

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

---

**АНДИЖОН МАШИНАСОЗЛИК ИНСТИТУТИ**

**МАХСУДОВ МОХИРБЕК ТОЛИБЖОНОВИЧ**

**АСИНХРОН МОТОР РЕАКТИВ ҚУВВАТИНИНГ НАЗОРАТ ВА  
БОШҚАРУВИНИ УЧ ФАЗАЛИ ТОК ЎЗГАРТКИЧЛАРИ**

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

**ТЕХНИКА ФАHLАРИ 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)**

**Махсудов Мохирбек Толибжонович**

Асинхрон мотор реактив қувватининг назорат ва бошқарувини уч  
фазали ток ўзгарткичлари..... 3

**Махсудов Мохирбек Толибжонович**

Трёхфазные преобразователи тока для контроля и  
управления реактивной мощностью асинхронного двигателя..... 21

**Makhsudov Mokhirbek Tolibjonovich**

Three-phases current transducers for monitoring and control  
of reactive power of an asynchronous motors..... 39

**Эълон қилинган ишлар рўйхати**

Список опубликованных работ  
List of published works ..... 42

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

---

**АНДИЖОН МАШИНАСОЗЛИК ИНСТИТУТИ**

**МАХСУДОВ МОХИРБЕК ТОЛИБЖОНОВИЧ**

**АСИНХРОН МОТОР РЕАКТИВ ҚУВВАТИНИНГ НАЗОРАТ ВА  
БОШҚАРУВИНИ УЧ ФАЗАЛИ ТОК ЎЗГАРТКИЧЛАРИ**

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

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

**Фалсафа доктори (PhD) диссертацияси мавзуси Ўзбекистон Республикаси Вазирлар Маҳкамаси ҳузуридаги Олий аттестация комиссиясида B2021.4.PhD/T1451 рақам билан рўйхатга олинган.**

Диссертация Андижон машинасозлик институтида бажарилган.

Диссертация автореферати уч тилда (ўзбек, рус, инглиз (резюме)) Илмий кенгаш веб-саҳифаси ([www.tdtu.uz](http://www.tdtu.uz)) ҳамда «ZiyoNet» ахборот-таълим порталида ([www.ziyo.net/uz](http://www.ziyo.net/uz)) жойлаштирилган.

**Илмий раҳбар:**

**Сиддиков Илхомжон Хақимович**  
техника фанлари доктори, профессор

**Расмий оппонентлар:**

**Ўлжаев Эркин**  
техника фанлари доктори, профессор

**Раҳмонов Икромжон Усмонович**  
техника фанлари бўйича фалсафа доктори (PhD), доцент

**Етакчи ташкилот:**

**Навой давлат қончилик институти**

Диссертация ҳимояси Тошкент давлат техника университети ҳузуридаги DSc.03/30.12.2019.T.03.02 рақамли Илмий кенгашнинг 2022 йил «15» 01 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@edu.uz](mailto:tstu_info@edu.uz)).

Диссертация билан Тошкент давлат техника университетининг Ахборот-ресурс марказида танишиш мумкин (237 рақам билан рўйхатга олинган). (Манзил: 100095, Тошкент шаҳри, Университет кўчаси, 2. Тел.: (99871) 207-14-70).

Диссертация автореферати 2021 йил «27» 12 куни тарқатилди.  
(2021 йил «7» 12 даги 23 рақамли реестр баённомаси).



**Н.Р. Юсулбеков**

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

**Ж.У. Севиннов**

Илмий даражалар берувчи  
илмий кенгаш қошидаги илмий семинар раис ўринбосари,  
т.ф.д., доцент

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

Диссертация мавзусининг долзарблиги ва зарурати. Жаҳонда истеъмолчиларни сифатли ва узлуксиз электр энергияси билан таъминлашда назорат ва бошқарув тизимларининг элементлари ва қурилмаларини такомиллаштириш бўйича кенг қамровли илмий тадқиқотлар олиб борилмоқда. Хусусан, энг кенг тарқалган электр энергия истеъмолчиларидан бўлган асинхрон моторларда реактив қувватни назорат қилиш ва бошқариш тизимининг имкониятларини кенгайтириш долзарб муаммолардан бўлиб, бу имкониятлар сигнал ўзгартириш элементлари ва қурилмаларининг юқори аниқлиги, тезкорлиги, ишончлиги ва сезгирлиги, улар таъминлаётган сигналларнинг сифати ҳамда узлуксизлиги каби кўрсаткичлар билан изоҳланади. Ривожланган мамлакатларда бу муаммони илмий тадқиқ этиш ва уларни амалиётда қўллаш устувор вазифалардан саналади.

Жаҳонда асинхрон мотор реактив қувватини назорат ва бошқариш тизими элементлари ва қурилмаларини такомиллаштириш бўйича қатор илмий тадқиқот ишлари олиб борилмоқда. Ушбу тадқиқотларда асинхрон мотор реактив қувватини назорат ва бошқарув тизими учун тегишли сигналларни таъминлаш асосий вазифа ҳисобланади. Шу мақсадда, асинхрон мотор реактив қувватини назорат қилиш, ишлаб чиқиладиган ва истеъмол қилинадиган реактив энергияни режалаштириш, тежаш ва реактив қувват манбаларини бошқарувида қўлланиладиган турли ток ўзгарткичлари ва уларнинг сигнал ўзгартириш жараёнларини мақбул алгоритмлар асосида моделлаштириш муҳим аҳамият касб этади. Асинхрон мотор реактив қувватининг катталики ва параметрларини бошқарувини ривожлантиришда рақамли технологияларни кенг қўлланилиши талаб этилмоқда. Шунингдек, моделлаштириш жараёнини амалга оширувчи математик аппаратлар, физик элемент ва воситалар ҳамда улар асосида бирламчи сигнал ўзгартириш қурилмаларининг янги тузилмаларини ишлаб чиқиш ва амалиётга жорий этиш масалалари долзарб ҳисобланади.

Республикамизда асинхрон мотор истеъмол қиладиган реактив қувватини назорат ва бошқариш тизимлари элементлари ва қурилмаларини ривожлантириш ҳамда амалиётга жорий қилишга йўналтирилган мақсадли чора-тадбирлар кенг миқёсда амалга оширилмоқда. 2017-2021 йилларда Ўзбекистон Республикасини янада ривожлантириш бўйича Ҳаракатлар стратегиясида, жумладан «... иқтисодиёт, ижтимоий соҳа, бошқарув тизимига ахборот-коммуникация технологияларини жорий этиш, ... иқтисодиётда энергия ва ресурслар сарфини камайтириш, ... ишлаб чиқаришга энергия тежайдиган технологияларни кенг жорий этиш» вазифалари белгиланган<sup>1</sup>. Мазкур вазифаларни бажаришда, шу жумладан асинхрон мотор реактив қувватининг назорат ва бошқарув тизими ток ўзгарткичларини ишлаб чиқиш, сигнал ўзгартириш жараёнларини

---

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

моделлаштириш ва алгоритмлаш ҳамда амалиётда қўллаш муҳим вазифалардан бири ҳисобланади.

Ўзбекистон Республикаси Президентининг 2017 йил 7 февралдаги ПФ-4947-сон «Ўзбекистон Республикасини янада ривожлантириш бўйича Ҳаракатлар стратегияси тўғрисида»ги Фармони, Ўзбекистон Республикаси Президентининг 2017 йил 26 майдаги ПҚ-3012-сон «2017-2021 йилларда қайта тикланувчи энергетикани янада ривожлантириш, иқтисодиёт тармоқлари ва ижтимоий соҳада энергия самарадорлигини ошириш чора-тадбирлари дастури тўғрисида»ги, 2017 йил 23 августдаги ПҚ-3238-сон «Замонавий энергия самарадор ва энергия тежайдиган технологияларни янада жорий этиш чора-тадбирлари тўғрисида» ги, 2019 йил 22 августдаги ПҚ-4422-сон «Иқтисодиёт тармоқлари ва ижтимоий соҳанинг энергия самарадорлигини ошириш, энергия тежовчи технологияларни жорий этиш ва қайта тикланувчи энергия манбаларини ривожлантиришнинг тезкор чора-тадбирлари тўғрисида» ги Қарорларини ижросини таъминлаш ҳамда мазкур фаолиятга тегишли норматив-ҳуқуқий ҳужжатларда белгиланган вазифаларни амалга оширишда ушбу диссертация тадқиқоти муайян даражада хизмат қилади.

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

**Муаммонинг ўрганилганлик даражаси.** Асинхрон мотор реактив қувватини назорат ва бошқарув тизимлари, уч фазали бирламчи статор чулғамлари тоқларини ўзгартиришда аниқлик, тезкорлик, чизиклилик, тежамкорлик каби сифатларни таъминловчи шунингдек кирувчи электр ва магнит хусусиятли катталикларни тегишли асосда чиқиш электр сигналларига ўзгартирувчи элемент ва қурилмаларни ишлаб чиқишни талаб этади. Шу мақсадда асинхрон моторларни реактив қувват билан таъминлаш тизимлари уч фазали статор тоқларини кучланиш кўринишдаги чиқиш сигналларига айлантириб берувчи ўзгарткичлар устида илмий ва амалий тадқиқотлар ўтказилмоқда.

Мазкур тадқиқот йўналишида Н.Schaumburg<sup>2</sup>, N.M.Tabatabaei<sup>3</sup>, Е.П.Осадчий<sup>4</sup>, Н.Е.Конюхов<sup>5</sup>, М.А.Ураксеев<sup>6</sup>, Ю.А.Андреев<sup>7</sup> ва бошқа таниқли хорижий олимлар илмий изланишлар олиб борган. Шунингдек,

<sup>2</sup> Schaumburg H. Werkstoffe und Bauelemente der Elektrotechnik.Sensor–anwendungen. Stuttgart: 2012.– 420 p.

<sup>3</sup> Naser Mahdavi Tabatabaei, Ali Jafari Aghbolaghi, Nicu Bizon, Frede Blaabjerg. Reactive Power Control in AC Power Systems: Fundamentals and Current Issues//Springer.– 2017:634 p.

<sup>4</sup> Осадчий Е.П., Тихонов А.И., Карпов В.И. и др. Проектирования датчиков для измерения механический величин –М.:Машиностроение, 1979.–480 с.

<sup>5</sup> Н.Е. Конюхов, А.А. Плюот, П.И. Марков. Оптоэлектронные контрольно-измерительные устройства. Москва: Энергоатомиздат, 1985. –152 с.

<sup>6</sup> Ураксеев М.А., Марченко Д.А., Марченко Р.А. Магнитооптические эффекты и датчики на их основе // Датчики и системы. – №1. –М.: 2001.– С. 60–63.

<sup>7</sup> Андреев Ю.А., Абрамзон Г.В.Преобразователи тока для измерений без разрывов цепи.Энергия,1979.-144с.

республикамизнинг таниқли олимлари Н.Р.Юсупбеков<sup>8</sup>, М.Ф.Зарипов<sup>9</sup>, Х.Г.Каримов<sup>10</sup>, С.Ф.Амиров<sup>11</sup>, А.М.Плахтиев<sup>12</sup>, И.Х.Сиддиков<sup>13</sup> ва бошқаларнинг илмий ишлари айтиб ўтилган муаммо ва масалаларнинг ечимига қаратилган.

Таҳлиллар шуни кўрсатадики, асинхрон моторлар реактив қувватини назорат ва бошқарув тизимларида замонавий технологияларни қўллаш, назорат ва бошқарув учун меъёрий бўлган чиқиш сигналларни олиш, реактив қувват истеъмолини баҳолаш имконини берувчи ўзгарткичларни тадқиқ этиш, сигнал ўзгартириш жараёнларини моделлаштириш ва алгоритмлаш, асинхрон моторларнинг техник имкониятларидан келиб чиқиб мақбул ток ўзгарткичларини ишлаб чиқиш ҳамда амалиётга жорий этиш масалалари етарли даражада ўрганилмаган.

**Диссертация тадқиқотининг диссертация бажарилган олий таълим муассасасининг илмий-тадқиқот ишлари режалари билан боғлиқлиги.** Диссертация тадқиқоти Тошкент ахборот технологиялари университети ҳузуридаги «Ахборот-коммуникация технологиялари илмий–инновацион» марказининг АКТ-А-2021-3 «Қайта тикланувчи энергия манбалари асосидаги энерготизим чиқиш параметрларини тадқиқ қилиш дастурий таъминоти ва симуляцион стендини тажрибавий намунасини яратиш ва ишлаб чиқиш» (2021-2023 йй.), ИОТ 2013-2-28 «Энергия тежамкор реактив қувват манбаларининг автоматик ростлагичларини саноат корхоналарида жорий этиш» (2013-2015 йй.) илмий-тадқиқот лойиҳалари доирасида бажарилган.

