta_2) [1 - \operatorname{ch} \beta_2] \left[ \operatorname{sh}(\beta_1 \alpha^*) + \operatorname{sh}(\beta_1 (1 - \alpha^*)) \right] + \right. \\ \left. + (\Delta^* - 6\beta_1 \beta_2^2) [1 + \operatorname{ch} \beta_1] \left[ \operatorname{sh}(\beta_2 \alpha^*) - \operatorname{sh}(\beta_2 (1 - \alpha^*)) \right] + \right. \\ \left. + (\Delta^* - 6\beta_1 \beta_2^2) \left[ \operatorname{ch}(\beta_1 \alpha^*) + \operatorname{ch}(\beta_1 (1 - \alpha^*)) \right] \operatorname{sh} \beta_2 \right\}, [Wb] \quad (1)$$

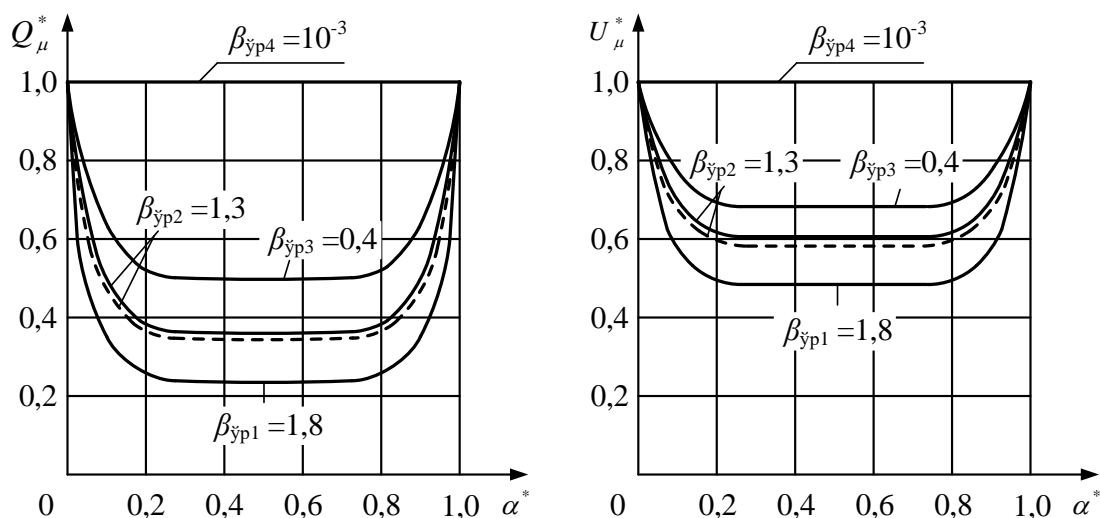
$$Q_{\mu 2} = \frac{I_A}{3Z_{\mu \Pi} \alpha_M m \Delta^*} \left\{ (\Delta^* - 4\beta_1^2 \beta_2) [1 - \operatorname{ch} \beta_2] \left[ \operatorname{sh}(\beta_1 \alpha^*) + \operatorname{sh}(\beta_1 (1 - \alpha^*)) \right] + \right. \\ \left. + (\Delta^* + 12\beta_1^2 \beta_2) \left[ \operatorname{ch}(\beta_1 \alpha^*) + \operatorname{ch}(\beta_1 (1 - \alpha^*)) \right] \operatorname{sh} \beta_2 \right\}, [Wb] \quad (2)$$

$$Q_{\mu 3} = \frac{I_A}{3Z_{\mu \Pi} \alpha_M m \Delta^*} \left\{ (\Delta^* + 2\beta_1^2 \beta_2) \left[ \operatorname{ch}(\beta_2 \alpha^*) - \operatorname{ch}(\beta_2 (1 - \alpha^*)) \right] \operatorname{sh} \beta_1 + \right. \\ \left. + (\Delta^* + 2\beta_1^2 \beta_2) [1 - \operatorname{ch} \beta_2] \left[ \operatorname{sh}(\beta_1 \alpha^*) + \operatorname{sh}(\beta_1 (1 - \alpha^*)) \right] + \right. \\ \left. + (\Delta^* + 6\beta_1 \beta_2^2) [1 + \operatorname{ch} \beta_1] \left[ \operatorname{sh}(\beta_2 \alpha^*) - \operatorname{sh}(\beta_2 (1 - \alpha^*)) \right] - \right. \\ \left. (\Delta^* - 6\beta_1 \beta_2^2) \left[ \operatorname{ch}(\beta_1 \alpha^*) + \operatorname{ch}(\beta_1 (1 - \alpha^*)) \right] \operatorname{sh} \beta_2 \right\}, [Wb] \quad (3)$$

бу ерда  $Z_{\mu \Pi} = \frac{2\pi r_{cp}}{\mu_0 b h \alpha_M}$ ,  $[1/H \cdot \text{deg}]$  – магнит занжирининг бурчак бирлигига тўғри келадиган ферромагнит КЎЎ ўрами магнит қаршилигининг погон қиймати;  $b$ ,  $h$ ,  $\delta_s$ ,  $r_{cp}$  – мос равишда стержень кенлиги, баландлиги, ўрамлар орасидаги ишчи бўлмаган оралик ва КЎЎ ўртача радиуси,  $[m]$ ;  $\alpha$ ,  $\alpha_M = 180^\circ$  – бурчак координатаси ва унинг максимал қиймати;  $\mu$ ,  $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7} \text{ H/m}$  – нисбий магнит сингдирувчанлик ва магнит доимийси;  $m = 2\pi r_{cp} / l_{ab}$ ;  $\beta_1$  ва  $\beta_2 = \alpha$  координата бўйлаб магнит майдонининг магнит занжирида сўниш коэффициентлари;  $\alpha^* = \alpha / \alpha_M$ ;  $\alpha_M = \alpha$

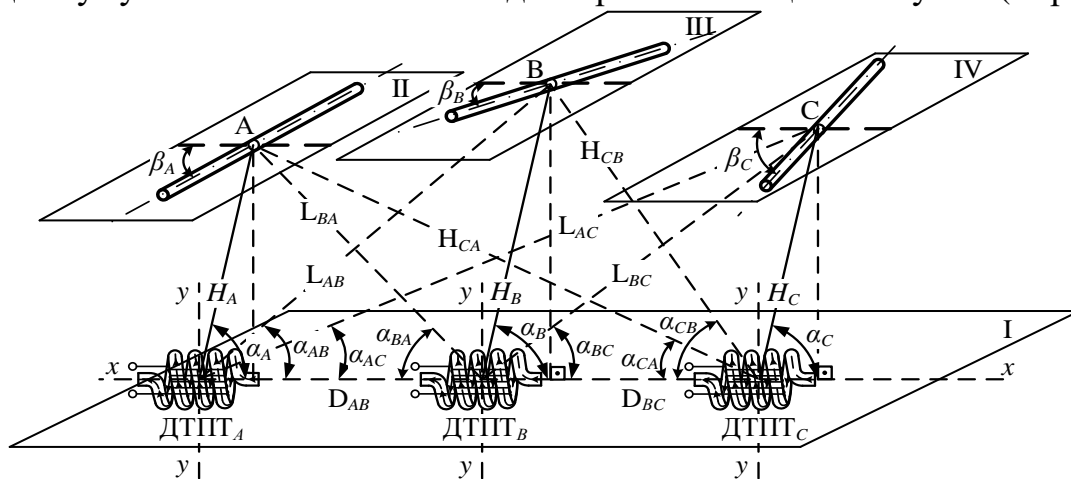
максимал қиймати;  $\Delta^* = [4\beta_1\beta_2(ch\beta_1 + ch\beta_2) + 2\beta_1\beta_2ch\beta_2ch\beta_1 + (\beta_1^2 - 3\beta_2^2)sh\beta_2sh\beta_1 + 2\beta_1\beta_2], [-]$ .

Магнит кучланиш ва магнит оқимининг магнит занжири бурчак координатасига боғлиқлик эгри чизиқларининг таҳлили (2- расм) шуни кўрсатадики, ферромагнит ўзак ўрамларининг магнит қаршилиги ва КЎЎ ўрамлари орасидаги ҳаво оралиқ магнит сиғимининг бир хил погон қийматларида магнит занжирида магнит майдонининг сўниш коэффиценти ошиши билан КЎЎ четки ўрамларидаги магнит оқимининг ва четки жуфт ўрамлар орасидаги магнит кучланиши ўзгариши монотонлиги ошади, ўрта ўрамлардаги магнит оқимлари ва улар орасидаги магнит кучланиш эса деярли ўзгармайди. Тажриба натижалари ва ҳисоб-китоб натижалари ўртасидаги фарқ 5-7% ни ташкил қилади.



2- расм. Магнит занжир  $\beta$  даги магнит майдон сўниши коэффиценти турли қийматларида  $U_\mu^* = f(\alpha^*)$  ва  $Q_\mu^* = f(\alpha^*)$  боғлиқлик эгри чизиқлари: пунктир эгри чизиқ – тажриба

Уч фазали линиядаги тоқларни ўлчаш учун ўрнатилган КЎЎ ли учта МТТЎ учун иккита ёндош фазалар тоқлари магнит майдонларининг таъсири ва МТТЎ ва уч фазали линия симлари жойлашуви ҳисобга олинган ҳолда қуйидаги умумлашган математик моделлар ишлаб чиқилган бўлиб (3- расм):



3- расм. Уч фазали линия тоқларини назорат қилишда учта МТТЎ жойлашуви схемаси

$$u_{2A} = \frac{w_2}{H_A} k_d \sin \alpha_A \sin \beta_A \frac{di_{1A}}{dt} + w_2 k_d \left[ \frac{\sin \alpha_{AB} \sin \beta_B}{\sqrt{H_B^2 + D_{AB}^2 - 2H_B D_{AB} \cos(180^\circ - \alpha_B)}} \frac{di_{1B}}{dt} + \frac{\sin \alpha_{AC} \sin \beta_C}{\sqrt{H_C^2 + (D_{AB} + D_{BC})^2 - 2H_C (D_{AB} + D_{BC}) \cos(180^\circ - \alpha_C)}} \frac{di_{1C}}{dt} \right], \quad (4)$$

$$u_{2B} = \frac{w_2}{H_B} k_d \sin \alpha_B \sin \beta_B \frac{di_{1B}}{dt} + w_2 k_d \left[ \frac{\sin \alpha_{BA} \sin \beta_A}{\sqrt{H_A^2 + D_{AB}^2 - 2H_A D_{AB} \cos \alpha_A}} \frac{di_{1A}}{dt} + \frac{\sin \alpha_{BC} \sin \beta_C}{\sqrt{H_C^2 + D_{BC}^2 - 2H_C D_{BC} \cos(180^\circ - \alpha_C)}} \frac{di_{1C}}{dt} \right], \quad (5)$$

$$u_{2C} = \frac{w_2}{H_C} k_d \sin \alpha_C \sin \beta_C \frac{di_{1C}}{dt} + w_2 k_d \left[ \frac{\sin \alpha_{CB} \sin \beta_B}{\sqrt{H_B^2 + D_{BC}^2 - 2H_B D_{BC} \cos \alpha_B}} \frac{di_{1B}}{dt} + \frac{\sin \alpha_{CA} \sin \beta_A}{\sqrt{H_A^2 + (D_{AB} + D_{BC})^2 - 2H_A (D_{AB} + D_{BC}) \cos \alpha_A}} \frac{di_{1A}}{dt} \right], \quad (6)$$

бу ерда  $i_{1A}$ ,  $i_{1B}$  ва  $i_{1C}$  – А, В ва С фазалар симларида тоқларнинг оний қийматлари.

Диссертациянинг “**Масофавий трансформатор ток ўзгартиргичларининг статик ва динамик характеристикалари**” деб номланган учинчи боби ишлаб чиқилган КЎЎ ли МТТЎ статик ва динамик характеристикалари тадқиқотига бағишланган.