**Тадқиқотнинг мақсади** асинхрон мотор реактив қувватининг назорат ва бошқарувини уч фазали ток ўзгарткичларининг моделларини ишлаб чиқиш, тадқиқ этиш ва амалиётга қўллашдан иборат.

#### **Тадқиқотнинг вазифалари:**

асинхрон мотор истеъмол қилаётган реактив қувватни назорат ва бошқарув тизимлари бирламчи ток ўзгарткичларининг тузилиши, уларда кечаётган жараёнлар ва тузилмалари физик-техник эффектларини таҳлил қилиш;

асинхрон мотор реактив қувватини назорат ва бошқарув тизимлари ток ўзгарткичлари турларини танлаш ва асослаш;

асинхрон мотор статор тоқлари ҳосил қилган магнит оқимларининг ўзаро таъсирлари асосида чиқиш катталиги иккиламчи кучланиш

<sup>8</sup> Юсупбеков Н.Р., Алиев Р.А., Алиев Р.Р., Юсупбеков А.Н. “Бошқаришнинг интеллектуал тизимлари ва қарор қабул қилиш”. Давлат илмий нашриёти “Ўзбекистон миллий энциклопедияси” Тошкент - 2015 й.

<sup>9</sup> Зарипов М.Ф., Петрова И.Ю. Энергоинформационный метод анализа и синтеза чувствительных элементов систем управления // Датчики и системы. 1999. № 5. –С.10-16.

<sup>10</sup> Каримов Х.Г., Бобожанов М.К. Новые полюсо-переключаемые обмотки // Электричество. 1996. № 1.-26 с.

<sup>11</sup> Амиров С.Ф., Хушбоков Б.Х., Балгаев Н.Е. Многодиапазонные трансформаторы тока // Электротехника. – М.: 2009. – №2. – С. 61-64.

<sup>12</sup> Плахтиев А.М. Измерительные преобразователи с распределенными параметрами (Монография) – Ташкент: Фан, 1987.–104 с.

<sup>13</sup> Сиддиков И.Х., Анарбоев М.А., Ахмедов Т.Б. Моделирование и исследование электромагнитных преобразователей тока систем автоматического регулирования источников реактивной мощности // Энергия ва ресурс тежаш муаммолари // Илмий журнал. Тошкент 2011 йил №3-4-сон 36 б.

кўринишида бўлган электромагнит ўзгарткичларининг модели тузилмасини ишлаб чиқиш;

асинхрон мотор ток ўзгарткичлари тузилмасини статик, динамик ва метрологик тавсифларини тадқиқот модели, алгоритми ва дастурий таъминотини ишлаб чиқиш;

асинхрон мотор реактив қувватини назорат ва бошқарув тизимлари ток ўзгарткичларининг ишончлилиги ва иш ҳолати кўрсаткичларини тадқиқ қилиш;

асинхрон моторлар реактив қувватини назорат ва бошқарув тизимларининг уч фазали тоқлар электромагнит ўзгарткичларини «булутли ҳисоблаш» модели ва алгоритминини яратиш ва амалиётда қўллаш.

**Тадқиқотнинг объекти** сифатида асинхрон мотор реактив қувватининг назорат ва бошқарув тизимлари уч фазали ток электромагнит ўзгарткичлари олинган.

**Тадқиқотнинг предмети** асинхрон мотор уч фазали тоқлари электромагнит ўзгарткичларида назорат ва бошқариш сигналларини ҳосил қилиш жараёнларидан иборат.

**Тадқиқотнинг усуллари.** Тадқиқот жараёнида электр ва магнит занжирлари катталиги ва параметрларини ҳисоблаш, хатоликлар назарияси, графлар, сигналларни ҳосил қилиш, рақамли ишлов бериш ва узатиш, электромагнит ўзгарткичларни лойиҳалаш ва моделлаштириш усулларида фойдаланилган.

**Тадқиқотнинг илмий янгилиги** қуйидагилардан иборат:

илк маротаба асинхрон моторларнинг статор пазларида жойлашувчи уч фазали реактив тоқлар электромагнит ўзгарткичи тузилмасининг модели ишлаб чиқилган;

асинхрон моторлар уч фазали реактив тоқлари учун янги электромагнит ўзгарткичининг статик ва динамик тавсифларини аналитик ифодалари ишлаб чиқилган;

уч фазали реактив тоқларни кучланишга ўзгарткичининг рационал ўлчов чулғамлари сони ва уларни асинхрон мотор статор пазларида жойлашувини аниқлаш модели ва алгоритми яратилган;

асинхрон мотор реактив қувватининг назорат ва бошқариш тизимини уч фазали тоқлари электромагнит ўзгарткичини «булутли ҳисоблаш» модели ва алгоритми яратилган.

**Тадқиқотнинг амалий натижалари** қуйидагилардан иборат:

асинхрон мотор реактив қувватининг назорат ва бошқаруви талаблари асосида бирламчи юклама тоқини кучланиш кўринишидаги сигналга ўзгарткичининг тажриба модели ишлаб чиқилган;

асинхрон мотор электромагнит ток ўзгарткичининг статик ва динамик тавсифлари тадқиқотининг дастурий таъминоти ишлаб чиқилган;

асинхрон мотор реактив қувватини назорат қилиш ва бошқариш тизимларида бирламчи тоқлар қийматини иккиламчи кучланиш кўринишидаги чиқиш сигналларига ўзгарткичининг чиқиш кучланишини



миқдорини меъёрланганлик, чизиқлилиқ ва юқори аниқлилиқ кўрсаткичларини таъминловчи дастурий таъминот ишлаб чиқилган;

таъмирланган асинхрон моторнинг реактив қувватини назорат ва бошқарувининг уч фазали реактив ток ўзгарткичини рационал параметрларини тадқиқ этиш дастурий таъминоти ишлаб чиқилган.

**Тадқиқот натижаларининг ишончилиги.** Тадқиқот натижаларининг ишончилиги асинхрон мотор реактив қувватининг назорат ва бошқарувини уч фазали электромагнит ток ўзгарткичларини тузилиш тамойиллари, тадқиқот моделлари, статик, динамик, метрологик ва техник тавсифлари асосида олинган назарий ва амалий тадқиқотлар натижалари умумқабул қилинган мезонлар асосида қиёсий солиштириш орқали изоҳланади.

**Тадқиқот натижаларининг илмий ва амалий аҳамияти.** Тадқиқот натижаларининг илмий аҳамияти асинхрон моторлар реактив қувватининг назорат ва бошқарувини бирламчи реактив тоқини кучланишга ўзгарткичи моделини яратилганлиги, уч фазали реактив тоқлар ўзгарткичи таъминлаётган иккиламчи кучланишнинг миқдорини меъёрланганлиги, чизиқлилиги ва юқори аниқлилиги каби мезонларни шакллантирилганлиги билан изоҳланади.

Тадқиқот натижаларининг амалий аҳамияти таъмирланган асинхрон моторлар реактив қувватини назорат ва бошқарувида уч фазали реактив тоқлар миқдорлари ва бурчаклари бўйича ўзгартириш кўрсаткичларининг кенгайтирилганлиги, меъёрланган чиқиш сигналини таъминлаганлиги ҳамда уч фазали реактив ток ўзгарткичининг тавсифларини тадқиқ этиш дастурий таъминотини ишлаб чиқилганлиги ва амалиётда қўлланилганлиги билан изоҳланади.

**Тадқиқот натижаларининг жорий қилиниши.** Асинхрон мотор реактив қувватининг назорат ва бошқарув тизимлари учун реактив тоқларни кучланишга электромагнит ўзгарткичини ишлаб чиқиш бўйича олинган натижалар асосида:

асинхрон мотор реактив қувватининг назорат ва бошқаруви учун ишлаб чиқилган уч фазали ток ўзгарткичи ва дастурий воситалари «Андижон вилояти ҳудудий электр тармоқлари корхонаси» АЖда жорий этилган (Энергетика вазирлигининг 2021 йил 3 мартдаги 05-13-1430–сон маълумотномаси). Натижада, электр энергиясини узатишдаги қўшимча актив ва реактив энергия исрофлари 5 % гача камайиши имконини берган;

асинхрон моторнинг статор пазларига жойлаштирилган уч фазали ток ўзгарткичининг тажриба модели ва натижалар олишнинг тезкорлиги ҳамда аниқлилигини таъминловчи дастурий воситаси «RASH MILK» МЧЖ да жорий этилган (Энергетика вазирлигининг 2021 йил 3 мартдаги 05-13-1430–сон маълумотномаси). Натижада, асинхрон моторлар реактив қувватини ҳисоблаш аниқлилиги ошган ва мақбул назорат ҳамда бошқариш ҳисобига йиллик кутилаётган самарадорлик 97 млн.сўмни ташкил этган;

ишлаб чиқилган уч фазали ток ўзгарткичининг «булутли ҳисоблаш» модели ва дастурий воситаси «Mashinastroitel Andijon» ХКда жорий этилган (Энергетика вазирлигининг 2021 йил 3 мартдаги 05-13-1430–сон

маълумотномаси). Натижада, асинхрон моторларнинг компенсация қилинувчи реактив қуввати тўғрисида реал вақт мобайнида маълумотлар олишга эришилган ва бошқариш тизимини меъёрланган сигнал билан таъминлаш ҳисобига йиллик кутилаётган самарадорлик 15 млн. сўмни ташкил этган.

**Тадқиқот натижаларининг апробацияси.** Тадқиқотлар натижалари 6 та халқаро, 2 та республика илмий-амалий конференциялар ҳамда илмий семинарларда муҳокама қилинган.

**Тадқиқот натижаларининг эълон қилинганлиги.** Тадқиқот мавзуси бўйича жами 23 та илмий ишлар, улардан 9 та мақолалар Ўзбекистон Республикаси Олий аттестация комиссияси томонидан тавсия этилган журналларда, шу жумладан 4 та хорижий журналларда чоп этилган. 4 та ЭҲМ учун яратилган дастурий воситаларга ЎзР Интеллектуал мулк агентлиги томонидан қайд қилинганлик гувоҳномалари олинган.

**Диссертациянинг тузилиши ва ҳажми.** Диссертация иши ўзбек тилида ёзилган бўлиб, унинг ҳажми 110 бет, шунингдек кириш, тўртта боб, хулосалар, фойдаланилган адабиётлар рўйхати ва иловалардан иборат.

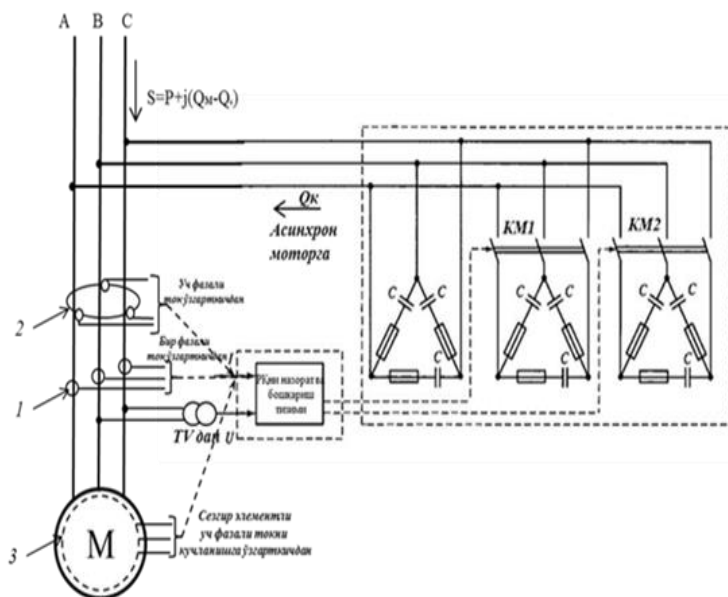
## ДИССЕРТАЦИЯНИНГ АСОСИЙ МАЗМУНИ

**Кириш** қисмида диссертация мавзусининг долзарблиги ва зарурати асосланган, тадқиқотнинг республика фан ва технологиялари тараққиётининг устувор йўналишларига мослиги кўрсатилган, тадқиқотнинг мақсади ва вазифалари, тадқиқотнинг объекти ва предмети, тадқиқотнинг илмий янгилиги ва амалий натижалари санаб ўтилган, тадқиқот натижаларининг илмий ва амалий аҳамияти баён қилинган, тадқиқот натижаларини амалиётда қўллаш ҳолати, нашр этилган илмий ишлар ва диссертация тузилиши бўйича маълумотлар келтирилган.