КЎЎ ли МТТЎ нинг статик характеристикалари учун қуйидаги аналитик ифодалар олинди:

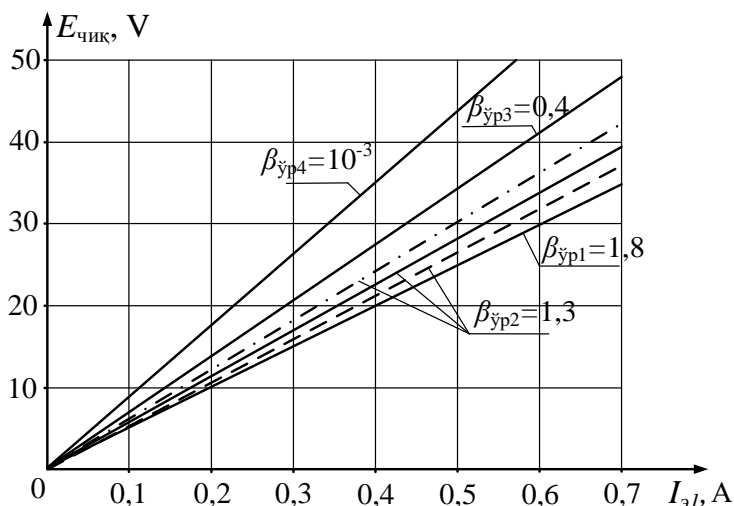
$$\begin{aligned} \dot{E}_{\text{чик}} = & -j\omega w_2 \frac{2i_1}{3Z_{\mu\pi} \alpha_m m \Delta^*} \left( \frac{1}{\beta_1} (\Delta^* - 4\beta_1^2 \beta_2) [1 - ch \beta_2] [ch \beta_1 - 1] + \right. \\ & \left. + \frac{1}{\beta_1} (\Delta^* + 12\beta_1^2 \beta_2) sh \beta_1 sh \beta_2 + \frac{\Delta^*}{\beta_2} [1 + ch \beta_1] ch \beta_2 \right). [V] \end{aligned} \quad (7)$$

Ишлаб чиқилган КЎЎ ли МТТЎ статик характеристикалари графикларининг таҳлили шуни кўрсатадики (4-расм), магнит ўтказгичда магнит майдони сўниш коэффициенти  $\beta_{\text{ўр}} = 0,5(\beta_1 + \beta_2)$  қийматининг ортиши билан характеристика қиялиги пасаяди. Ишда ишлаб чиқилган КЎЎ ли МТТЎ статик характеристикасининг аналитик ифодасини параметрик структуравий схемалар (ПСС) усули ёрдамида нисбатан осон ҳосил қилиш мумкинлиги кўрсатилган. Классик ва ПСС усуллар ёрдамида ҳисоб-китоб асосида, шунингдек тажрибада олинган натижалар ўртасидаги фарқ мос равишда 5-7% ва 8-10% дан ошмайди.

Магнит майдонини моделлаштириш усулида ўзгартириладиган ток учун қуйидаги аналитик ифода олинган бўлиб, у янги КЎЎ ли МТТЎ нинг статик характеристикаси чизиқли участкасининг юқори чегараси қийматини аниқлаш имконини беради:

$$I_{\text{э1 ю.ч.}} = \frac{2\pi R B_{\text{CS}} S_{\mu\text{п}}}{\mu_0 S_{\mu\text{к.х.}}}, [A], \quad (8)$$

бу ерда  $R$  – ишчи магнит оқим туташадиган халқа ҳаво қисмининг ўртача доираси радиуси;  $B_{\text{CS}}$  – магнитланиш асосий эгри чизиги бурилиши бошланишига мос келадиган магнит индукция қиймати;  $S_{\mu\text{к.х.}}$ ,  $S_{\mu\text{п}}$  – мос равишда халқанинг ҳаво қисми ва КҶҶ кўндаланг кесими юзалари. Масалан,  $B_{\text{CS}} = 1,1 \text{ Т}$ ,  $R = 1,05 \text{ м}$ ,  $S_{\mu\text{к.х.}} = 1,62 \cdot 10^{-2} \text{ м}^2$  ва  $S_{\mu\text{п}} = 7,85 \cdot 10^{-5} \text{ м}^2$  бўлган 3411 электротехник пўлатдан тайёрланган КҶҶ ли МТТҶ намунаси учун  $I_{\text{э1 в.п.}}$  қиймати 28,1 кА ни ташкил қилади.



4- расм.  $\beta_{\text{ср}}$  турли қийматларида ишлаб чиқилган КҶҶ ли МТТҶ статик характеристикалари: туташ чизиклар – классик усул; пунктир чизик – тажриба; пунктир-нуқта чизик – ПСС усули асосида қурилган.

Ўзгартиргичнинг кириш қисмига поғонали, импульс, чизикли ошиб борувчи ва синусоидал тоқларни, шунингдек сўнувчи амплитудали синусоидал ток берилганда компенсацияловчи конденсатор(КК)сиз ва ККли янги КҶҶ ли МТТҶ нинг динамик характеристикалари тадқиқ этилди. КК сиз КҶҶ ли МТТҶ назорат ва бошқариш тизимларининг структуравий схемаларида статизмсиз реал дифференцияловчи ва биринчи тартибли инерцион (апериодик) бўғинларни ўзаро кетма-кет уланган шаклида тасвирланиши мумкинлиги, ККли КҶҶ ли МТТҶ эса ўзаро кетма-кет уланган идеал дифференцияловчи бўғин, статизмсиз реал дифференцияловчи бўғин ва ва иккинчи тартибли инерцион бўғин кўринишида келтирилиши мумкинлиги кўрсатилди.

Юқоридаги кириш таъсирлари остида янги КҶҶ ли МТТҶ учун ўткинчи характеристикалар аналитик ифодалари олинди. Масалан, ток ўзгартиргичи кириш қисмига сўнувчи амплитудали синусоидал ток берилганда, ўткинчи иккиламчи ток учун ифодалар қуйидаги кўринишга эга:

КК сиз КҶҶ ли МТТҶ учун:

$$i_{\text{э2}}(t) = -I_{\text{э2.1св.}} e^{-\frac{t}{T_{\text{э2}}}} + I_{\text{э2.2св.}} e^{-\frac{t}{T_{\mu}}} + I_{\text{э2м.}} e^{-\frac{t}{T_{\text{э1}}}} \sin(\omega t + \varphi_1) = \\ = i_{\text{э2.1св.}}(t) + i_{\text{э2.2св.}}(t) + i_{\text{э2}}(t), \quad (9)$$

бу ерда  $I_{\text{э2.1св.}} = \frac{T_{\text{э1}}^2 T_{\text{э2}} T_{\text{э12}} \omega I_{\text{э1м}}}{(T_{\text{э2}} - T_{\mu})[(T_{\text{э1}} - T_{\text{э2}})^2 + \omega^2 T_{\text{э1}}^2 T_{\text{э2}}^2]}$ ;  $I_{\text{э2.2св.}} = \frac{T_{\text{э1}}^2 T_{\mu} T_{\text{э12}} \omega I_{\text{э1м}}}{(T_{\text{э2}} - T_{\mu})[(T_{\text{э1}} - T_{\mu})^2 + \omega^2 T_{\text{э1}}^2 T_{\mu}^2]}$ ;

$$I_{\text{э2м.}} = \frac{T_{\text{э12}} I_{\text{э1м}} T_{\text{э1}} \sqrt{(1 + \omega^2 T_{\text{э1}}^2)} e^{-\frac{t}{T_{\text{э1}}}}}{2\sqrt{M^2(\omega) + N^2(\omega)}}, [A];$$

$\delta < \omega_0$  да КК сиз КҰҰ ли МТТҰ учун:

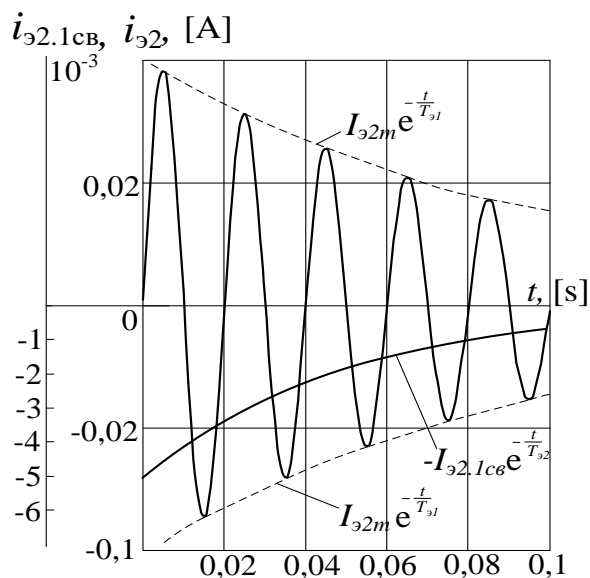
$$i_{\text{э2.св.}}(t) = I_{\text{э2.св.}} e^{-\delta t} \cos(\omega'_{\text{св.}} t - \varphi_2) - I_{\text{э2м}} e^{-\frac{t}{T_{\text{э1}}}} \sin(\omega'_{\text{св.}} t + \varphi_3), \quad (10)$$

бунда  $I_{\text{э2.св.}} = \frac{K\omega\omega_0^4 T_{\text{э1}}^2 I_{\text{э1м}}}{\omega'_{\text{св.}} \sqrt{4\omega'_{\text{св.}}{}^2 T_{\text{э1}}^2 (\delta T_{\text{э1}} - 1)^2 + [1 + (\delta^2 - \omega'_{\text{св.}}{}^2 + \omega^2) T_{\text{э1}}^2]^2}}$ ,  $\varphi_2 = \arctg \frac{1 + (\delta^2 - \omega'_{\text{св.}}{}^2 + \omega^2) T_{\text{э1}}^2}{2\omega'_{\text{св.}} T_{\text{э1}} (\delta T_{\text{э1}} - 1)} +$

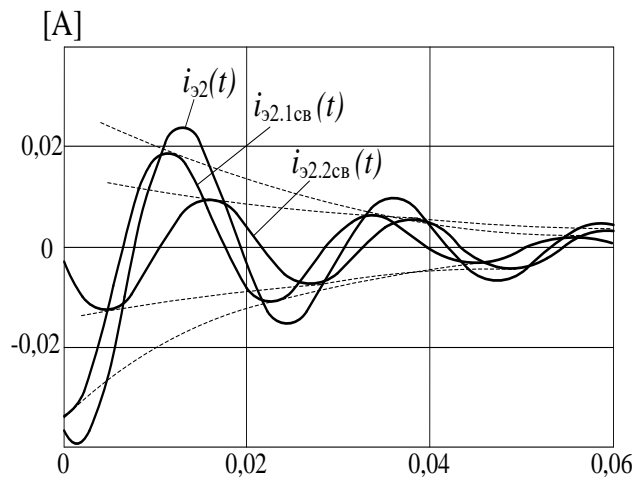
$2\arctg \frac{\omega'_{\text{св.}}}{\delta}$ ,  $\varphi_3 = -2\arctg \omega T_{\text{э1}} + \arctg \frac{1 - 2\delta T_{\text{э1}} + (\omega_0^2 - \omega^2) T_{\text{э1}}^2}{2\omega T_{\text{э1}} (1 - \delta T_{\text{э1}})}$ ,  $\delta = \frac{R_{\text{э2}\Sigma}}{2L_{\text{э2}\Sigma}}$ ;  $\omega_0 = 1/(L_{\text{э2}\Sigma} C_{\text{э2}\Sigma})$ ;

$R_{\text{э2}\Sigma}$ ,  $L_{\text{э2}\Sigma}$  ва  $C_{\text{э2}\Sigma}$  - мос равишда сўниш коэффициентлари, КҰҰ ли МТТҰ иккиламчи занжирининг бурчак частотаси ва параметрлари.