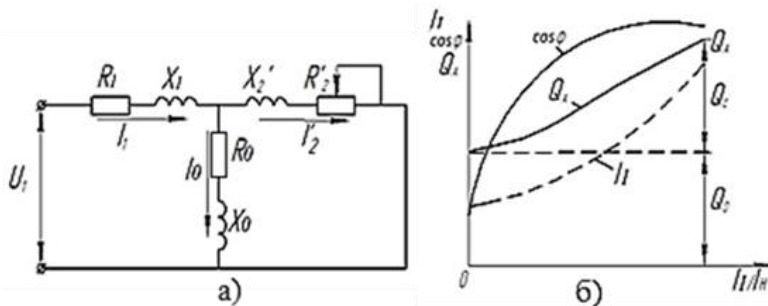
Диссертациянинг «**Асинхрон мотор реактив қувватининг назорат ва бошқарув тизимини ток ўзгарткичлари**» деб номланган биринчи бобида асинхрон мотор реактив қуввати истеъмоли хусусиятлари, компенсациялаш усули ва воситалари, назорат ва бошқариш тизими қуриш тамойили ва ток ўзгарткичлари кўриб чиқилган. Асинхрон мотор реактив қувватининг назорат ва бошқариш тизими учун уч фазали реактив тоқларини иккиламчи кучланиш кўринишидаги сигналларга ўзгартириш тамойиллари, ўзгарткичлар тузилиш асослари, диссертация иши мақсади ва вазифалари келтирилган.

Истеъмол қилинаётган реактив қуввати назорат қилинувчи ва бошқарилувчи асинхрон моторнинг электр таъминоти тизимига уланишида бир фазали, уч фазали ёки сезгир элементли уч фазали ток ўзгарткичларидан фойдаланилади (1-расм).

Асинхрон моторнинг реактив қувват истеъмоли жараёнини тадқиқ этишда алмаштириш схемаси тузилди ва аналитик ифодалар асосидаги ишчи тавсифлари олинди (2-расм).



1-расм. Асинхрон мотор реактив қувватини назорат қилиш ва конденсаторларни бошқариш схемаси: 1-бир фазали ток ўзгарткичи, 2-уч фазали ток ўзгарткичи, 3-сезгир элементли уч фазали токни кучланишга ўзгарткичи, TV-кучланиш трансформатори, КМ1, КМ2-магнит ишга туширгичлар



2-расм. Асинхрон моторнинг алмаштириш схемаси (а) ва ишчи тавсифи (б)

Асинхрон моторнинг алмаштириш схемаси ва ишчи тавсифлари истеъмол қилаётган реактив қувватни қуйидагича ифодалаш имконини беради:

$$Q_A = \frac{P \operatorname{tg} \varphi}{\eta} = \frac{P_{\text{ном}}}{\eta_{\text{ном}}} \left( \frac{I_0}{I_{\text{ном}} \cos \varphi_{\text{ном}}} + \beta^2 \cdot (\operatorname{tg} \varphi_{\text{ном}} - \frac{I_0}{I_{\text{ном}} \cos \varphi_{\text{ном}}}) \right), \quad (1)$$

бу ерда:  $P$ ,  $I_{\text{ном}}$ ,  $I_1$  ва  $I_0$ ,  $\operatorname{tg} \varphi_{\text{ном}}$  ва  $\operatorname{tg} \varphi$ ,  $\cos \varphi_{\text{ном}}$ ,  $\beta$  ва  $\eta$  – мос равишда асинхрон мотор юкласига мос ишчи актив қувват, номинал ва мотор истеъмол қилаётган ишчи ва салт ишлаш режими тоқлари, номинал ва ишчи реактив қувват, актив қувват, юкланиш ва фойдали иш коэффициентлари.

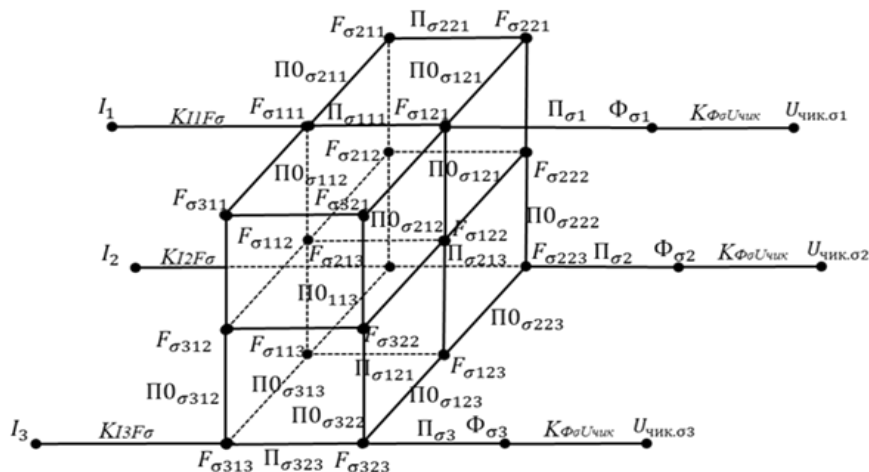
Таҳлиллар асосида шуни хулоса қилиш мумкинки, асинхрон моторнинг реактив қувват истеъмоли унинг иш ҳолатидаги юкланишига боғлиқ бўлиб, статор қисмидаги сочилиш магнит оқими ўзгариши билан изоҳланади.

Асинхрон мотор реактив қувватининг назорат ва бошқарувини бирламчи ток ўзгарткичлари тузилмаларининг дастлабки таҳлили ва техник имкониятларини қиёсий баҳолаш шуни кўрсатдики, асинхрон моторнинг статор магнит тизими ва унда бирламчи ток ўзгарткичлари сезгир элементларини жойлаштириш тамойилларининг мавжудлиги билан бир қаторда юқори ишонччилик ва аниқликни ҳамда меъёрланган кучланиш кўринишидаги чиқиш сигналини таъминловчи бирламчи электромагнит ўзгарткичларни назорат ва бошқарув тизимида қўллаш энг истиқболли ечимлардан ҳисобланади.

Диссертациянинг «Асинхрон мотор реактив қувватининг назорат ва бошқарувини уч фазали ток ўзгарткичини моделлаштириш» деб номланган иккинчи бобида асинхрон моторнинг реактив қувватини назорат ва бошқариш тизимлари учун уч фазали бирламчи тоқларни иккиламчи чиқиш кучланишларига электромагнит ўзгарткичининг сигнал ўзгартириш жараёнлари, ўзгартириш бўлақларининг моделлари ва тадқиқот алгоритмлари, «булутли ҳисоблаш» модели имкониятлари, ўзгарткич тузилмаси ва сигнал ўзгартириш тамойилларининг физик-техник эффектлари тадқиқ этилган.

Асинхрон мотор реактив қувватининг назорат ва бошқарувини уч фазали уч сезгир элементли ток ўзгарткичларида чиқиш кучланишини ўзгарувчан ташкил этувчисини ҳосил қилишнинг граф модели ишлаб чиқилди (3-расм).

Асинхрон моторнинг статор чулғамларидан бирламчи тоқларнинг ўтиши  $F_\sigma$  – магнит юритувчи кучларни ва  $\Phi_\sigma$  – магнит оқимларини ҳосил қилади ва бу магнит оқимлар сезгир чулғамларни кезиб ўтиши натижасида иккиламчи чиқиш кучланиши шаклланади.



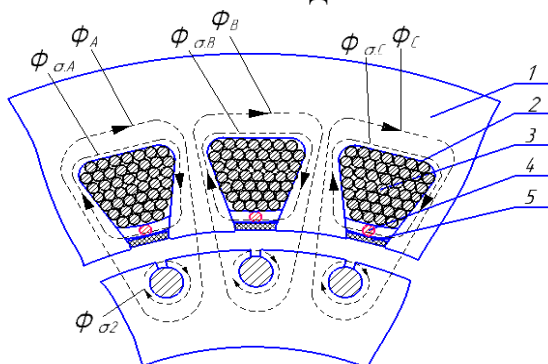
3-расм.  
Асинхрон моторнинг уч фазали токни кучланишга электромагнит ўзгарткичининг граф модели

Граф модел асосида статор қисми тугунларидаги магнит юритувчи кучларни магнит оқимларига боғлиқлигининг аналитик ифода ишлаб чиқилди:

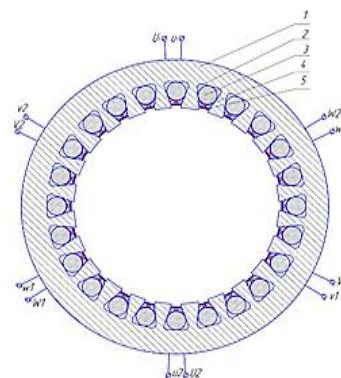
$$\begin{cases} \frac{F_{\sigma 111} - F_{\sigma 121}}{\Pi_{\sigma 111}} + \frac{F_{\sigma 111} - F_{\sigma 211}}{\Pi_{\sigma 211}} + \frac{F_{\sigma 111} - F_{\sigma 112}}{\Pi_{\sigma 112}} = K_{I_1 F_\sigma} I_1 / \Pi_{\sigma 1}; \\ \frac{F_{\sigma 213} - F_{\sigma 223}}{\Pi_{\sigma 213}} + \frac{F_{\sigma 213} - F_{\sigma 212}}{\Pi_{\sigma 212}} + \frac{F_{\sigma 213} - F_{\sigma 113}}{\Pi_{\sigma 113}} = K_{I_2 F_\sigma} I_2 / \Pi_{\sigma 2}; \\ \frac{F_{\sigma 313} - F_{\sigma 323}}{\Pi_{\sigma 323}} + \frac{F_{\sigma 313} - F_{\sigma 113}}{\Pi_{\sigma 113}} + \frac{F_{\sigma 313} - F_{\sigma 312}}{\Pi_{\sigma 312}} = K_{I_3 F_\sigma} I_3 / \Pi_{\sigma 3}. \end{cases} \quad (2)$$

Яратилган токни кучланишга ўзгарткичини тузилиш тамойили статор ўзаги 1, статор пазлари 2, асосий 3 ва кўшимча 4 чулғамлар ҳамда паз поналарида 5 иборат бўлиб, кўшимча чулғам сезгир элемент сифатида статор қисмидаги сочилиш магнит оқими йўналишига жойлаштирилади (4, 5-расмлар). Ушбу магнит оқимлар сезгир элементлар чиқишларида кучланиш кўринишидаги сигналларни ҳосил қилади.

Токни кучланишга ўзгарткичнинг асинхрон мотор статор пазларида жойлашишида магнит оқимлари сезгир элементни перпендикуляр кесиб ўтишлиги таъминланади.

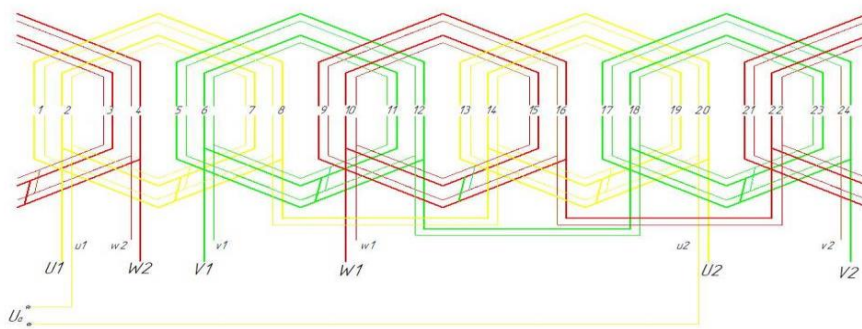


4-расм. Токни кучланишга ўзгарткичнинг ўлчов чулғамини асинхрон мотор статор пазларида жойлашиши ва магнит оқимлари кўриниши: 1- статор магнит ўзаги, 2-статор пази, 3-статор асосий чулғами, 4 -ўлчов чулғами, 5- паз понаси



5-расм. Ўлчов чулғамлари жойланган уч фазали асинхрон моторнинг статор қисмини умумий кўриниши:  $U1-U2$ ,  $V1-V2$ ,  $W1-W2$ – уч фазали асинхрон мотор статор чулғамларининг учлари,  $u1-u2$ ,  $v-v2$ ,  $w1-w2$ – уч фазали ўлчов чулғамларининг учлари

Сезгир элемент сифатидаги ўлчов чулғамларини статор пазларида жойлаштириш асосий статор чулғамлари схемаси каби бажарилади (6-расм).

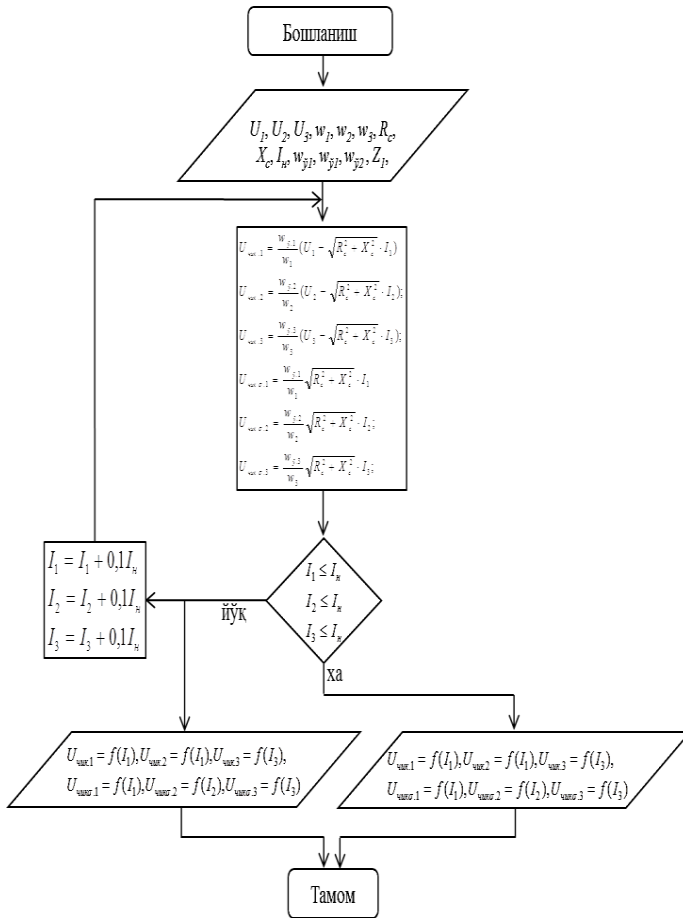


6-расм. Ўлчов ва асосий статор чулғамларининг ёйилган схемаси: 1-24 статор пазлар сони,  $U_a$  – асинхрон моторнинг А фазага тўғри келган ўлчов чулғамининг чиқиш кучланиши

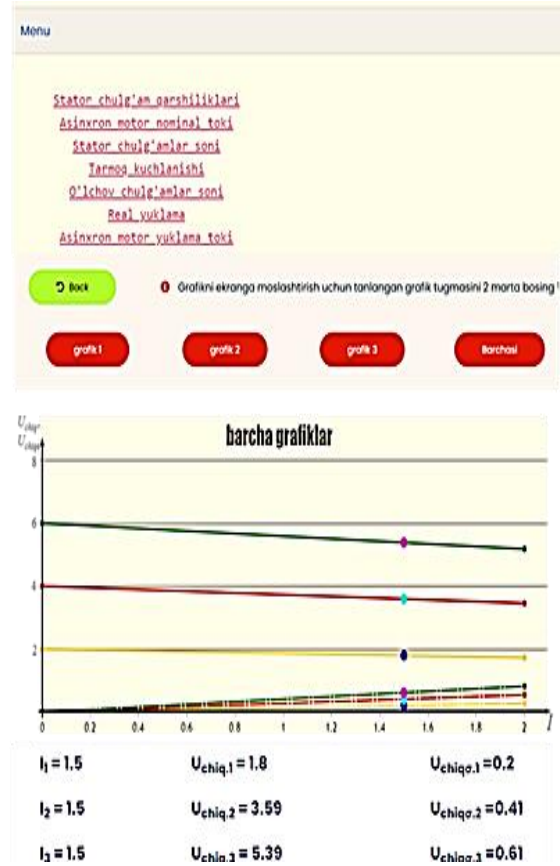
Тадқиқотлар натижасида уч фазали ток ўзгарткичининг сезгир элементлари чиқишида реактив қувватни назорат ва бошқарув тизимлари учун меъёрий қиймати 5 В гача бўлган кучланиш кўринишидаги сигналларни олиш имконияти кенгайтирилди.

Диссертациянинг «Асинхрон моторнинг уч фазали тоқларини иккиламчи кучланишларга ўзгарткичининг тавсифлари» деб номланган учинчи бобида асинхрон моторнинг уч фазали тоқларини кучланишлар кўринишидаги сигналларга ўзгартирувчи электромагнит ток ўзгарткичи статик, динамик ва метрологик тавсифлари, тадқиқот алгоритмлари ва моделлари ҳамда ўзгарткич элементларининг ишончлилиқ кўрсаткичларини тадқиқот натижалари келтирилган.

Асинхрон мотор реактив қувватининг назорат ва бошқарув тизимини уч фазали ток ўзгарткичи статик тавсифларининг тадқиқот алгоритми (7-расм) ва “булутли ҳисоблаш” модели (8-расм) ишлаб чиқилди.



7-расм. Ток ўзгарткичининг статик тавсифларини тадқиқот алгоритми

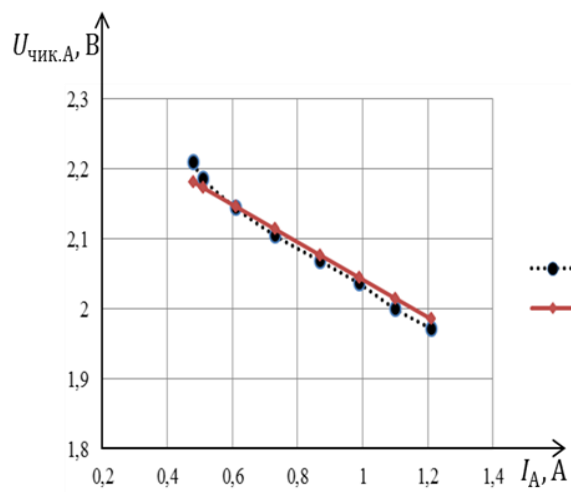


8-расм. Ток ўзгарткичининг “булутли ҳисоблаш” модели асосида олинган натижалари

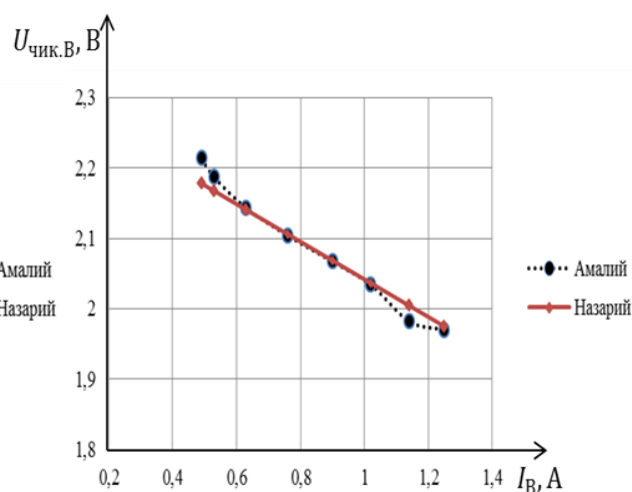
Ушбу асинхрон моторнинг уч фазали тоқлари ўзгарткичини статик тавсифларининг тадқиқот алгоритми ва “булутли ҳисоблаш” модели сигнал ўзгартириш жараёнларини тадқиқ этишда ҳамда назорат ва бошқариш тизимлари учун меъерий қийматдаги чиқиш сигналини олишда асосий восита ҳисобланади. Ушбу тадқиқот алгоритми ва “булутли ҳисоблаш” модели асинхрон моторнинг уч фазали бирламчи тоқларини иккиламчи кучланишларга ўзгартириш жараёнини масофадан исталган жойда тадқиқ этиш, тавсифларни олиш ва натижаларни таҳлил этиш имконини беради [DGU 11502, 18.06.2021 й.].

Уч фазали асинхрон моторнинг статор пазларига жойланган ток ўзгарткичи сезгир элементларининг чиқиш сигналларини амалий ва назарий тадқиқот натижалари уларни ўзаро адекватлигини кўрсатди (9-расм).

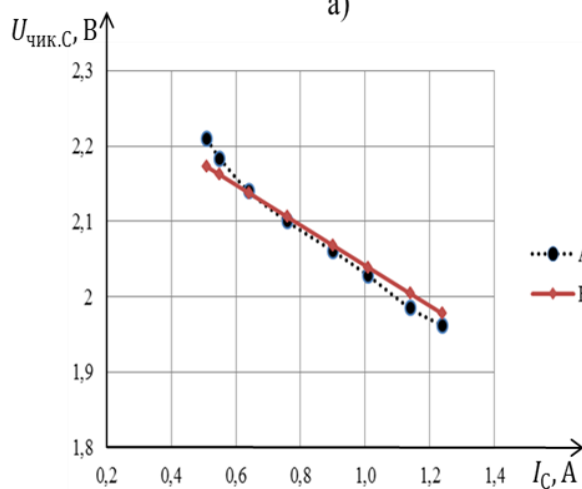
Ток ўзгарткичларини тадқиқ этишда динамик тавсифлар муҳим бўлиб, статор тоқларининг қийматлари, ўлчов элементлари параметрлари, ташқи таъсирлар, асинхрон моторнинг электр ва магнит катталиклари ва бошқа таъсирлари кучланиш кўринишидаги чиқиш сигналларининг вақт бўйича ўзгаришига боғлиқлигини акс эттиради.



а)



б)



с)

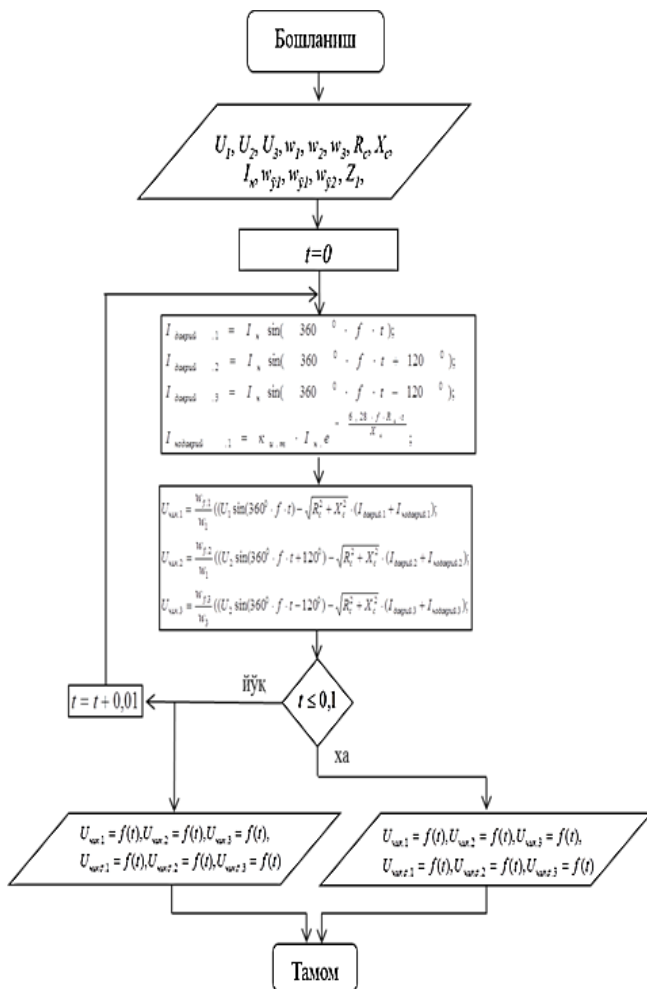
9-расм. Уч фазали ток ўзгарткичи чиқиш кучланишларини амалий ўлчанган ва назарий ҳисобланган қийматларини статор токларига боғлиқлигининг статик тавсифлари: а–А фаза, б–В фаза ва с–С фаза токларига мос статик тавсифлари