Тенглама (9) ва унинг эгри чизиқлари (5- расм) тахлили шуни кўрсатадики, ККсиз КҰҰ ли МТТҰ бирламчи занжирини сўнувчи амплитудали синусоидал ток тармоғига уланганда ўткинчи ток иккита эркин аperiодик ва битта мажбурий синусоидал сўнувчи ташкил этувчилардан иборат бўлади. ККли ва КҰҰ ли МТТҰ бирламчи занжирини сўнувчи амплитудали синусоидал ток тармоғига уланган ҳолатида эса,  $\delta > \omega_0$  да иккиламчи занжирининг ўткинчи токи иккита эркин аperiодик ва битта мажбурий сўнувчи синусоидал ташкил этувчилар йиғиндисидан иборат эканлигини кўрсатилган,  $\delta = \omega_0$  да битта эркин аperiодик ва мажбурий сўнувчан синусоидал ташкил қилувчилардан,  $\delta < \omega_0$  (6-расм) эса иккита эркин сўнувчи синусоидал ташкил этувчилардан иборат бўлиб, уларнинг сўниш даражаси мос равишда ўзгартиргичнинг иккиламчи ва бирламчи занжири вақт доимийсига боғлиқ бўлади.



5- расм. Ишлаб чиқилган КК сиз КҰҰ ли МТТҰ кириш қисмига сўнувчи амплитудали синусоидал ток берилганда унинг ўтар характеристика ташкил қилувчилари эгри чизиқлари



6- расм. Ишлаб чиқилган КК ва КҰҰ ли МТТҰ кириш қисмига сўнувчи амплитудали синусоидал ток берилганда унинг ўтар характеристика ташкил қилувчилари эгри чизиқлари

ККсиз КҰҰли МТТҰ синусоидал ток тармоғига уланганда ўткинчи ток қийматларининг камайиб бориши иккиламчи ва магнит занжири вақт



доимийларига боғлиқ бўлган эркин апериодик ташкил этувчилар йиғиндисидан ҳамда турғун ташкил этувчидан иборат бўлади, ККли КЎЎли МТТЎ синусоидал ток тармоғига уланганда эса  $\delta > \omega_0$  ва  $\delta = \omega_0$  ҳолатларда ўткинчи токнинг эркин ташкил этувчилари апериодик,  $\delta < \omega_0$  да эса тебранма характерда бўлади.

Диссертациянинг “**Масофавий трансформатор ток ўзгартиргичлар хатолиги ва ишончилиги**” деб номланган тўртинчи бобида хатоликлар манбалари ва уларнинг таҳлили, ишончилилик, шунингдек янги КЎЎли МТТЎнинг асосий техник кўрсаткичлари келтирилган.

КЎЎли МТТЎ хатоликлари манбаларини аниқлаш шуни кўрсатдики, услубий, технологик ва эксплуатацион хатоликлар асосий хатоликлар манбаси бўлиб, ички, ташқи ва режим манбалари эса қўшимча хатоликлар манбаи бўлиб ҳисобланади.

Яратилган КЎЎли МТТЎнинг барча хатолик манбаларини инобатга олинган ҳолда ПСС тузилди. Унда хатоликнинг аддитив ташкил этувчилари ҳар бир элементар ўзгартиргич чиқиш катталигига, хатоликнинг мультипликатив ташкил этувчилари эса ҳар бир занжирлараро физик-техник эффект ёки бир табиатли занжир ичидаги физик-техник эффект – параметр узатиш коэффициентига тузатма кўринишида инобатга олинди. Узатиш коэффициентларига, катталикларга ва параметрларга тузатма кўринишидаги хатоликларнинг пайдо бўлиш сабаблари асосий физик эффектларга йўлдош бўлган ва уларга халақит берадиган эффектлар мавжудлиги, улар асосий эффектларга тегишли катталиклар, параметрлар ва коэффициентлар орқали боғланганлиги кўрсатилди.

Ишлаб чиқилган КЎЎли МТТЎ келтирилган хатолиги ёндош фазалар тоқлари магнит майдонларининг халақит берувчи таъсирини ҳам инобатга олган ҳолда  $\pm 2,5\%$  дан ошмаслиги аниқланди.

КЎЎли МТТЎ учун изоляция мустаҳкамлиги бўйича тўхтамасдан ишлаш эҳтимолидан фойдаланиб, қуйидаги ишончилилик кўрсаткичлари аниқланди: тўхтамасдан ишлаш эҳтимоли  $P = 0,91$ ; носозликкача ўртача вақт  $T = 11,2$  йил. КЎЎли МТТЎ ишончилигини аниқлашда ишончилиликнинг аниқроқ қийматларига унинг бир неча параметрларини қамраб олиш орқали эришилди.

Иловаларда диссертация бўйича қўшимча маълумотлар, шу жумладан диссертация натижаларини ишлаб чиқаришга жорий этиш акти ва маълумотномаси келтирилган.

## ХУЛОСА

“Юқори кучланишли жиҳозлар режимларини назорат тизимлари учун масофавий трансформатор ток ўзгартиргичлари” мавзусидаги диссертация ишини бажариш жараёнида қуйидаги илмий натижалар олинди:

1. Юқори кучланишли жиҳозлар режимларини назорат тизимларида қўлланиладиган катта ўзгарувчан ток ўзгартиргичлари юқори кучланишли занжирдан гальваник ажратилган, юқори сезгирлик, аниқлик ва чиқиш қувватига эга бўлиши, ўзгартириш функциясининг чизиқлилигига,

шунингдек экстремал иш шароитида барқарор характеристикаларга эга бўлиши кераклиги аниқланди. Масофавий трансформатор ток ўзгартиргичлари (МТТЎ) талабларга нисбатан тўлиқ жавоб бериши кўрсатилди.

2. Магнит ўтказгични умумий ўлчаш чўлғамли кўп ўрамли ўзак (КЎЎ) кўринишида амалга ошириш МТТЎнинг сезгирлиги ва чиқиш қувватини оширишга, учта фаза тоқларини ўлчаш учун ўлчаш чўлғамлари очик учбурчак уланган учта КЎЎли МТТЎларнинг ўрнатилиши эса учта фазадаги тоқларни ва улар носимметриясини бир вақтнинг ўзида ўлчаши ҳисобидан қурилманинг функционал имкониятлари кенгайтириши кўрсатилган.

3. МТТЎ магнит ўтказгичи параллел стерженларининг ҳар бири умумий ўлчаш чўлғамлари сони турлича ва ўзаро кетма-кет мос уланган КЎЎлар кўринишида бўлган ҳамда тўнтариб жойлаштирилган П-шаклида ишлаб чиқилиши ёндош шиналарнинг ҳалақит берувчи тоқлари таъсирини камайтириши аниқланган.

4. МТТЎ КЎЎ ўрамлар орасидаги магнит кучланиши ва ўрамлардаги магнит оқими эгри чизиқларининг таҳлили шуни кўрсатадики, магнит занжиридаги магнит майдонининг сўниш коэффиценти ошиши билан четки ўрамлардаги магнит оқимининг ва четки ўрамлар жуфтлари орасидаги магнит кучланиши ўзгариш монотонлиги ошади, ўрта ўрамлардаги магнит оқимлар ва улар орасидаги магнит кучланиши эса деярли ўзгармайди.

5. Уч фазали линиядаги тоқларни ўлчаш учун ўрнатилган учта МТТЎ чиқиш сигналларининг тегишли назорат қилинаётган тоққа аналитик боғлиқлик ифодалари бошқа иккита ёндош фазалар тоқлари магнит майдонларининг таъсирини ва МТТЎ ва уч фазали линия симларининг жойлашувини ҳисобга олган ҳолда олинди.

6. Ишлаб чиқилган КЎЎли МТТЎ нинг статик характеристикалари уларнинг электр ва магнит занжирлари параметрлари тақсимланишини ҳисобга олган ҳолда аналитик ифодаси олинди. Мазкур ифода ва унинг асосида тузилган графиклар таҳлили шуни кўрсатадики, магнит ўтказгичдаги магнит майдонининг сўниш коэффиценти ортиб бориши билан характеристика қиялиги пасаяди.

7. Компенсацион конденсатор(КК) сиз ва ККли КЎЎли МТТЎ ўткинчи характеристикаларининг аналитик тенгламалари олинди. Аниқландики, ККсиз КЎЎли МТТЎ назорат ва бошқариш тизимларининг структуравий схемаларида статизмсиз реал дифференцияловчи ва биринчи тартибли инерцион (апериодик) бўғинларни ўзаро кетма-кет уланган шаклида тасвирланиши мумкинлиги, ККли КЎЎли МТТЎ эса - ўзаро кетма-кет уланган идеал дифференцияловчи бўғин, статизмсиз реал дифференцияловчи бўғин ва ва иккинчи тартибли инерцион бўғин кўринишида келтирилиши мумкин.

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

---

**ТАШКЕНТСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТРАНСПОРТНЫЙ  
УНИВЕРСИТЕТ**

**БАБАНАЗАРОВА НАРГИСА КАМИЛОВНА**

**ДИСТАНЦИОННЫЕ ТРАНСФОРМАТОРНЫЕ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛИ  
ТОКА ДЛЯ СИСТЕМ КОНТРОЛЯ РЕЖИМАМИ  
ВЫСОКОВОЛЬТНОГО ОБОРУДОВАНИЯ**

**05.01.06 – Элементы и устройства вычислительной техники и систем  
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 № В2021.1.PhD/Г2194.

Диссертация выполнена в Ташкентском государственном транспортном университете.

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

**Научный руководитель:** Амиров Султон Файзуллаевич  
доктор технических наук, профессор

**Официальные оппоненты:** Сиддиков Илхомжон Хакимович  
доктор технических наук, профессор

Плахтиев Анатолий Михайлович  
доктор технических наук, профессор

**Ведущая организация:** Институт энергетических проблем АН РУз

Защита диссертации состоится «16» 12 2021 года в 12<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](mailto:tstu_info@tdtu.uz)).

С диссертацией можно ознакомиться в Информационно-ресурсном центре Ташкентского государственного технического университета (зарегистрировано №231). (Адрес: 100095, г. Ташкент, ул. Университетская, 2. Тел.: (99871) 207-14-70).

Автореферат диссертации разослан «4» 12 2021 года.  
(реестр протокола рассылки №21 от «23» 11 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, доцент

**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.** Во всем мире уделяется особое внимание вопросам качества электроснабжения промышленности, сельского хозяйства, железнодорожного транспорта и других отраслей народного хозяйства, а также повышению эксплуатационной эффективности систем электроснабжения, разработке измерительных и управляющих устройств, основанных на определенных критериях в условиях бесперебойного обеспечения электрической энергией. При этом большое значение приобретает разработка систем управления и их измерительных элементов, обеспечивающих эффективную работу высоковольтного оборудования систем электроснабжения крупных потребителей электрической энергии.

По всему миру ведутся научные исследования, направленные на создание преобразователей больших переменных токов для систем контроля режимами высоковольтного оборудования. В связи с этим важным является разработка преобразователей тока, обеспечивающих повышенные чувствительность, точность, выходную мощность и надежность характеристик при экстремальных условиях эксплуатации, а также обеспечивающие возможность монтажа и демонтажа под напряжением преобразователей тока, установленных для получения измерительной информации о токах высоковольтного оборудования.

В республике в последние годы уделяется большое внимание модернизации электротехнического и электроэнергетического высоковольтного оборудования, осуществлению мероприятий по совершенствованию систем контроля режимами работы высоковольтного оборудования и его технических средств, обеспечивающих устойчивое и надежное электроснабжение крупных объектов народного хозяйства, в том числе совершенствование энергосберегающих технологий, повышающих эффективность энергетических систем.