Асинхрон моторнинг уч фазали ток ўзгарткичи чиқиш кучланишининг динамик тавсифлари аналитик ифодаси статор қисмида бўладиган ўткинчи жараёнлар асосида шакллантирилди:

$$\begin{cases} U_{\text{чик.1}} = K_{\Phi_1 U_{\text{чик}}} \left( \begin{aligned} & \Pi_{\mu_1} \cdot W(F_{111}, F_{121}) \cdot K_{U_1 F_0} \cdot U_1 \sin \omega t - \\ & - \Pi_{\sigma_1} \cdot W(F_{\sigma 111}, F_{\sigma 121}) \cdot K_{I_1 F_{\sigma}} \cdot (I_{1np.} \sin \omega t + I_{1anp.} e^{-\frac{t}{T}}) \end{aligned} \right); \\ U_{\text{чик.2}} = K_{\Phi_2 U_{\text{чик}}} \left( \begin{aligned} & \Pi_{\mu_2} \cdot W(F_{213}, F_{223}) \cdot K_{U_2 F_0} \cdot U_2 \sin(\omega t + 120^\circ) - \\ & - \Pi_{\sigma_2} \cdot W(F_{\sigma 213}, F_{\sigma 223}) \cdot K_{I_2 F_{\sigma}} \cdot (I_{2np.} \sin(\omega t + 120^\circ) + I_{2anp.} e^{-\frac{t}{T}}) \end{aligned} \right); \\ U_{\text{чик.3}} = K_{\Phi_3 U_{\text{чик}}} \left( \begin{aligned} & \Pi_{\mu_3} \cdot W(F_{\sigma 313}, F_{\sigma 323}) \cdot K_{U_3 F_0} \cdot U_3 \sin(\omega t - 120^\circ) - \\ & - \Pi_{\sigma_3} \cdot W(F_{\sigma 313}, F_{\sigma 323}) \cdot K_{I_3 F_{\sigma}} \cdot (I_{3np.} \sin(\omega t - 120^\circ) + I_{3anp.} e^{-\frac{t}{T}}) \end{aligned} \right). \end{cases} \quad (3)$$

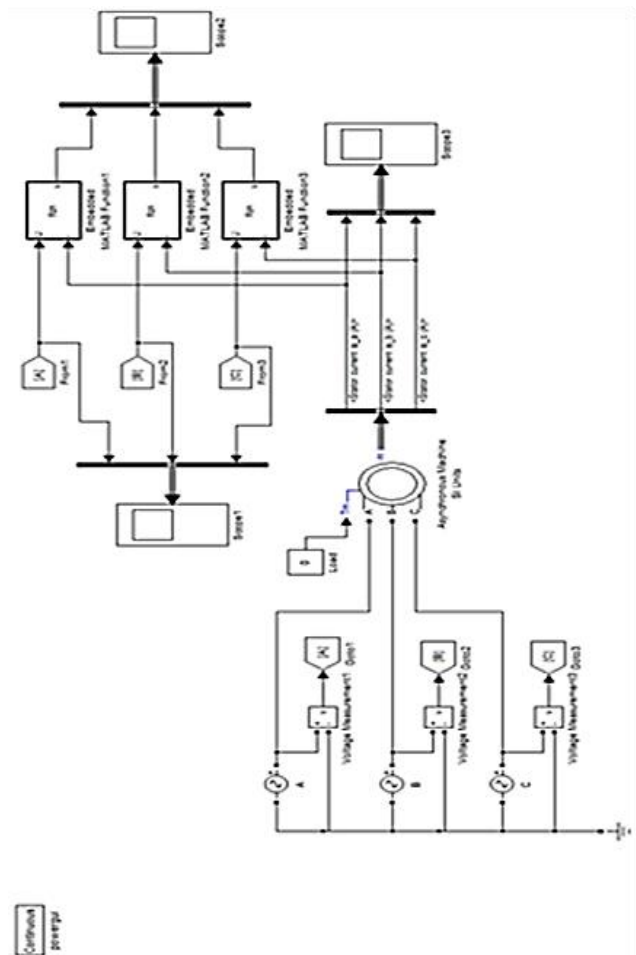
Ток ўзгарткичининг динамик тавсифларини тадқиқ этиш жараёнини соддалаштириш ҳамда натижаларни ишончлилигини таъминлаш мақсадида тадқиқот алгоритми (10-расм) ва модели (11-расм) яратилди.



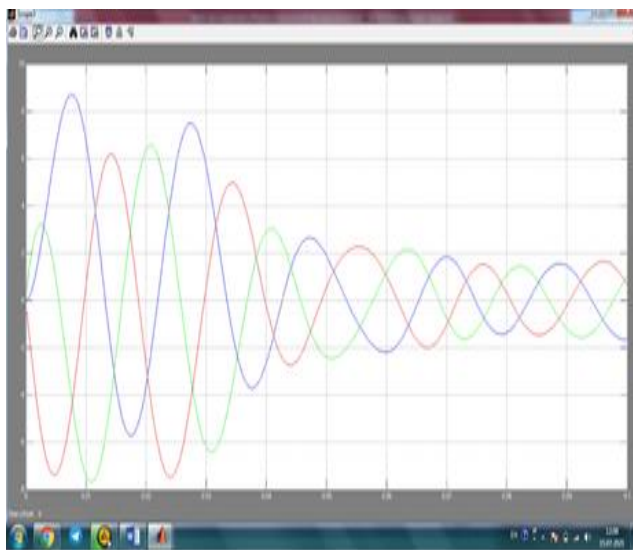


10-расм. Ток ўзгарткичи динамик тавсифларини тадқиқот алгоритми

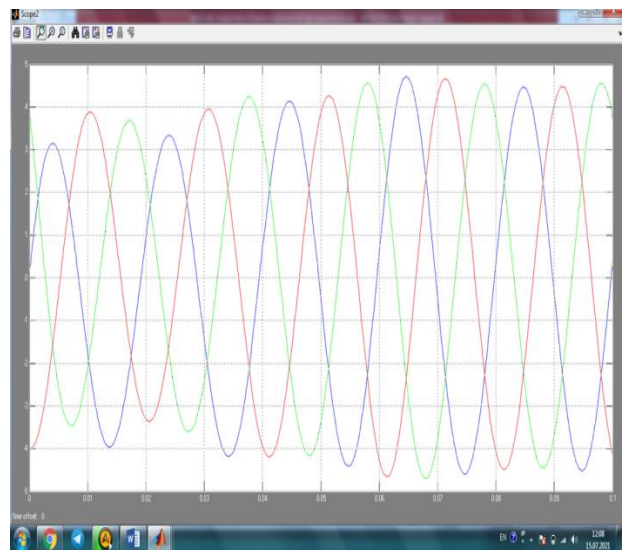
Matlab базасидаги тадқиқот модели асосида ток ўзгарткичи динамик тавсифларини реал иш ҳолатига яқин натижалари олинди (12,13-расмлар).



11-расм. Уч фазали ток ўзгарткичи динамик тавсифларини тадқиқот модели.



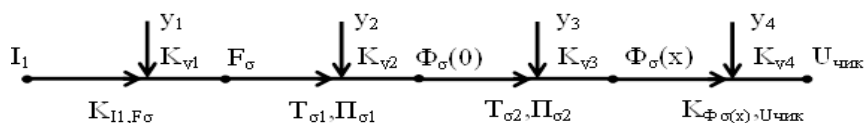
12-расм. Асинхрон моторни ишга тушиш даврида бирламчи тоқларининг вақт бўйича ўзгариши



13-расм. Ток ўзгарткичи сезгир элементлари чиқиш кучланишларини вақт бўйича ўзгариши



Асинхрон мотор бирламчи тоқларини кучланишларга ўзгарткичининг хатоликларини ўрганишда умумлаштирилган граф моделидан фойдаланилади (14-расм).



14-расм. Токни кучланишга ўзгарткичининг хатолик манбалари тадқиқ этишининг граф модели

Ток ўзгарткичининг кириш катталиги  $I_1$ ,  $F_{\sigma}$  графда берилган бўлиб, унда  $I_1$  статор тоқи  $F_{\sigma}$  магнит юритувчи кучга ўзгартирилади, бу  $K_{II, F_{\sigma}}$  занжирлараро боғланиш коэффициенти орқали ифодаланади.  $F_{\sigma}$ ,  $\Phi_{\sigma}(0)$  занжирида  $F_{\sigma}$  магнит юритувчи куч  $\Phi_{\sigma}(0)$  магнит оқимига ўзгартирилади, унинг  $T_{\sigma 1}$ ,  $\Pi_{\sigma 1}$  схематик функцияси занжирнинг тузилмасини акс эттиради.

Ток ўзгарткичи учун  $\Delta_{T\dot{y}}$  энтропияли хатолик куйидагига тенг бўлади:

$$\Delta_{T\dot{y}} = K_{\sigma} \cdot \sigma_{\Sigma} = 2,07 \cdot 0,173 = 0,36, \quad (4)$$

бу ерда  $K_{\sigma} = 2,07$  – ўзгарткич элементининг энтропияли коэффициенти;  $\sigma_{\Sigma}$  – элементнинг йиғинди ўртача квадратик хатолиги.

Тадқиқ қилинган уч фазали ток ўзгарткичи учун меъёрланган аниқлик синфи  $0,5$  яъни  $\pm 0,5\%$  ни ташкил этади.

Ток ўзгарткичи иш ҳолатини умумий ишончлилик кўрсаткичи ўзгарткич бўлақларини иш ҳолати ишончлиликлари асосида ҳисобланади:

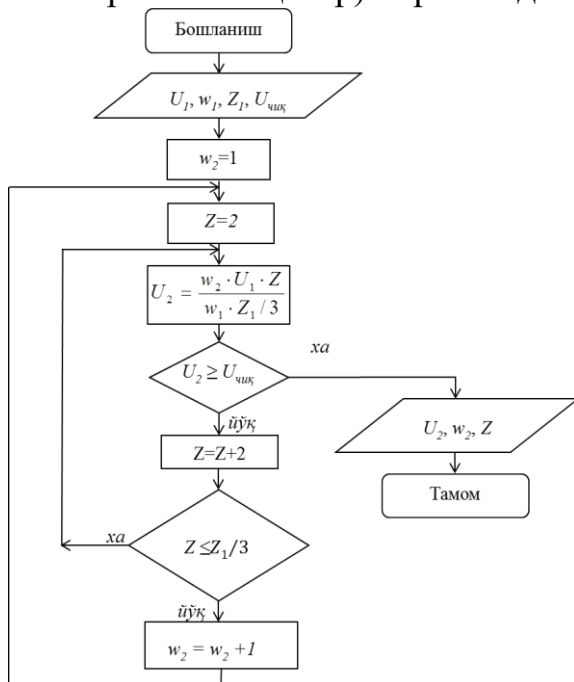
$$P_{ум.} = P_1 P_2 P_3 + P_1 P_2 (1 - P_3) + P_1 P_3 (1 - P_2) + P_2 P_3 (1 - P_1) + P_1 (1 - P_2) (1 - P_3) + P_2 (1 - P_1) (1 - P_3) + P_3 (1 - P_1) (1 - P_2) = 0,95.$$

Асинхрон мотор ток ўзгарткичининг иш ҳолатини умумий эҳтимоллиги  $P_{ум.} = 0,95$  га тенглиги аниқланди.

Диссертациянинг «Асинхрон мотор реактив қувватининг назорат ва бошқарувини уч фазали ток ўзгарткичини амалиётда қўллаш» деб номланган тўртинчи бобида асинхрон моторнинг уч фазали ток ўзгарткичини ишлаб чиқиш, сезгир элемент параметрларини ҳисоблаш ва танлаш мезони ҳамда алгоритми, ўзгарткичининг параметрик тадқиқи, сезгир элементлар чиқишидан кучланиш кўринишидаги сигнал олишининг амалий тадқиқот натижалари келтирилган.

Асинхрон моторнинг уч фазали статор тоқларини кучланишларга ўзгарткичини тадқиқ қилиш натижаларига кўра ўзгарткичининг асосий элементлари ва бўлақлари сифатида асинхрон мотор статор чулғамлари, статор магнит ўзаги ва ўлчов чулғамлари олинади. Бунда бирламчи тоқлар оқиб ўтувчи статор чулғамлари биринчи ўзгартириш элементи, статор чулғамларидан бирламчи тоқларни ўтиши натижасида магнит оқимларни ҳосил қилувчи магнит ўзак иккинчи ўзгартириш бўлаги ва бу оқимлар кесиб ўтиши натижасида чиқиш кучланишларини ҳосил қилувчи ўлчов чулғамлари учинчи ўзгартириш элементи ҳисобланади.