В Стратегии действий по дальнейшему развитию Республики Узбекистан в 2017-2021 гг. отмечены задачи, а именно: «...создание новых мощностей по производству электрической энергии и модернизация существующих, ...улучшение обеспечения населения электрической энергией на основе осуществления мероприятий по расширению использования возобновляемых источников энергии и обеспечения другими топливно-энергетическими ресурсами, ... дальнейшее развитие дорожной инфраструктуры, ... внедрение в систему управления информационно-коммуникационных технологий»<sup>1</sup>. Реализация данных задач, в том числе разработка новых дистанционных преобразователей больших токов с повышенной чувствительностью и выходной мощностью для систем контроля режимами высоковольтного оборудования, а также их математических моделей, совершенствование методов расчета магнитных

---

<sup>1</sup> Указ Президента Республики Узбекистан от 7 февраля 2017 г. № УП-4947 «О Стратегии действий по дальнейшему развитию Республики Узбекистан».

цепей с распределенными электрическими и магнитными параметрами является важнейшей задачей.

Данное диссертационное исследование в определенной мере служит осуществлению поставленных нормативно-правовых задач, а именно: Указ Президента Республики Узбекистан от 7 февраля 2017 г. № УП-4947 «О Стратегии действий по дальнейшему развитию Республики Узбекистан», Постановление Президента Республики Узбекистан от 23 августа 2017 г. № ПП-3238 «О мерах по дальнейшему внедрению современных энергоэффективных и энергосберегающих технологий», Постановление Президента Республики Узбекистан от 13 ноября 2017 г. № ПП-3384 «О мерах по ускоренному внедрению автоматизированной системы контроля и учета электрической энергии и природного газа».

**Соответствие исследования с приоритетными направлениями развития науки и технологий республики.** Данное исследование выполнено в соответствии с приоритетным направлением развития науки и технологий республики – II. «Энергетика, энерго- и ресурсосбережение».

**Степень изученности проблемы.** Научные исследования, направленные на решение актуальных вопросов по разработке дистанционных трансформаторных преобразователей тока для систем контроля и управления режимами работы высоковольтного оборудования проводятся в ведущих исследовательских центрах и высших образовательных учреждениях мира, в том числе в Istituto Nazionale di Ricerca Metrologica и University of Campania «Luigi Vanvitelli» (Италия), Worcester Polytechnic Institute, Wright State University, University of Michigan и University of California (США), Seoul National University (Южная Корея), University Malaysia Perlis (Малайзия), Forschungslaboratorien der Siemens AG (Германия), Universidade Federal de Campina Grande (Бразилия), University of Manitoba (Канада), Институте электродинамики и Киевском институте автоматики (Украина), Национальном исследовательском университете «МЭИ», Самарском государственном техническом университете, Пензенском государственном университете, Ульяновском государственном техническом университете и Уфимском государственном авиационном техническом университете (Россия), Ташкентском государственном техническом университете и Ташкентском государственном транспортном университете (Узбекистан).

В мире ведутся научные исследования, направленные на решение актуальных задач по разработке бесконтактных преобразователей и измерителей больших переменных токов. При этом большой вклад внесли Р. Ripka<sup>2</sup>, А.А. Baschiroto<sup>3</sup>, Y. Nishio<sup>4</sup>, F. Tohyama, N. Onishi, D. Ciudad<sup>5</sup>,

---

<sup>2</sup> Magnetic Sensors and Magnetometers / P. Ripka. – Boston: Artech house, 2000. – 494 p

<sup>3</sup> Baschiroto A.A. fluxgate magnetic sensor: From PCB to microintegrated technology // IEEE Trans. Instrum. Meas. – 2007. – Vol. 56. – P. 25-31.

<sup>4</sup> The sensor temperature characteristics of a fluxgate magnetometer by a wide-range temperature test for a Mercury exploration sat-ellite // Meas. Sci. Technol. – 2007. – Vol. 18. – P. 2721–2730.

<sup>5</sup> Small Fluxgate Magnetometers: Development and Future Trends in Spain // Sensors. – 2010. – Vol. 10, – P. 1859-1870

М. Díaz-Michelena, L. Pérez, С. Aroca, Ю.В. Афанасьев<sup>6</sup>, Б.С. Стогний, И.М. Сирота, Г.В. Джикаев<sup>7</sup>, В.Е. Казанский<sup>8</sup>, А.П. Кузнецов, Ю.А. Андреев<sup>9</sup>, Г.В. Абрамзон, Г.И.Разин<sup>10</sup>, А.П. Щелкин, Н.Г. Семенко<sup>11</sup>, Ю.А. Гамазов, В.Е. Баранова<sup>12</sup>, В.С.Ковженкин<sup>13</sup>, В.С.Буряк<sup>14</sup> и др.

В нашей стране решению научных проблем по совершенствованию электромагнитных преобразователей больших переменных токов существенный вклад внесли отечественные ученые М.Ф. Зарипов<sup>15</sup>, А.М. Плахтиев<sup>16</sup>, И.Х. Сиддигов<sup>17</sup>, С.Ф. Амиров<sup>18</sup>, Г.П. Петров<sup>19</sup>, А.М. Сафаров<sup>20</sup>, Н. Савридинов<sup>21</sup>, Б.Х. Хушбоков, Ф.Д. Назаров, Н.Е. Балгаев<sup>22</sup>, Д.Ш. Рустамов, Н.О. Атауллаев, И.Х. Холиддинов<sup>23</sup>, А.Б. Абубакиров<sup>24</sup>, С.Х. Жумабоев<sup>25</sup>, Ш.С. Мухсимов<sup>26</sup>, М.А. Анарбоев<sup>27</sup> и

---

<sup>6</sup> Афанасьев Ю.В., Адоньев Н.М., Кибель В.М., Сирота И.М., Стогний Б.С. Трансформаторы тока. – Л.: Энергоатомиздат, 1989. –417 с

<sup>7</sup> Джикаев Г.В. Измерительные преобразователи больших переменных токов в электроэнергетике: дис. ... к. т. н. – Ульяновск, 2004. – 228 с

<sup>8</sup> Казанский В.Е., Кузнецов А.П. Автоматизация энергетических систем. Учебное пособие. Москва, «Высшая школа», 1973. – 176 с

<sup>9</sup> Андреев Ю.А., Абрамзон Г.В. Преобразователи тока для измерений без разрыва цепи. – Ленинград: «Энергия», 1979. - 144 с.

<sup>10</sup> Разин Г.И., Щелкин А.П. Бесконтактное измерение электрических токов. – Москва, Атомиздат, 1974. – 160 с.

<sup>11</sup> Семенко Н.Г., Гамазов Ю.А. Измерительные преобразователи больших электрических токов и их метрологическое обеспечение. – М.: Издательство стандартов, 1984. – 132 с.

<sup>12</sup> Баранова В.Е. Измерение слабого магнитного поля на основе феррозондового датчика: дис.канд. техн. наук. - Томск, 2015. - 134 с.

<sup>13</sup> Ковженкин В.С. Исследование дистанционных трансформаторов тока применительно к релейной защите линий напряжением 110-220 кВ: дис. канд. техн. наук. – Москва: 1997.-185 с

<sup>14</sup> Буряк В.С. Обзор принципов и выполнения устройств, заменяющие высоковольтные трансформаторы тока//Информэнерго, Москва, 1971. - 64 с

<sup>15</sup> Зарипов М.Ф. Преобразователи с распределенными параметрами для автоматики и информационно-измерительной техники. – Москва: Энергия, 1969.– 176 с.

<sup>16</sup> Плахтиев А.М. Бесконтактные ферромагнитные преобразователи с распределенными магнитными параметрами для систем контроля и управления: Дисс. ... докт. техн. наук. – Ташкент: ТашГТУ, 2009. – 399 с.

<sup>17</sup> Патент РУз. №04475. Преобразователь тока в напряжение /Амиров С.Ф., Азимов Р.К., Сиддигов И.Х., Хакимов М.Х., Хушбоков Б.Х., Назаров Ф.Д., Рустамов Д.Ш.// Официальный вестник, 2012. - №2.

<sup>18</sup> Амиров С.Ф., Бабаназарова Н.К., Жумабоев С.Х., Исследование магнитных цепей нового дистанционного трансформаторного преобразователя тока // «Развитие науки и технологий», научно-технический журнал, Бухара, 2021. № 3, -С. 143-148.

<sup>19</sup> Петров Г.П. Разработка и исследование магнитомодуляционных преобразователей постоянных токов для систем управления: автореф. дисс. ... к.т.н., Ташкент, ТашПИ. – 21 с.

<sup>20</sup> Амиров С.Ф., Сафаров А.М., Рустамов Д.Ш., Атауллаев Н.О. Электромагнитные преобразователи больших токов для систем тягового электроснабжения: монография. Ташкент: «Fan va texnologiya», 2018. – 316 с.

<sup>21</sup> Савридинов Н. Разработка и исследование магнитомодуляционных бесконтактных преобразователей постоянных и импульсных токов для систем управления: дисс. ... к.т.н./ТГТУ –Ташкент, 1992. –150 с.

<sup>22</sup> Балгаев Н.Е. Гальваномагнитные датчики больших токов для систем контроля и управления: дис. ... к. т. н. – Ташкент: ТашГТУ, 2011.–193 с.

<sup>23</sup> Холиддинов И.Х. Разработка методов обеспечения качества электроэнергии при несимметричных режимах в низковольтных электрических сетях: Дис... доктора философии (PhD) - Ташкент, ТашГТУ, 2017. – 119 с.

<sup>24</sup> Абубакиров А.Б. Модели и принципы построения датчиков управления многофазных токов реактивной мощности системы электроснабжения с возобновляемыми источниками энергии: Дис... доктора философии (PhD) - Ташкент, ТУИТ, 2020. – 117 с.

<sup>25</sup> Жумабоев С.Х. Индукционные преобразователи разности токов для систем контроля и управления: автореф. дисс. ... на PhD, Ташкент, ТГТУ, 2021. – 44 с.

другие. Усилиями этих ученых разработаны и развиты теоретические основы проектирования и расчета бесконтактных преобразователей больших переменных токов, предложены и внедрены в производство оригинальные конструкции и схемные решения этих преобразователей.

Но наряду с этим не уделено достаточного внимания созданию дистанционных преобразователей больших переменных токов, имеющих повышенные чувствительность и выходную мощность, а также возможность применения для преобразования тока в системах контроля режимами высоковольтного оборудования.

**Связь диссертационного исследования с планами научно-исследовательских работ высшего образовательного учреждения, где выполнена диссертация.** Диссертационная работа выполнена в соответствии с планом научно-исследовательских работ №3 «Совершенствование электромагнитных измерительных средств для железнодорожного транспорта» (2018-2020) Ташкентского государственного транспортного университета.

**Целью исследования** является разработка, исследование и практическое применение дистанционных трансформаторных преобразователей тока с повышенной чувствительностью и выходной мощностью для систем контроля режимами высоковольтного оборудования.

**Задачи исследования:**

изучение вопросов преобразования больших переменных токов высоковольтного оборудования на современном этапе и формулировка основных требований систем контроля к преобразователям больших токов;

проведение сравнительного анализа основных технических характеристик существующих преобразователей больших переменных токов, выбор и обоснование типа преобразователя больших переменных токов;

разработка новых конструкций дистанционных трансформаторных преобразователей тока с повышенной чувствительностью и выходной мощностью;

разработка математических моделей дистанционных трансформаторных преобразователей тока;

исследование основных характеристик дистанционных трансформаторных преобразователей тока.

**Объектом исследования** являются дистанционные трансформаторные преобразователи тока для систем контроля режимами высоковольтного оборудования.

**Предметом исследования** является разработка дистанционных трансформаторных преобразователей тока для систем контроля режимами высоковольтного оборудования и исследование их основных характеристик.

---

<sup>26</sup> Мухсимов Ш.С. Трансформаторы тока с автоматическим регулированием диапазона для систем управления устройствами тягового электроснабжения: автореф. дисс. ... на PhD, Ташкент, ТГТУ, 2021. – 44 с.

<sup>27</sup> Анарбоев М.А. Электромагнитные преобразователи тока в напряжение с расширенными функциональными возможностями для систем управления реактивной мощностью: автореф. дисс. ... на PhD, Ташкент, ТГТУ, 2021. – 44 с.



**Методы исследований.** В процессе исследований использованы теории электрических и магнитных цепей с сосредоточенными и распределенными параметрами, теория электромагнитного поля, основанная на уравнении Максвелла, теория систематических и случайных погрешностей, энергоинформационные модели цепей различной физической природы и метод параметрических структурных схем.

**Научная новизна исследования заключается в следующем:**

разработаны новые дистанционные трансформаторные преобразователи тока с повышенной чувствительностью и выходной мощностью для систем контроля режимами высоковольтного оборудования;

разработана методика расчета магнитных цепей с многовитковыми сердечниками с учетом распределенности их электрических и магнитных параметров;

разработаны обобщенные математические модели трех дистанционных трансформаторных преобразователей тока, установленных для измерения токов в высоковольтной трехфазной линии, с учетом влияния магнитных полей токов соседних фаз и расположения проводов трехфазной линии;

разработаны параметрические структурные схемы, позволяющие упростить процесс исследования статических, динамических и метрологических характеристик дистанционных трансформаторных преобразователей тока.

**Практические результаты исследования** заключаются в следующем:

получены аналитические зависимости для исследования статических, динамических и метрологических характеристик новых дистанционных трансформаторных преобразователей тока с многовитковыми сердечниками;

разработано устройство для преобразования тока высоковольтного оборудования с повышенной чувствительностью и выходной мощностью.

**Достоверность полученных результатов исследования** обосновывается применением основных законов, теорий и методов расчета цепей с сосредоточенными и распределенными параметрами и электромагнитного поля, а также подтверждается совпадением теоретических и экспериментальных результатов.

**Научная и практическая значимость результатов исследования.**

Научная значимость результатов исследования характеризуется полученными уравнениями статических, динамических и метрологических характеристик дистанционных трансформаторных преобразователей тока с многовитковыми сердечниками с учетом распределенности параметров электромагнитных цепей.

Практическая значимость результатов работы заключается в разработке методики расчета магнитных цепей дистанционных трансформаторных преобразователей тока с многовитковыми сердечниками, имеющих повышенные чувствительность и выходную мощность, с учетом распределенности их электрических и магнитных параметров и разработке параметрических структурных схем, упрощающих расчет технических характеристик дистанционных трансформаторных преобразователей тока и

позволяющих сократить сроки их проектирования.

**Внедрение результатов исследования.** На основе полученных результатов по разработке дистанционных трансформаторных преобразователей тока:

получен патент Агентства по интеллектуальной собственности Республики Узбекистан на устройство для измерения токов в проводах трехфазной высоковольтной линии (№IAP 06465; 2021 г.). В результате создано устройство для дистанционного измерения токов в проводах высоковольтного оборудования с повышенной чувствительностью и выходной мощностью;

разработанный дистанционный трансформаторный преобразователь тока, который по стоимости в 2,85 раз дешевле традиционного трансформатора тока, внедрен в процесс измерения токов на подстанцию «Гарбий» АО «Бухарское предприятие территориальных электрических сетей» (Справка министерства энергетики Республики Узбекистан от 2 ноября 2021 года № 03-13-5819). В результате появляется возможность получения измерительной информации о токе с помощью более дешевого измерительного устройства для систем контроля режимами высоковольтного оборудования;

методика расчета магнитных цепей с многовитковыми сердечниками с учетом распределенности их электрических и магнитных параметров, обобщенные математические модели новых дистанционных трансформаторных преобразователей тока с многовитковым сердечником, установленных для дистанционного измерения токов в трехфазной линии, с учетом влияния магнитных полей токов двух других соседних фаз и расположения дистанционного трансформаторного преобразователя тока и проводов трехфазной линии внедрены на подстанцию «Гарбий» АО «Бухарское предприятие территориальных электрических сетей» (Справка министерства энергетики Республики Узбекистан от 2 ноября 2021 года №03-13-5819). Применение разработанного дистанционного трансформаторного преобразователя тока с многовитковым сердечником позволило в 2,85 раз снизить расходы на процесс получения измерительной информации о токе для систем контроля режимами высоковольтного оборудования.

**Апробация результатов исследования.** Результаты данного исследования прошли апробацию на 6 научно-практических конференциях, в том числе на 2 международных и на 4 республиканских конференциях.

**Публикация результатов исследования.** По теме диссертации опубликовано 20 научных работ, из них 7 в журнальных изданиях, рекомендованных Высшей аттестационной комиссией Республики Узбекистан для публикации основных научных результатов докторских диссертаций, в том числе 1 в иностранных и 6 в республиканских журналах.

**Структура и объем диссертации.** Диссертация состоит из введения, четырех глав, заключения, списка литературы, приложения. Объем диссертации составляет 120 страниц.

## ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ ДИССЕРТАЦИИ

В введении обоснована актуальность работы, освещено состояние вопроса, сформулированы цель и задачи исследования, характеризуется объект и предмет исследования, показано соответствие исследования приоритетным направлениям развития науки и технологии республики, излагаются научная новизна и практические результаты исследования, обоснована достоверность, теоретическая и практическая значимость, приведены сведения о внедрении результатов научных исследований в производство.

В первой главе диссертации «Состояние проблемы и постановка исследовательских задач» был проведен анализ схем систем контроля режимами работы высоковольтного оборудования (ВВО), где было выявлено, что используемые в данных системах преобразователи переменного тока, должны иметь гальваническую развязку с высоковольтной цепью, повышенную чувствительность, точность и выходную мощность, линейность функции преобразования в нормальных и аварийных режимах, а также стабильность характеристик при экстремальных условиях эксплуатации.

Сравнительная оценка основных характеристик существующих преобразователей больших переменных токов показала, что наиболее полно требованиям отвечают дистанционные трансформаторные преобразователи тока (ДТПТ). Вместе с тем, было выявлено, что существующие ДТПТ имеют низкую чувствительность и выходную мощность.

Исходя из результатов анализа литературных источников и поставленной цели, были определены основные задачи исследования.

Во второй главе диссертации «Математические модели дистанционных трансформаторных преобразователей тока» представлены новые конструкции ДТПТ с повышенной чувствительностью и выходной мощностью, разработаны их математические модели.

Одна из конструкций ДТПТ показана на рисунке 1. Отличительной особенностью этой конструкции ДТПТ заключается в том, что рабочий магнитный поток ( $Q_{\mu As}$ ) каждый раз проходя по виткам многовиткового сердечника (МВС) 4 наводит ЭДС  $e_A = -w_M w_2 \frac{dQ_{\mu As}}{dt}$  в измерительной обмотке 5 (где  $w_M$ ,  $w_2$  – соответственно количество витков МВС и измерительной обмотки), т.е. суммарная ЭДС в  $w_M$  раз больше, чем ЭДС его прототипа. При этом добротность измерительного контура нового ДТПТ будет примерно в  $w_M^2$  раз больше добротности известного ДТПТ соленоидного типа. При необходимости измерения несимметрии токов в трехфазной линии под каждой фазой устанавливается ДТПТ, а их измерительные обмотки соединяются между собой по схеме открытого треугольника.

С целью повышения технологичности изготовления МВС, рекомендовано его собрать из монолитных стержней, изготовленных из композиционного материала, состоящего из микрочастиц железа, разделенными наноразмерными оксидными слоями.

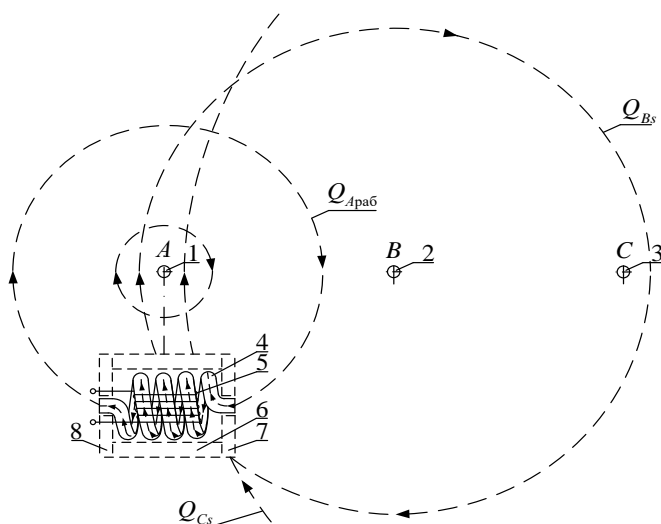


Рис.1. Конструктивная схема нового устройства для измерения тока в проводах высоковольтной трехфазной линии: 1,2,3 – провода высоковольтной линии; 4 – многовитковый сердечник (МВС); 5 – измерительная обмотка; 6,7,8 – элементы электромагнитного экрана.

При разработке математических моделей магнитных цепей разработанных ДТПТ с МВС использовались метод эквивалентных схем замещения и классический метод, основанные на составлении и решении дифференциальных уравнений с учетом допущений, принимаемых при исследовании подобных магнитных цепей. Проведенные экспериментальные исследования магнитных цепей ДТПТ с МВС показали, что эти допущения не вносят ощутимых неточностей в расчетах, однако существенно упрощают анализ этих цепей.

Разработана математическая модель линейной электромагнитной цепи ДТПТ с тремя витками МВС в виде зависимости магнитных потоков в витках МВС от преобразуемого тока ( $I_1$ ), угловой координаты ( $\alpha$ ) и распределенных параметров электрических и магнитных цепей:

$$Q_{\mu 1} = \frac{I_1}{3Z_{\mu\Pi}\alpha_m m\Delta^*} \left\{ (\Delta^* - 2\beta_1^2\beta_2) \left[ ch(\beta_2\alpha^*) - ch(\beta_2(1-\alpha^*)) \right] sh\beta_1 + \right. \\ \left. + (\Delta^* - 2\beta_1^2\beta_2) [1 - ch\beta_2] \left[ sh(\beta_1\alpha^*) + sh(\beta_1(1-\alpha^*)) \right] + \right. \\ \left. + (\Delta^* - 6\beta_1\beta_2^2) [1 + ch\beta_1] \left[ sh(\beta_2\alpha^*) - sh(\beta_2(1-\alpha^*)) \right] + \right. \\ \left. + (\Delta^* - 6\beta_1\beta_2^2) \left[ ch(\beta_1\alpha^*) + ch(\beta_1(1-\alpha^*)) \right] sh\beta_2 \right\}, [Wb] \quad (1)$$

$$Q_{\mu 2} = \frac{I_1}{3Z_{\mu\Pi}\alpha_m m\Delta^*} \left\{ (\Delta^* - 4\beta_1^2\beta_2) [1 - ch\beta_2] \left[ sh(\beta_1\alpha^*) + sh(\beta_1(1-\alpha^*)) \right] + \right. \\ \left. + (\Delta^* + 12\beta_1^2\beta_2) \left[ ch(\beta_1\alpha^*) + ch(\beta_1(1-\alpha^*)) \right] sh\beta_2 \right\}, [Wb] \quad (2)$$

$$Q_{\mu 3} = \frac{I_1}{3Z_{\mu\Pi}\alpha_m m\Delta^*} \left\{ (\Delta^* + 2\beta_1^2\beta_2) \left[ ch(\beta_2\alpha^*) - ch(\beta_2(1-\alpha^*)) \right] sh\beta_1 + \right. \\ \left. + (\Delta^* + 2\beta_1^2\beta_2) [1 - ch\beta_2] \left[ sh(\beta_1\alpha^*) + sh(\beta_1(1-\alpha^*)) \right] + \right. \\ \left. + (\Delta^* + 6\beta_1\beta_2^2) [1 + ch\beta_1] \left[ sh(\beta_2\alpha^*) - sh(\beta_2(1-\alpha^*)) \right] - \right. \\ \left. (\Delta^* - 6\beta_1\beta_2^2) \left[ ch(\beta_1\alpha^*) + ch(\beta_1(1-\alpha^*)) \right] sh\beta_2 \right\}, [Wb] \quad (3)$$

где  $Z_{\mu\text{МП}} = \frac{2\pi r_{\text{ср.}}}{\mu\mu_0 b h \alpha_M}$ , [1/H · degree] - погонное значение магнитного сопротивления витка ферромагнитного МВС, приходящееся на единицу угла магнитной цепи;  $b$ ,  $h$ ,  $\delta_s$ ,  $r_{\text{ср.}}$  - соответственно ширина, высота стержня, нерабочий зазор между витками и средний радиус МВС, [m];  $\alpha$ ,  $\alpha_M = 180^\circ$  - угловая координата и ее максимальное значение;  $\mu$ ,  $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7}$  H/m - относительная магнитная проницаемость и магнитная постоянная;  $m = 2\pi r_{\text{ср.}}/l_{ab}$ ;  $\beta_1$  и  $\beta_2$  - коэффициенты затухания магнитного поля в магнитной цепи по координате  $\alpha$ ;  $\alpha^* = \alpha/\alpha_M$ ;  $\alpha_M$  - максимальное значение  $\alpha$ ;  $\Delta^* = [4\beta_1\beta_2(ch\beta_1 + ch\beta_2) + 2\beta_1\beta_2 ch\beta_2 ch\beta_1 + (\beta_1^2 - 3\beta_2^2)sh\beta_2 sh\beta_1 + 2\beta_1\beta_2]$ , [-].