Ўлчов чулғамини сонини ва пазларда жойлашувини рационал танлаш ўзгарткичларга қўйилган талабларни (асосий чулғамлар ва статор пазлари сони, чиқиш сигнали чизиқлиги, аниқлиги, ўзгартириш параметри қийматлари ва бошқалар) киритишдан бошланади (15-расм).

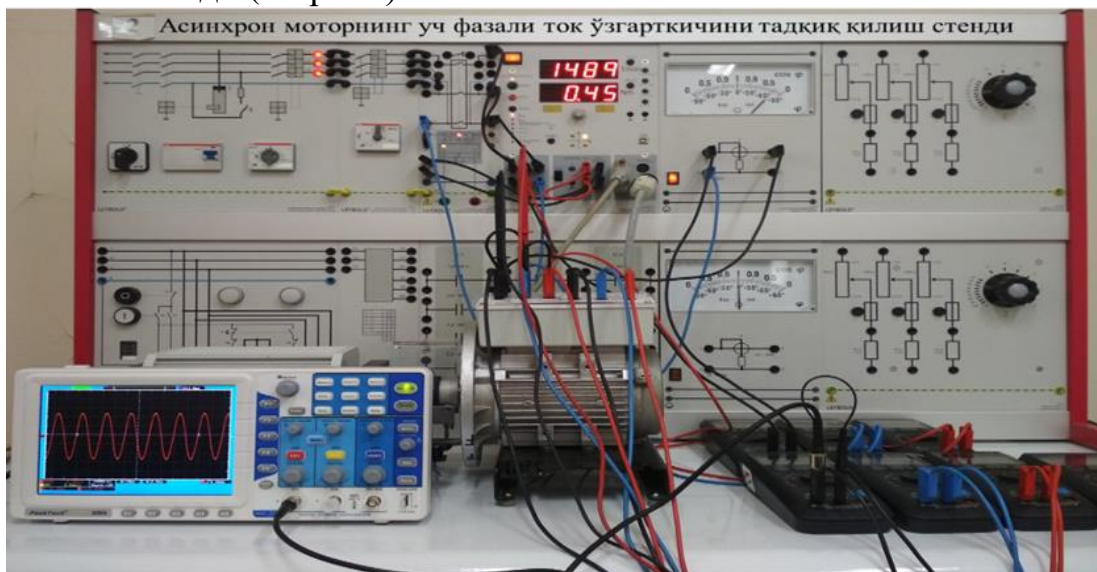


15-расм. Сезгир элементни ўрамлар сонини ва улар жойлашадиган статор пазлари сонини аниқлаш алгоритмининг блок-схемаси



16-расм. Статор пазларида уч фазали уч чулғамли ток ўзгарткичи жойлашган асинхрон мотор статор қисмини кўриниши

Эксплуатация шароитларига мос ҳолда тавсия қилинган ўлчов чулғами схемасини ва жойлашувини танлаш илмий-техник маълумотларни таҳлил қилишга асосланади (16-расм).



17-расм. Асинхрон моторнинг уч фазали ток ўзгарткичини тадқиқ қилиш станди

«Асинхрон моторнинг уч фазали ток ўзгарткичини тадқиқ қилиш стенди» кўриниши 17-расмда келтирилган.

Асинхрон моторнинг реактив қувватини назорат қилиш ва бошқариш тизимлари учун ток ўзгарткичининг тажриба модели ишлаб чиқилган. Ушбу ток ўзгарткичининг сезгир элементи сифатида олинган ўлчов чулғамлари ( $w_{\dot{y}}=2$ ) асинхрон моторнинг статор пазларида асосий статор чулғами ва паз поналари орасига жойлаштирилиб, кириш ва чиқиш учлари назорат ва бошқарув тизимига уланиши учун ташқарига чиқарилган ҳолда бўлади.

Тадқиқ этилган асинхрон моторнинг янги ва қайта ўралган ҳолатлари турли юкламаларда реактив қувват истеъмолини ўзгаришини амалий натижалари ва назарий ҳисоблаб топилган қийматлари графиги тадқиқ этилди (18-расм) ва энг катта қийматлари ўзаро таққосланди:

янги асинхрон мотор учун

$$\Delta Q' = \frac{Q_{\text{янги}} - Q_{\text{наз.}}}{Q_{\text{наз.}}} \cdot 100\% = \frac{156 - 149}{149} \cdot 100\% = 4,03\%$$

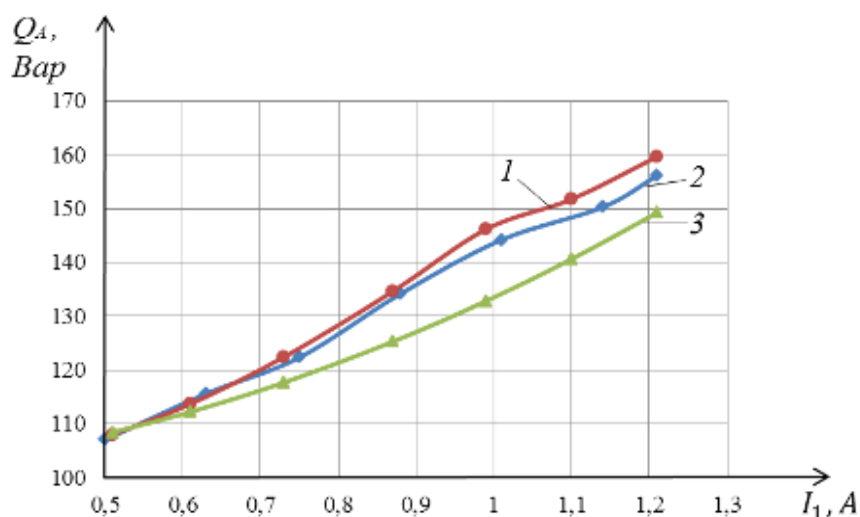
қайта ўралган асинхрон мотор учун

$$\Delta Q'' = \frac{Q_{\text{қайта}} - Q_{\text{наз.}}}{Q_{\text{наз.}}} \cdot 100\% = \frac{160 - 149}{149} \cdot 100\% = 7,38\%$$

ва асинхрон моторнинг янги ва қайта ўралган ҳолатидаги реактив қувват истеъмолининг амалий натижалари фарқи

$$\Delta Q''' = \frac{Q_{\text{қайта}} - Q_{\text{янги}}}{Q_{\text{янги}}} \cdot 100\% = \frac{160 - 156}{156} \cdot 100\% = 2,56\%$$

га тенг эканлиги аниқланди.



18-расм. Турли юкламаларда асинхрон моторнинг реактив қувватини ўзгариш графикалари: 1-статор чулғами қайта ўралган асинхрон мотор, 2-янги асинхрон мотор ва 3- реактив қуввати назарий ҳисоблаш орқали топилган асинхрон мотор

Асинхрон моторнинг статор чулғамлари қайта ўралгандан сўнг реактив қувват истеъмоли бошланғич эксплуатация қилинган ҳолатига нисбатан 2,56% га ортгани аниқланди.

Олиб борилган тадқиқотлар натижалари ишлаб чиқилган уч фазали ток ўзгарткичидан қайта ўралган асинхрон моторларнинг реактив қувватини назорат ва бошқарув тизимида сигнал-ўлчов элементи сифатида фойдаланиш ҳамда асинхрон моторнинг нормал ва нонормал иш ҳолатларини доимий баҳолаш имкониятини яратди.

## ХУЛОСА

«Асинхрон мотор реактив қувватининг назорат ва бошқарувини уч фазали ток ўзгарткичлари» мавзуси бўйича олиб борилган тадқиқотлар натижасида қуйидаги хулосалар тақдим этилади:

1. Ишлаб чиқилган ва тадқиқ этилган уч фазали токни кучланишга ўзгарткичи асинхрон моторлар реактив қувватини назорат қилиш ва бошқариш учун юқори аниқликда ва тезкорликда меъёрий сигналларни олиш имкониятини берган.

2. Асинхрон мотор статор чулғамларидан ўтаётган уч фазали токлари ҳосил қилган ўзаро таъсирлашувчи магнит оқимлар ва уларнинг ўзгаришларига мос келувчи уч фазали ток ўзгарткичи иккиламчи чулғамида кучланиш кўринишидаги сигналлар ҳосил қилиш тамойили яратилган.

3. Тадқиқотлар натижаси кўрсатдики, уч фазали асинхрон мотор электр энергия манбайига улангандан сўнг ўлчов чулғамлар чиқишида кучланиш кўринишидаги сигналлар 0,045-0,055 сония вақт оралиғида ўзининг турғун ҳолатига эришди. Ушбу қиймат уч фазали бирламчи реактив токларни иккиламчи кучланиш кўринишидаги чиқиш сигналига ўзгарткичнинг юқори тезликда иккиламчи сигнални ҳосил қила олиш кўрсаткичини белгилади.

4. Асинхрон мотор реактив қувватини назорат ва бошқарув тизимлари учун яратилган уч фазали ток ўзгарткичининг сезгир элементларини статор пазларида асосий чулғам ва паз понаси орасига жойлаштириш ва иккиламчи ўлчов чулғам ўрамлар сонини  $w_2=1-4$  га тенг қилиб бажариш чиқиш кучланишини меъёрий қийматини (5 В гача) ва чизиқлилик мезонини таъминлади.

5. Назарий ва амалий тадқиқотлар натижаларига асосан қайта ўралган асинхрон мотор янгисига нисбатан 2,56 % га кўпроқ реактив қувват истеъмол қилиши аниқланди.

6. Асинхрон мотор реактив қувватининг назорат ва бошқарув тизимлари учун токни кучланишга ўзгарткичи тадқиқининг тажриба ва “булутли ҳисоблаш” моделлари ҳамда дастурий воситаларини амалиётда қўлланилиши кўшимча электр энергияси исрофларини 5 % гача камайишига ва кутилаётган йиллик иқтисодий самарадорлик 112 млн. сўмни ташкил этишига олиб келган.

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

---

**АНДИЖАНСКИЙ МАШИНОСТРОИТЕЛЬНЫЙ ИНСТИТУТ**

**МАХСУДОВ МОХИРБЕК ТОЛИБЖОНОВИЧ**

**ТРЕХФАЗНЫЕ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛИ ТОКА ДЛЯ КОНТРОЛЯ И  
УПРАВЛЕНИЯ РЕАКТИВНОЙ МОЩНОСТЬЮ АСИНХРОННОГО  
ДВИГАТЕЛЯ**

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

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

**Андижан – 2021**



Тема диссертации доктора философии (PhD) зарегистрирована в Высшей аттестационной комиссии при Кабинете Министров Республики Узбекистан за B2021.4.PhD/T1451.

Диссертация выполнена в Андижанском машиностроительном институте.

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.ziyo.net](http://www.ziyo.net)).

Научный руководитель:

Сиддиков Илхомжон Хакимович  
доктор технических наук, профессор

Официальные оппоненты:

Улжаев Эркин  
доктор технических наук, профессор

Рахмонов Икромжон Усмонович  
PhD по техническим наукам, доцент

Ведущая организация:

Навоийский государственный горный институт

Защита диссертации состоится «15» 01 2022 г. в 12 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 (регистрационный номер - 237). (Адрес: 100095, г. Ташкент, ул. Университетская, 2. Тел.: (99871) 207-14-70).

Автореферат диссертации разослан «27» 12 2021 года.  
(протокол реестра № 23 от «7» 12 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,  
PhD по техническим наукам, доцент

**Ж.У. Севинов**

Заместитель председателя научного семинара  
при Научном совете по присуждению ученых степеней,  
д.т.н., доцент

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

**Актуальность и востребованность темы диссертации.** В мире ведутся обширные научные исследования по совершенствованию элементов и устройств контроля и управления при обеспечении потребителей качественной и бесперебойной электрической энергии. В частности, расширение возможностей системы контроля и управления реактивной мощностью в асинхронных двигателях, одними из наиболее распространенных потребителей электроэнергии, является одной из актуальных задач. И эти возможности объясняются такими показателями, как высокая точность, быстродействие, надежность и чувствительность элементов и устройств замены сигналов, качество и непрерывность сигналов, которые они обеспечивают. В развитых государствах научные исследования по данной проблеме и их применение на практике считаются первоочередными задачами.