Анализ кривых зависимостей магнитного напряжения и магнитного потока от угловой координаты магнитной цепи показывает (рис.2), что при

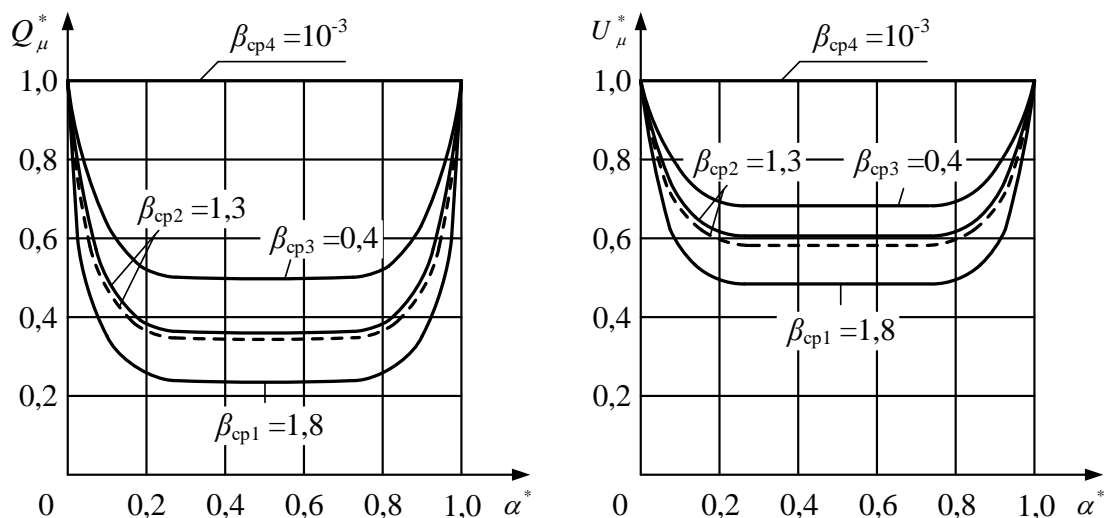


Рис.2. Кривые зависимости  $U_\mu^* = f(\alpha^*)$  и  $Q_\mu^* = f(\alpha^*)$  при разных значениях коэффициента затухания магнитного поля в магнитной цепи  $\beta$ : пунктирная кривая - экспериментальная

одинаковых погонных значениях магнитного сопротивления ферромагнитных витков и магнитной емкости зазора между витками МВС с увеличением коэффициента затухания магнитного поля в магнитной цепи монотонность изменения магнитного потока в крайних витках и магнитного напряжения между парами крайних витков увеличивается, а магнитные потоки в серединных витках и магнитные напряжения между ними практически остаются неизменными. Расхождение между результатами эксперимента и расчетов составляет 5-7%.

Разработаны следующие обобщенные математические модели трех ДТПТ с МВС, установленных для измерения токов в трехфазной линии (рис.3), с учетом влияния магнитных полей токов двух других соседних фаз и расположения ДТПТ и проводов трехфазной линии:

$$u_{2A} = \frac{w_2}{H_A} k_d \sin\alpha_A \sin\beta_A \frac{di_{1A}}{dt} + w_2 k_d \left[ \frac{\sin\alpha_{AB} \sin\beta_B}{\sqrt{H_B^2 + D_{AB}^2 - 2H_B D_{AB} \cos(180^\circ - \alpha_B)}} \frac{di_{1B}}{dt} + \right.$$

$$+ \left. \frac{\sin\alpha_{AC}\sin\beta_C}{\sqrt{H_C^2 + (D_{AB} + D_{BC})^2 - 2H_C(D_{AB} + D_{BC})\cos(180^\circ - \alpha_C)}} \frac{di_{1C}}{dt} \right], \quad (4)$$

$$u_{2B} = \frac{w_2}{H_B} k_d \sin\alpha_B \sin\beta_B \frac{di_{1B}}{dt} + w_2 k_d \left[ \frac{\sin\alpha_{BA}\sin\beta_A}{\sqrt{H_A^2 + D_{AB}^2 - 2H_A D_{AB} \cos\alpha_A}} \frac{di_{1A}}{dt} + \frac{\sin\alpha_{BC}\sin\beta_C}{\sqrt{H_C^2 + D_{BC}^2 - 2H_C D_{BC} \cos(180^\circ - \alpha_C)}} \frac{di_{1C}}{dt} \right], \quad (5)$$

$$u_{2C} = \frac{w_2}{H_C} k_d \sin\alpha_C \sin\beta_C \frac{di_{1C}}{dt} + w_2 k_d \left[ \frac{\sin\alpha_{CB}\sin\beta_B}{\sqrt{H_B^2 + D_{BC}^2 - 2H_B D_{BC} \cos\alpha_B}} \frac{di_{1B}}{dt} + \frac{\sin\alpha_{CA}\sin\beta_A}{\sqrt{H_A^2 + (D_{AB} + D_{BC})^2 - 2H_A(D_{AB} + D_{BC})\cos\alpha_A}} \frac{di_{1A}}{dt} \right], \quad (6)$$

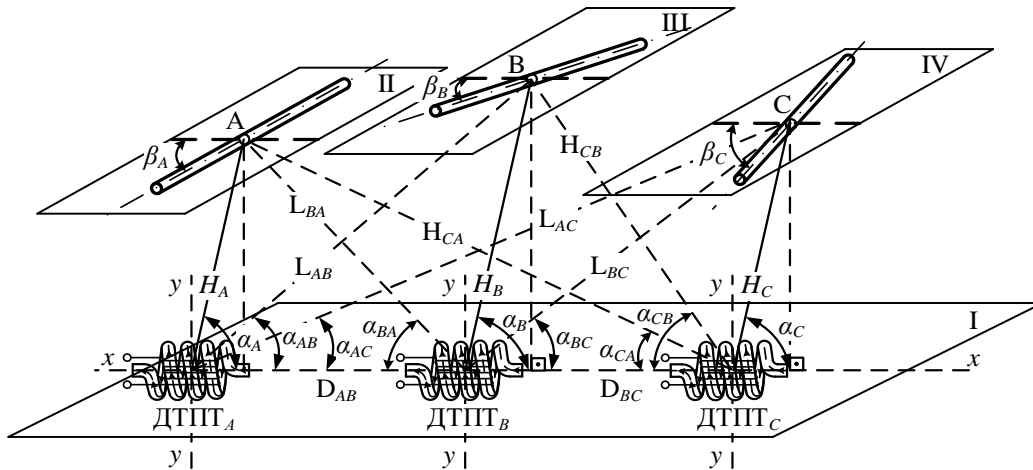


Рис.3. Схема расположения трех ДТПТ при контроле токов трехфазной линии

где  $i_{1A}$ ,  $i_{1B}$  и  $i_{1C}$  – мгновенные значения токов в проводах фаз А, В и С.

Третья глава диссертации «Статические и динамические характеристики дистанционных трансформаторных преобразователей тока» посвящена исследованию статических и динамических характеристик разработанных ДТПТ с МВС.

Получено следующее аналитическое выражение статической характеристики ДТПТ с МВС:

$$\begin{aligned} \dot{E}_{\text{ВЫХ}} = & -j\omega w_2 \frac{2i_1}{3Z_{\mu\Pi} \alpha_m m \Delta^*} \left( \frac{1}{\beta_1} (\Delta^* - 4\beta_1^2 \beta_2) [1 - ch\beta_2] [ch\beta_1 - 1] + \right. \\ & \left. + \frac{1}{\beta_1} (\Delta^* + 12\beta_1^2 \beta_2) sh\beta_1 sh\beta_2 + \frac{\Delta^*}{\beta_2} [1 + ch\beta_1] ch\beta_2 \right). [V] \quad (7) \end{aligned}$$

Анализ графиков статических характеристик разработанного ДТПТ с МВС показывает (рис.4), что с увеличением коэффициента затухания магнитного поля в магнитопроводе  $\beta_{cp} = 0,5(\beta_1 + \beta_2)$  наклон характеристики уменьшается. В работе показано, что аналитическое

выражение статической характеристики разработанного ДТПТ с МВС относительно легко могут быть получены с помощью метода параметрических структурных схем (ПСС). Расхождение между расчетными данными, полученными классическим методом и с помощью метода ПСС, а также экспериментом не превышает соответственно 5-7 % и 8-10 %.

Получено методом моделирования магнитного поля следующее аналитическое выражение для преобразуемого тока, соответствующего верхнему пределу границы линейного участка статической характеристики нового ДТПТ с МВС:

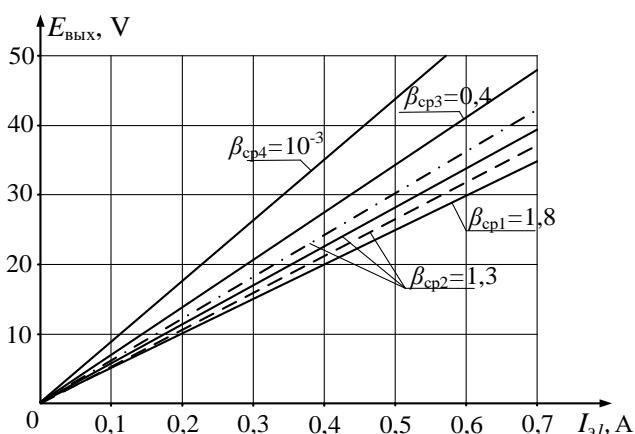


Рис. 4. Статические характеристики разработанного ДТПТ с МВС при различных значениях  $\beta_{ср}$ : сплошные линии – расчетные; пунктирная линия – экспериментальная; пунктир-точечная линия – построенная с помощью метода ПСС

$$I_{Э1в.п.} = \frac{2\pi R B_{CS} S_{\mu c}}{\mu_0 S_{\mu к.в.}}, [A], \quad (8)$$

здесь  $R$  - радиус средней окружности воздушной части кольца, по которой замыкается рабочий магнитный поток;  $B_{CS}$  - значение магнитной индукции, соответствующее началу изгиба основной кривой намагничивания;  $S_{\mu к.в.}$ ,  $S_{\mu c}$  - площади поперечного сечения соответственно воздушной части кольца и МВС. Например, для образца ДТПТ с МВС из электротехнической стали 3411, у которого  $B_{CS} = 1,1 T$ , а  $R = 1,05 m$ ,  $S_{\mu к.в.} = 1,62 \cdot 10^{-2} m^2$  и  $S_{\mu c} = 7,85 \cdot 10^{-5} m^2$  значение  $I_{Э1в.п.}$  составляет 28,1 kA.

Исследованы динамические характеристики нового ДТПТ с МВС без компенсирующего конденсатора (КК) и с КК при подачи на вход преобразователя ступенчатого, импульсного, линейно возрастающего и синусоидального токов, а также синусоидального тока с затухающей амплитудой. Показано, что ДТПТ с МВС без КК может представляться в структурных схемах систем контроля и управления в виде последовательно соединенного реального дифференцирующего звена без статизма и инерционного (апериодического) звена первого порядка, а ДТПТ с МВС и КК - в виде последовательно соединенного идеального дифференцирующего звена, реального дифференцирующего звена без статизма и инерционного звена второго порядка.

Получены аналитические выражения переходных характеристик для нового ДТПТ с МВС при вышеуказанных входных воздействиях. Например, при подаче синусоидального тока с затухающей амплитудой на вход преобразователя тока, выражения для переходного вторичного тока имеют следующий вид:

для ДТПТ с МВС без КК:

$$i_{\Sigma 2}(t) = -I_{\Sigma 2.1CB} e^{-\frac{t}{T_{\Sigma 2}}} + I_{\Sigma 2.2CB} e^{-\frac{t}{T_{\mu}}} + I_{\Sigma 2m} e^{-\frac{t}{T_{\Sigma 1}}} \sin(\omega t + \varphi_1) =$$

$$= i_{\Sigma 2.1CB}(t) + i_{\Sigma 2.2CB}(t) + i_{\Sigma 2m}(t), \quad (9)$$

где 
$$I_{\Sigma 2.1CB} = \frac{T_{\Sigma 1}^2 T_{\Sigma 2} T_{\Sigma 12} \omega I_{\Sigma 1m}}{(T_{\Sigma 2} - T_{\mu})[(T_{\Sigma 1} - T_{\Sigma 2})^2 + \omega^2 T_{\Sigma 1}^2 T_{\Sigma 2}^2]}; \quad I_{\Sigma 2.2CB} = \frac{T_{\Sigma 1}^2 T_{\mu} T_{\Sigma 12} \omega I_{\Sigma 1m}}{(T_{\Sigma 2} - T_{\mu})[(T_{\Sigma 1} - T_{\mu})^2 + \omega^2 T_{\Sigma 1}^2 T_{\mu}^2]};$$

$$I_{\Sigma 2m} = \frac{T_{\Sigma 12} I_{\Sigma 1m} T_{\Sigma 1} \sqrt{(1 + \omega^2 T_{\Sigma 1}^2)} e^{-\frac{t}{T_{\Sigma 1}}}}{2\sqrt{M^2(\omega) + N^2(\omega)}}, [A];$$

для ДТПТ с МВС без КК при  $\delta < \omega_0$ :

$$i_{\Sigma 2}(t) = I_{\Sigma 2.CB} e^{-\delta t} \cos(\omega'_{CB} t - \varphi_2) - I_{\Sigma 2m} e^{-\frac{t}{T_{\Sigma 1}}} \sin(\omega'_{CB} t + \varphi_3), \quad (10)$$

где 
$$I_{\Sigma 2.CB} = \frac{K \omega \omega_0^4 T_{\Sigma 1}^2 I_{\Sigma 1m}}{\omega'_{CB} \sqrt{4\omega'_{CB}{}^2 T_{\Sigma 1}^2 (\delta T_{\Sigma 1} - 1)^2 + [1 + (\delta^2 - \omega'_{CB}{}^2 + \omega^2) T_{\Sigma 1}^2]^2}}, \quad \varphi_2 = \arctg \frac{1 + (\delta^2 - \omega'_{CB}{}^2 + \omega^2) T_{\Sigma 1}^2}{2\omega'_{CB} T_{\Sigma 1} (\delta T_{\Sigma 1} - 1)} +$$

$$2\arctg \frac{\omega'_{CB}}{\delta}, \quad \varphi_3 = -2\arctg \omega T_{\Sigma 1} + \arctg \frac{1 - 2\delta T_{\Sigma 1} + (\omega_0^2 - \omega^2) T_{\Sigma 1}^2}{2\omega T_{\Sigma 1} (1 - \delta T_{\Sigma 1})}, \quad \delta = \frac{R_{\Sigma 2\Sigma}}{2L_{\Sigma 2\Sigma}}; \quad \omega_0 = 1/(L_{\Sigma 2\Sigma} C_{\Sigma 2\Sigma});$$

$R_{\Sigma 2\Sigma}$ ,  $L_{\Sigma 2\Sigma}$  и  $C_{\Sigma 2\Sigma}$  - соответственно коэффициента затухания, собственная угловая частота и параметры вторичной цепи ДТПТ с МВС.

Анализ уравнения (9) и его кривых (рис.5), показывает, что при

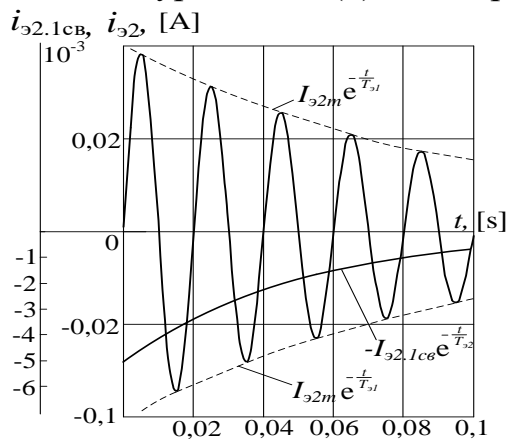


Рис.5. Кривые составляющих переходной характеристики разработанного ДТПТ с МВС без КК при подачи на его вход синусоидального тока с затухающей амплитудой

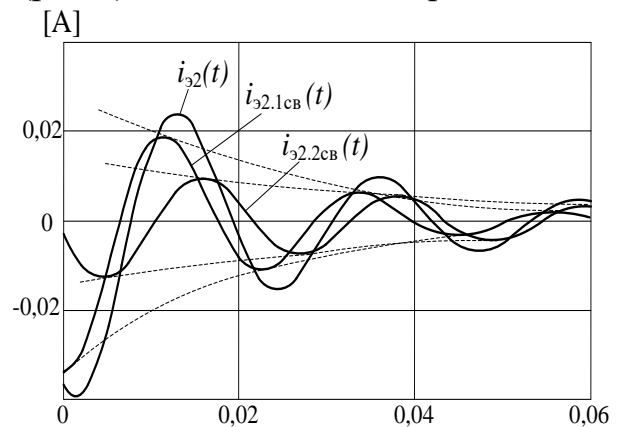


Рис.6. Кривые переходной характеристики разработанного ДТПТ с МВС и с КК при подачи на его вход синусоидального тока с затухающей амплитудой

подключении первичной цепи ДТПТ с МВС без КК к сети синусоидального тока с затухающей амплитудой, переходной ток состоит из суммы двух свободных аperiodических составляющих и одной вынужденной синусоидально затухающей составляющей. Установлено, для случая подключения первичной цепи ДТПТ с МВС с КК к сети синусоидального тока с затухающей амплитудой при  $\delta > \omega_0$  переходный ток вторичной цепи состоит из суммы двух свободных аperiodических и вынужденной затухающей синусоидальной составляющих, при  $\delta = \omega_0$  - одной свободной аperiodической и вынужденной затухающей синусоидальной составляющих, а при  $\delta < \omega_0$  (рис.6) - двух свободных затухающих синусоидальных



составляющих, степень затухания которых зависит от постоянных времени вторичной и первичной цепей преобразователя соответственно.

Установлено, что при подключении ДТПТ с МВС без КК к сети синусоидального тока, переходный ток состоит из суммы двух свободных апериодических составляющих, уменьшение значения которых во времени определяется значениями постоянных времени, соответственно вторичной и магнитной цепей, и вынужденной составляющей, а при подключении ДТПТ с МВС с КК к сети синусоидального тока - при  $\delta > \omega_0$  и  $\delta = \omega_0$  свободные составляющие переходного тока имеют апериодический характер, а при  $\delta < \omega_0$  – колебательный.

В четвертой главе диссертации **«Погрешность и надежность дистанционных трансформаторных преобразователей тока»** исследуются источники погрешностей, надежность и их анализ, а также приводятся основные технические показатели нового ДТПТ с МВС.

Определение источников погрешностей в ДТПТ с МВС показало, что методические, технологические и эксплуатационные погрешности являются источниками основных погрешностей, внутренние, внешние и режимные погрешности - источниками дополнительных погрешностей.

Составлена ПСС разработанного ДТПТ с МВС с учетом всех возможных источников погрешностей. Аддитивные составляющие погрешности вносились в ПСС в виде поправки к выходной величине, а мультипликативные – в виде поправки к межцепному коэффициенту передачи физико-технического эффекта (ФТЭ) или к внутрицепному коэффициенту передачи – параметру каждого элементарного преобразователя структурной схемы. Показано, что причины появления погрешностей в виде поправки к коэффициентам межцепных ФТЭ, величинам и параметрам заключаются в проявлении сопутствующих физических эффектов, связывающих величины различной физической природы с рассматриваемым параметром, величиной и коэффициентом. Установлено, приведенная погрешность ДТПТ с МВС не превышает  $\pm 2,5\%$ .

Для ДТПТ с МВС были определены следующие показатели надежности с использованием вероятности безотказной работы по прочности изоляции: вероятность безотказной работы ( $P = 0,91$ ) и среднее время до отказа ( $T = 11,2$  года). При определении надежности ДТПТ с МВС более точные значения надежности были достигнуты путем охвата нескольких ее параметров.

В приложении приведены дополнительные сведения по диссертации, в том числе акт и справка о внедрении результатов научных исследований.

## **ЗАКЛЮЧЕНИЕ**

В процессе выполнения диссертационной работы «Дистанционные трансформаторные преобразователи тока для систем контроля режимами высоковольтного оборудования» получены следующие научные результаты:

1. Выявлено, что преобразователи больших переменных токов, используемые в системах контроля режимами высоковольтного

оборудования, должны иметь гальваническую развязку с высоковольтной цепью, повышенную чувствительность, точность и выходную мощность, линейность функции преобразования, а также стабильность характеристик при экстремальных условиях эксплуатации. Показано, что наиболее полно требованиям отвечают дистанционные трансформаторные преобразователи тока (ДТПТ).

2. Показано, что выполнение магнитопровода в виде многовиткового сердечника (МВС) с общей измерительной обмоткой позволяет повысить чувствительность и выходную мощность ДТПТ, а использование трех идентичных ДТПТ с МВС, установленных для измерения токов всех трех фаз с соединенными измерительными обмотками по схеме открытого треугольника, расширяет функциональные возможности устройства за счет одновременного измерения токов в трех фазах и несимметрии токов.

3. Установлено, что изготовление магнитопровода ДТПТ в виде перевернуто расположенного П-образного магнитопровода, параллельные стержни которого выполнены в виде многовитковых сердечников с общими измерительными обмотками с различным количеством витков, соединенными между собой последовательно-согласно, позволят снизить влияния мешающих токов соседних шин.

4. Анализ кривых зависимостей магнитного напряжения между витками и магнитного потока в витках МВС ДТПТ показывает, что с увеличением коэффициента затухания магнитного поля в магнитной цепи, монотонность изменения магнитного потока в крайних витках и магнитного напряжения между парами крайних витков увеличивается, а магнитные потоки в серединных витках и магнитные напряжения между ними практически остаются неизменными.