В мире проводится ряд научно-исследовательских работ по совершенствованию элементов и устройств системы контроля и управления реактивной мощности асинхронного двигателя. В этих исследованиях основной задачей является обеспечение соответствующими сигналами систем контроля и управления реактивной мощностью асинхронных двигателей. Для достижения этой цели существенное значение уделяется контролю, планированию производства и потреблению электроэнергии, моделированию процессов на разных преобразователях и в их составных структурах на основе рациональных алгоритмов. При разработке средств контроля величины и параметров реактивной мощности асинхронного двигателя широко используются цифровые технологии. Также актуальными вопросами считаются разработка и создание элементов и средств, обеспечивающих процесс моделирования, и на их основе разработка новых структур и создание преобразовательных установок.

В нашей республике выполняются целевые широкомасштабные мероприятия по развитию обеспечения элементами и устройствами систем контроля и управления реактивной мощностью асинхронных двигателей, а также их внедрения в практику. В Стратегии действий по дальнейшему развитию Республики Узбекистан в 2017-2021 годах поставлены задачи, в том числе «в структурах экономики, социальной области, системах управления, внедрение информационно-коммуникационных технологий, в экономике уменьшать расходы энергетики и ресурсов, широкое внедрение энергосберегающих технологий в производство»<sup>1</sup>. Выполнение указанных задач, в том числе производство измерительно-преобразовательных элементов реактивной мощности асинхронных двигателей и применение их на практике является одной из важных задач.

Данное диссертационное исследование определенной степени служит выполнению задач, поставленных в Указе Президента Республики

---

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

Узбекистан УП-4947 от 7 февраля 2017 года «О стратегии движений по развитию Республики Узбекистан», Постановлениях Президента Республики Узбекистан ПП-3238 от 23 августа 2017 года «О мероприятиях более глубокого внедрения современных энергоэффективных и энергосберегающих технологий», ПП-2343 от 5 мая 2015 года «О программе мероприятий сокращения энергоёмкостей в сетях экономики и в социальной сфере в 2015-2019 годах, внедрения энергосберегающих технологий и систем», ПП-3012 «О программе глубокого развития возобновляемой энергетики, сетей экономики и социальной сферы 2017-2021 годах», ПП-4422 от 22 августа 2019 года «О ускоренных мероприятиях повышении энергетической эффективности систем экономики и социальной сферы, внедрения энергосберегающих технологий и развития возобновляемых источников», а также в других нормативно-правовых документах, принятых в данной сфере.

**Соответствие исследования приоритетным направлениям развития науки и технологий республики.** Настоящее исследование выполнено в рамках приоритетных направлений развития науки и технологий в республике II.«Энергетика, энергия и ресурсосбережение» и IV.«Развитие информационных и информационно-коммуникационных технологий».

**Степень изученности проблемы.** Принципы реализации процессов контроля и управления реактивной мощностью асинхронного двигателя, преобразование электрических, магнитных и других параметров, контролирование и изменение на соответствующей основе физических величин и данных первичных электромагнитных преобразователей требуют элементов передачи, обработки и регистрации для преобразования в удобном виде (в электрический сигнал). Поэтому для обеспечения асинхронных двигателей непрерывной и надёжной энергией ведутся широкомасштабные работы по исследованию преобразователей, создающих сигналы в виде напряжения, соответствующего значению токов.

В этом направлении вели научные исследования известные зарубежные учёные Н.Schaumburg<sup>2</sup>, N.M.Tabatabaei<sup>3</sup>, Е.П.Осадчий<sup>4</sup>, Н.Е.Конюхов<sup>5</sup>, М.А.Ураксеев<sup>6</sup>, Ю.А.Андреев<sup>7</sup>, а также известные ученые нашей республики–Н.Р.Юсупбеков<sup>8</sup>, М.Ф.Зарипов<sup>9</sup>, Х.Г.Каримов<sup>10</sup>, С.Ф.Амиров<sup>11</sup>,

<sup>2</sup> Schaumburg H. Werkstoffe und Bauelemente der Elektrotechnik. Sensor-anwendungen. Stuttgart: B.G. Teubner, 2012.– 420 p.

<sup>3</sup> Naser Mahdavi Tabatabaei, Ali Jafari Aghbolaghi, Nicu Bizon, Frede Blaabjerg. Reactive Power Control in AC Power Systems: Fundamentals and Current Issues//Springer,– 2017:634 p.

<sup>4</sup> Осадчий Е.П., Тихонов А.И., Карпов В.И. и др. Проектирования датчиков для измерения механических величин –М.:Машиностроение, 1979.–480 с.

<sup>5</sup> Н.Е. Конюхов, А.А. Плют, П.И. Марков. Оптоэлектронные контрольно-измерительные устройства. Москва: Энергоатомиздат, 1985. –152 с.

<sup>6</sup> Ураксеев М.А., Марченко Д.А., Марченко Р.А. Магнитооптические эффекты и датчики на их основе // Датчики и системы. – №1. –М.: 2001.– С. 60-63.

<sup>7</sup> Андреев Ю.А., Абрамзон Г.В.Преобразователи тока для измерений без разрывов цепи. Энергия,1979.-144с.

<sup>8</sup> Юсупбеков Н.Р., Алиев Р.А., Алиев Р.Р., Юсупбеков А.Н."Бошқаришнинг интеллектуал тизимлари ва қарор қабул қилиш". Давлат илмий нашриёти "Ўзбекистон миллий энциклопедияси" Тошкент - 2015 й.

<sup>9</sup> Зарипов М.Ф., Петрова И.Ю. Энергоинформационный метод анализа и синтеза чувствительных элементов систем управления // Датчики и системы. 1999. № 5. –С.10-16.

<sup>10</sup> Каримов Х.Г., Бобожанов М.К. Новые полюсо-переключаемые обмотки // Электричество. 1996. № 1.-26 с.

<sup>11</sup> Амиров С.Ф., Хушбоков Б.Х., Балгаев Н.Е. Многодиапазонные трансформаторы тока // Электротехника. – М.: 2009. – №2. – С. 61-64.



А.М.Плахтиев<sup>12</sup>, И.Х.Сиддиков<sup>13</sup> и их научные работы направлены на решение упомянутых проблем и вопросов.

Анализ показал, что применение современных технологий в системах контроля и управления реактивной мощностью асинхронных двигателей, получение выходных сигналов, которые являются нормой для контроля и управления, исследование преобразователей, позволяющих оценивать потребление реактивной мощности, моделирование и алгоритм процессов изменения сигналов, разработка и внедрение рациональных преобразователей тока за счет технических возможностей асинхронных двигателей изучены не достаточно.

**Связь диссертационного исследования с планами исследовательских работ вуза, в котором была выполнена диссертация.** Диссертационное исследование выполнено в рамках научно-исследовательских проектов АКТ-А-2021-3 «Разработка и создание опытного образца симуляционного (имитационного) стенда и программного обеспечения для исследования выходных параметров энергосистемы на основе возобновляемых источников энергии» (2021-2023 г.), ИОТ 2013-2-28 «Внедрение на промышленных предприятиях автоматических регуляторов энергосберегающих источников реактивных мощностей» (2013-2015 г.) научно-инновационного центра информационно-коммуникационных технологий при Ташкентском университете информационных технологий.

**Целью исследования** является разработка моделей трёхфазного преобразователя тока для контроля и управления реактивной мощностью асинхронного двигателя, их исследование и применение на практике.

**Задачи исследования:**

анализ строения преобразователей первичного тока, контроля и управления реактивной мощностью, потребляемой асинхронным двигателем, происходящих в них процессов и структур физико-технических эффектов;

выбор и обоснование видов трёхфазных преобразователей токов по контролю и управлению реактивной мощностью, потребляемой асинхронным двигателем;

создание модельной структуры электромагнитного преобразователя, обеспечивающего создание выходного сигнала в виде вторичного напряжения на основе взаимодействия магнитных потоков с реактивными токами асинхронного двигателя;

создание модели, алгоритма и программного обеспечения для исследования статических, динамических и метрологических характеристик электромагнитных преобразователей тока для контроля и системы управления реактивной мощностью асинхронных двигателей;

---

<sup>12</sup> Плахтиев А.М. Измерительные преобразователи с распределенными параметрами (Монография) – Ташкент: Фан, 1987.–104 с.

<sup>13</sup> Сиддиков И.Х., Анарбоев М.А., Ахмедов Т.Б. Моделирование и исследование электромагнитных преобразователей тока систем автоматического регулирования источников реактивной мощности // Энергия ва ресурс тежаш муаммолари // Илмий журнал. Тошкент 2011 йил №3-4-сон 36 б.

исследование надёжности и рабочих показателей преобразователя тока для контроля и системы управления реактивной мощностью асинхронного двигателя;

создание модели и программного обеспечения, на основе «облачных вычислений» электромагнитных преобразователей трёхфазных токов для контроля и системы управления реактивной мощностью асинхронного двигателя и применения их на практике.

**Объектом исследования** выбраны электромагнитные трёхфазные преобразователи токов контроля и управления реактивной мощностью асинхронных двигателей.

**Предмет исследований** составляют процессы преобразования сигналов на электромагнитных трёхфазных преобразователях токов контроля и управления реактивной мощностью асинхронных двигателей.

**Методы исследования.** В исследованиях использованы расчёт величин и параметров электрических и магнитных цепей, теория погрешностей, образования графов, сигналов, цифровая обработка и передача, проектирование и моделирование электромагнитных преобразователей.

**Научная новизна исследования** заключается в следующем:

впервые разработана модель структуры электромагнитного преобразователя трёхфазных реактивных токов, размещенного в пазах статора асинхронных двигателей;

получены аналитические выражения статических и динамических характеристик нового электромагнитного преобразователя трёхфазных реактивных токов асинхронных двигателей;

созданы модель и алгоритм определения рационального числа измерительной обмотки трёхфазного преобразователя тока и расположения в пазах;

созданы модель «облачных вычислений» и алгоритмы электромагнитного преобразователя трёхфазных токов реактивной мощности асинхронных двигателей, которые внедрены в практику.

**Практические результаты исследований** составляют следующие:

разработана опытная модель преобразователя первичных токов нагрузки на сигналы в виде напряжения на основе требований контроля и управления реактивной мощностью асинхронных двигателей;

создание программного обеспечения исследований характеристик электромагнитного преобразователя тока асинхронных двигателей дает возможность повысить точность статической и динамической характеристик;

преобразователи значений первичных токов нагрузки на сигналы преобразователей вторичных напряжений, контроля и управления реактивной мощностью асинхронного двигателя обеспечили возможность нормирования количества выходного напряжения, линейность и высокую точность;

на основе интернет-технологий обеспечена возможность получения сведений в реальном времени о мощности и энергии компенсируемой

реактивной мощности и расчёт необходимых характеристик асинхронных двигателей;

создано программное обеспечение исследования рациональных параметров преобразователя тока по контролю и управлению реактивной мощностью асинхронного двигателя.

**Достоверность результатов исследования.** Принцип построения электромагнитных преобразователей токов асинхронных двигателей для контроля и управления был пояснен моделями исследований, статическими, динамическими, метрологическими и техническими характеристиками и сравнением с основанными на общепринятых критериях.

**Научная и практическая значимость результатов исследования.**

Научное значение результатов исследований - система контроля и управления реактивной мощностью асинхронных двигателей, преобразователи первичного тока на сигнал в виде вторичного напряжения, нормированность, линейность и высокая точность значений напряжения на основе их моделей и алгоритмов, обеспечивающих напряжение.

Практическое значение результатов исследований и применение их в энергетике – расширение изменения показателей по угловым значениям и величин токов контроля и управления реактивной мощностью асинхронных двигателей, обеспечение нормированными выходными сигналами, а также разработанная модель трёхфазного электромагнитного параметрического преобразователя.