5. Получены аналитические зависимости выходных сигналов ДТПТ от соответствующих контролируемых токов трех ДТПТ, установленных для измерения токов в трехфазной линии, с учетом влияния магнитных полей токов двух других соседних фаз и расположения ДТПТ и проводов трехфазной линии.

6. Получено аналитическое выражение статических характеристик разработанного ДТПТ с многовитковым сердечников (МВС) с учетом распределенности параметров их электрической и магнитной цепей. Анализ этого выражения и графиков, построенных на его основе показывает, что с увеличением коэффициента затухания магнитного поля в магнитопроводе наклон характеристики уменьшается.

7. Получены аналитические уравнения переходных характеристик ДТПТ с МВС без и с компенсирующим конденсатором (КК). Показано, что ДТПТ с МВС без КК может представляться в структурных схемах систем контроля и управления в виде последовательно соединенного реального дифференцирующего звена без статизма и инерционного (апериодического) звена первого порядка, а ДТПТ с МВС и с КК - в виде последовательно соединенного идеального дифференцирующего звена, реального дифференцирующего звена без статизма и инерционного звена второго порядка.

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

---

**TASHKENT STATE TRANSPORT UNIVERSITY**

**BABANAZAROVA NARGISA KAMILOVNA**

**REMOTE TRANSFORMER CURRENT TRANSDUCERS FOR CONTROL  
SYSTEMS OF HIGH-VOLTAGE EQUIPMENT MODES**

**05.01.06 – Elements and device of the computing machinery and managerial system**

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

**Tashkent - 2021**

The theme of doctor of philosophy (PhD) was registered at the Supreme Attestation Commission at the Cabinet of Ministers of the Republic of Uzbekistan in number B2021.1.PhD/T2194.

The dissertation has been prepared at Tashkent State Transport University.

The Abstract of dissertation is posted in Three languages (Uzbek, Russian, English (resume)) is placed on the web page of Scientific Council (www.tdtu.uz) and Information and Educational Portal «ZiyoNet» (www.ziynet.uz).

**Scientific supervisor:** **Amirov Sulton Fayzullaevich**  
Doctor of Technical Sciences, Professor

**Official opponents:** **Siddikov Ilhomjon Hakimovich**  
Doctor of technical sciences, professor

**Plahatiev Anatoliy Mihailovich**  
Doctor of technical sciences, professor

**Leading organization:** **Institute of Energy Problems of the Academy of sciences RUz**

Defense of dissertation will take place in « 16 » 12 2021 at 12<sup>00</sup> o'clock at a meeting of the scientific council DSc.03/30.12.2019.T.03.02 at the Tashkent state technical university. (Address: 100095, Tashkent, str. University-2, tel.: (99871) 246-46-00; fax: (99871) 227-10-32; e-mail: [tstu\\_info@tdtu.uz](mailto:tstu_info@tdtu.uz)).

The doctoral dissertation could be reviewed at the Information-resource center of Tashkent State Technical University (registration number 231). (Address: 100095, Tashkent, str. University-2, tel.: (99871) 207-14-70).

Abstract of dissertation sent out on « 4 » 12 2021 year.  
(mailing report № 21 on « 23 » 11 2021 year).



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

**U.F. Mamirov**  
Scientific Secretary of Scientific Council  
on awarding scientific degrees,  
PhD in technical sciences, associated professor

**H.Z. Igamberdiev**  
Chairman of the Academic Seminar  
under the Scientific Council on awarding scientific degrees,  
doctor of technical sciences, professor, academician

## INTRODUCTION (abstract of PhD thesis)

**The purpose of research** is the development, research and practical application of remote transformer current transducers with increased sensitivity and output power for control systems for high-voltage equipment modes.

**The object of research** are remote transformer current transducers for control systems of high-voltage equipment modes.

**Scientific novelty of research** is as follows:

new remote transformer current transducers with increased sensitivity and output power for control systems of high-voltage equipment modes have been developed;

a method for calculating magnetic circuits with multi-turn cores has been developed, taking into account the distribution of their electrical and magnetic parameters;

generalized mathematical models have been developed for three remote transformer current transformers installed to measure currents in a high-voltage three-phase line, taking into account the influence of magnetic fields of currents of adjacent phases and the location of wires of a three-phase line;

parametric structural schemes have been developed to simplify the process of studying the static, dynamic and metrological characteristics of remote transformer current transducers.

**Implementation of research results.** Based on the research carried out on the development of remote transformer current transducers:

patent from the Agency for intellectual property of Republic of Uzbekistan for a device for measuring currents in the wires of a three-phase high-voltage line (№IAP 06465-2021) has been received. As a result, a device for measuring currents in wires of high-voltage equipment with increased sensitivity and output power has been created;

the developed remote transformer current transducer was introduced into the production process of measuring currents at the «Garbiy» substation of the Bukhara enterprise of territorial electrical networks JSC (reference of Ministry of Energy of the Republic of Uzbekistan № 03-13-5819 dated November 2, 2021). Consequently, it allows obtaining measuring information about the current using a cheaper measuring device for control systems for the modes of high-voltage equipment;

the method for calculating magnetic circuits with multi-turn cores, taking into account the distribution of their electrical and magnetic parameters, generalized mathematical models of new RTCT with MTC installed to measure currents in a three-phase line, taking into account the influence of magnetic fields of currents of two other adjacent phases and the location of RTCT and wires of a three-phase line are introduced at the «Garbiy» substation of the Bukhara enterprise of territorial electrical networks JSC (reference of Ministry of Energy of the Republic of Uzbekistan № 03-13-5819 dated November 2, 2021). Using the developed remote transformer current transducer with a multi-turn core allows reducing 2.85 times the cost of obtaining measurement information about the current for control systems for the modes of high-voltage equipment.

**The structure and volume of the dissertation.** The dissertation consists of introduction, four chapters, conclusion, list of references and annexes. The volume of dissertation is 120 pages.

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

**I бўлим (Часть I; Part I)**

1. Патент РУз (UZ) № IAP 06465. Устройство для измерения токов в проводах трехфазной высоковольтной линии/ Амиров С.Ф., Жумабоев С.Х., Файзуллаев Ж.С., Бабаназарова Н.К.//Расмий ахборотнома, 2021. - №4.

2. Amirov S.F., Babanazarova N.K. Mathematical models of the new remote transformer current transducers // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, № 808, 2021, Moscow// opscience.iop.org/article/10.1088/1755-1315/808/1/012001 (3, Scopus, IF 0,5 Олий аттестация комиссиясининг 2019 йил 30 сентябрдаги 01-06/1747-сон маълумотномаси)

3. Amirov S.F., Babanazarova N.K., Yuldashev N.R. A study on dynamic characteristics of a new remote transformer current converter without compensating capacitor // International scientific and technical journal «Chemical technology. Control and management», Tashkent, 2021, №3, p. 32-40 (05.00.00; №12).

4. Amirov S.F., Babanazarova N.K. Research of static characteristics of a new remote transformer current transducer // Scientific-practical and information-analytical journal «Descendants of Muhammad al-Khwarizmi», Tashkent, 2021, № 3(17). -p.126-131. (05.00.00; №10).

5. Амиров С.Ф., Бабаназарова Н.К., Жумабоев С.Х., Исследование магнитных цепей нового дистанционного трансформаторного преобразователя тока // Научно-технический журнал «Развитие науки и технологий», Бухара, 2021. № 3, -С. 143-148. (05.00.00; №24)

6. Амиров С.Ф., Бабаназарова Н.К. Погрешности дистанционных трансформаторных преобразователей тока// «Развитие науки и технологий», научно-технический журнал, Бухара, 2021. № 5, -С. 139-147. (05.00.00; №24)

7. Amirov S.F., Babanazarova N.K. Discrete current measuring transformers// International scientific and technical journal «Chemical technology. Control and management», Tashkent, 2020, №5-6 (95-96), p. 53-57 (05.00.00; №12)

8. Бабаназарова Н.К. Исследование основных характеристик многопредельных трансформаторов тока// Научно-технический журнал «Развитие науки и технологий», Бухара, 2017. № 3, -С. 24-29. (05.00.00; №24)

**II бўлим (Часть II; Part II)**

9. Amirov S.F., Babanazarova N.K., Yuldashev N.R. Dynamic characteristics of new remote transformer current transducers with compensating capacitor // International Journal of Advanced Research in Science, Engineering and Technology, Vol. 8, Issue 7, July 2021, India

10. Amirov S.F., Rustamov D.Sh., Babanazarova N.K. Research of dynamic characteristics of electromagnetic current transducer // Scientific journal «European science review», Vienna, 2019. № 3-4, p. 95-98.

11. Amirov S.F., Babanazarova N.K. Research of dynamic operating mode of wide – range current transformer// Science journal «European applied sciences». Germany, 2016. № 1, p. 52-54.

12. Amirov S.F., Babanazarova N.K. Magnetic circuit analysis of current transformer with multiple-turn core // Science journal «European applied sciences». Germany, 2016. № 7, p. 23-26.

13. Амиров С.Ф., Бабаназарова Н.К. Дистанционные электромагнитные преобразователи больших переменных токов // «UNIVERSUM», Научный журнал. Москва, 2020. № 4(73).

14. Бабаназарова Н.К., Чарыева М.Р., Вопросы преобразования больших переменных токов // «UNIVERSUM», Научный журнал. Москва, 2020. №5(75).

15. Амиров С.Ф., Бабаназарова Н.К., Юлдашев Н.Р. Исследование магнитных цепей нового дистанционного трансформаторного преобразователя тока / 8-я Всероссийская научно-техническая конференция. «Прогрессивные технологии и процессы» (МТО-59), Сборник научных статей, Курск, 2021. -С. 12-21

16. Бабаназарова Н.К. Повышение точности измерения токов в электроэнергетических системах / Материалы научно-практической конференции профессоров, исследователей, магистров и студентов по теме «Инновационная деятельность высшего образования и проблемы развития интеграции активного предпринимательства», I - том (17-19 апреля, 2019), Бухара, 2019. -С. 436-438.

17. Бабаназарова Н.К. Компенсационные измерительные трансформаторы тока / Материалы научно-практической конференции профессоров, исследователей, магистров и студентов по теме «Внедрение инновационной техники и технологий в качестве перспективного направления развития предпринимательства», I- том, (17-19 апрель, 2019), Бухара, 2019. -С. 512-513.

18. Бабаназарова Н.К., Носиров Ж., Дистанционный измеритель тока / Материалы научно-практической конференции профессоров, исследователей, магистров и студентов по теме «Инновационная деятельность высшего образования и проблемы развития интеграции активного предпринимательства», I- том, (17-19 апрель, 2019), Бухара, 2019. -С.434-435.

19. Бабаназарова Н.К., Уроков А.И., Применение дистанционных трансформаторов тока для получения точности, чувствительности и надежности измерения / Современные материалы, техника и технология. Сборник научных статей 8-й Международной научно-практической конференции 29-30 декабря 2018 года, Курск. - С. 424-428.

20. Бабаназарова Н.К. Коррекционный трансформатор тока / Материалы научно-практической конференции профессоров, исследователей, магистров и студентов по теме «Внедрение инновационной техники и технологий в качестве перспективного направления развития предпринимательства», (25-28 апреля, 2018), Бухара, 2018. -С. 513-514.

Автореферат «Транспорт хабарномаси» илмий-амалий журнали  
таҳририятида таҳрирдан ўтказилди ва матнларни мослиги текширилди

---

Қоғоз бичими 84×60-1/16. Ризограф босма усули. Times гарнитураси  
Шартли босма табағи: 2,5 б.т. Адади: 60 нусха.  
Буюртма № 43-15/2021 Нашрга рухсат этилди: 04.12.2021 й.

Тошкент давлат транспорт университети босмахонасида чоп этилган.  
Босмахона манзили: 100167, Тошкент шаҳар, Темирийўлчилар кўчаси, 1-уй.