**Внедрение результатов исследования.** На основе полученных результатов по электромагнитному преобразователю реактивных токов в напряжении для систем контроля и управления реактивной мощностью асинхронных двигателей:

трехфазный преобразователь тока и программные средства, разработанные для контроля и управления реактивной мощностью асинхронного двигателя, внедрены в АО «Андижанское предприятие территориальных электрических сетей» (Справка министерства Энергетики № 05-13-1430 – от 3 марта 2021 г.). В результате дополнительные потери активной и реактивной энергии при передаче электроэнергии сократились до 5%;

экспериментальная модель трехфазного преобразователя тока, размещенного на пазах статора асинхронного двигателя, и программный инструмент, обеспечивающий оперативность и точность получения результатов, внедрены в ООО «RASH MILK» (Справка министерства Энергетики № 05-13-1430 – от 3 марта 2021 г.). В результате, за счет повышения точности расчета реактивной мощности асинхронных двигателей и рационального контроля и управления ожидаемый годовой эффект составит 97 млн.сум;

разработанная модель "облачные вычисления" трехфазного преобразователя тока и программное средство внедрены в ЧП «Mashinastroitel Andijon» (Справка министерства Энергетики № 05-13-1430 – от 3 марта 2021 г.). В результате, за счет получения в режиме реального

времени информации о компенсируемой реактивной мощности асинхронных двигателей и обеспечения системы управления нормированным сигналом, ожидаемая годовая эффективность составит 15 млн.сум.

**Апробация результатов исследования.** Основные результаты исследования апробированы и обсуждены на 6 международных, 2 республиканских научно-практических конференциях и на научных семинарах.

**Опубликованность результатов исследования.** По теме исследований всего опубликовано 23 научных работ, из них 9 статей в журналах, рекомендованных Высшей аттестационной комиссией Республики Узбекистан, в том числе 4 – в зарубежных журналах. Получены 4 свидетельства на созданную программу для ЭВМ от Агентства интеллектуальной собственности Республики Узбекистан.

**Структура и объём диссертации.** Диссертация написана на узбекском языке и состоит 110 страниц, а также введения, четырех глав, заключения, списка использованной литературы и приложений.

## ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ ДИССЕРТАЦИИ

В **введении** обоснованы актуальность и необходимость научных исследований, цели и задачи, охарактеризованы объект и предмет исследования, показано соответствие развития науки и технологий приоритетным направлениям, описаны научная новизна и практические результаты, раскрыты научные и практические значения работы, приведены сведения по внедрению результатов исследований в практику, опубликованны труды и информация о структуре диссертации.

В первой главе диссертации «**Преобразователи тока контроля и управление реактивной мощностью асинхронного двигателя**» проанализирована важность реактивной мощности, величины и особенности асинхронных двигателей. Рассмотрены показатели альтернативных источников реактивной мощности, способы, устройства и элементы компенсации реактивной мощности асинхронных двигателей. Также проанализированы контроль и управление реактивной мощностью асинхронного двигателя, принципы преобразования информации величин трёхфазных токов нагрузки на величину в виде вторичного напряжения, преобразователи сигналов систем контроля и управления, основы устройства преобразователя вторичного напряжения трёхфазных первичных токов, что и составляет цели и задачи диссертационной работы.

Реактивная мощность, потребляемая контролируемым и управляемым асинхронным двигателем, при включении системы электроснабжения, использовалась однофазными, трёхфазными или чувствительными элементами трёхфазного преобразователя тока (рис.1).

Во время исследования процесса потребления реактивной мощности асинхронным двигателем составлена схема замещения и получены рабочие характеристики на основании аналитических выражений (рис.2).

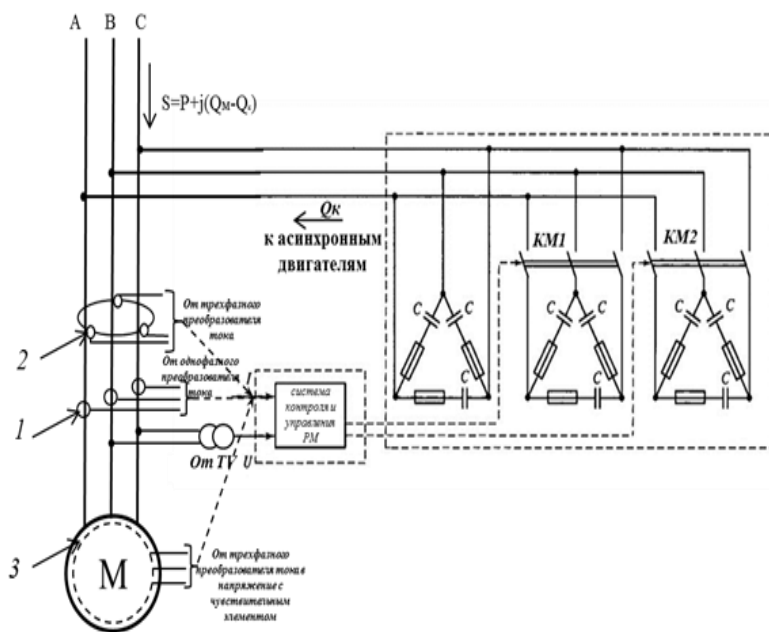


Рис.1. Схема контроля реактивной мощности и управления конденсаторами:  
 1-однофазный преобразователь тока; 2-трёхфазный преобразователь; 3-трёхфазный преобразователь тока в напряжение с чувствительным элементом; TV - трансформатор напряжения; КМ1, КМ2-магнитные пускатели.

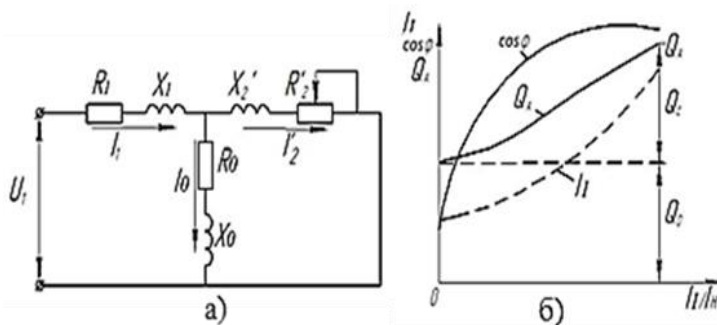


Рис.2. Схема замещения асинхронного двигателя (а) и его рабочая характеристика (б).

Схема замещения рабочей характеристики асинхронного двигателя дала возможность выразить потребляемую реактивную мощность по нижеследующему выражению:

$$Q_A = \frac{P \operatorname{tg} \varphi}{\eta} = \frac{P_{\text{ном}}}{\eta_{\text{ном}}} \left( \frac{I_0}{I_{\text{ном}} \cos \varphi_{\text{ном}}} + \beta^2 \cdot \left( \operatorname{tg} \varphi_{\text{ном}} - \frac{I_0}{I_{\text{ном}} \cos \varphi_{\text{ном}}} \right) \right), \quad (1)$$

где  $P$ ,  $I_{\text{ном}}$ ,  $I_1$  и  $I_0$ ,  $\operatorname{tg} \varphi_{\text{ном}}$  и  $\operatorname{tg} \varphi$ ,  $\cos \varphi_{\text{ном}}$ ,  $\beta$  и  $\eta$  – соответственно, рабочая активная мощность, потребляемые двигателем номинальный, рабочий и ток холостого хода, номинальная и рабочая реактивная мощности, активная мощность, коэффициенты нагрузки и полезного действия.

На основании анализа можно заключить, что потребляемая реактивная мощность асинхронного двигателя зависит от его нагрузки в рабочем состоянии, что объясняется изменением магнитного потока рассеяния в части статора.

Предварительный анализ первичных преобразователей тока асинхронных двигателей и сравнительная оценка их возможностей показывают, что для контроля и управления реактивной мощности асинхронного двигателя наличие магнитной системы статора, простота размещения чувствительных элементов, с высокой надёжностью и экономичностью, самыми перспективными являются преобразователи сигналов первичных трёхфазных токов статора на сигналы в виде напряжения.

Во второй главе диссертации «**Моделирование преобразователя тока контроля и управление реактивной мощностью асинхронного двигателя**» исследованы процессы преобразования сигнала электромагнитного преобразователя трехфазных первичных токов во вторичные выходные напряжения для систем контроля и управления реактивной мощностью асинхронного двигателя, а также модели и алгоритмы исследования участков преобразования, возможности модели «облачных вычислений», структуры преобразователя и принципы физико-технических эффектов преобразования сигнала.

Разработана графовая модель (рис.3) формирования переменного выходного напряжения в трехфазных трехчувствительных элементных преобразователях тока для контроля и управления реактивной мощностью асинхронного двигателя.

Протекание первичных токов по обмоткам статора асинхронного двигателя создает  $F_{\sigma}$ - магнитные движущие силы и  $\Phi_{\sigma}$ -магнитные потоки, а вторичное выходное напряжение образуется в результате прохождения этих магнитных потоков по чувствительным обмоткам.

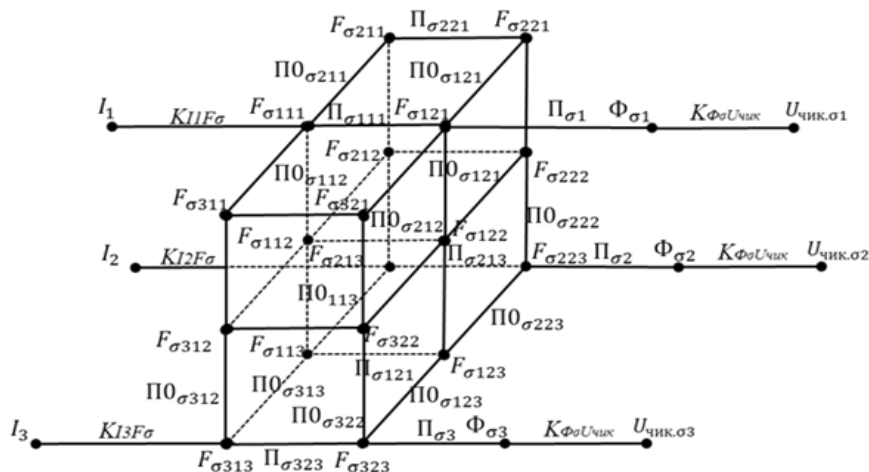


Рис. 3. Графовая модель электромагнитного преобразователя трехфазного тока в напряжение асинхронного двигателя

На основе графовой модели разработано аналитическое выражение зависимости магнитных движущих сил в узлах статорной части от магнитных потоков:

$$\begin{cases} \frac{F_{\sigma 111} - F_{\sigma 121}}{\Pi_{\sigma 111}} + \frac{F_{\sigma 111} - F_{\sigma 211}}{\Pi_{\sigma 211}} + \frac{F_{\sigma 111} - F_{\sigma 112}}{\Pi_{\sigma 112}} = K_{I_1 F_{\sigma}} I_1 / \Pi_{\sigma 1}; \\ \frac{F_{\sigma 213} - F_{\sigma 223}}{\Pi_{\sigma 213}} + \frac{F_{\sigma 213} - F_{\sigma 212}}{\Pi_{\sigma 212}} + \frac{F_{\sigma 213} - F_{\sigma 113}}{\Pi_{\sigma 113}} = K_{I_2 F_{\sigma}} I_2 / \Pi_{\sigma 2}; \\ \frac{F_{\sigma 313} - F_{\sigma 323}}{\Pi_{\sigma 323}} + \frac{F_{\sigma 313} - F_{\sigma 113}}{\Pi_{\sigma 313}} + \frac{F_{\sigma 313} - F_{\sigma 312}}{\Pi_{\sigma 312}} = K_{I_3 F_{\sigma}} I_3 / \Pi_{\sigma 3}. \end{cases} \quad (2)$$

Принцип построения разработанного преобразователя тока в напряжение состоит из сердечника статора 1, пазов статора 2, основных 3 и дополнительных 4 обмоток и пазовых клиньев 5 (рис. 4, 5). Дополнительные обмотки размещены в направлении магнитного потока рассеяния в пазах статора. Эти магнитные потоки генерируют сигналы в виде напряжения на выходах чувствительных элементов.

При расположении преобразователя тока в напряжение в пазах статора асинхронного двигателя обеспечивается перпендикулярное пересечение магнитных потоков с чувствительным элементом.

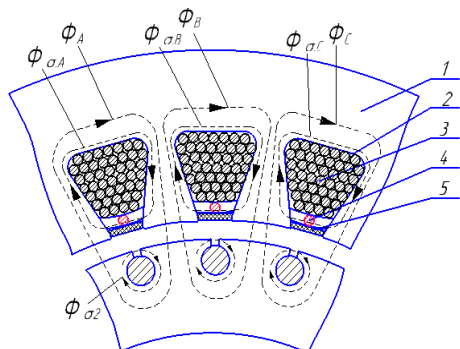


Рис. 4. Расположение измерительной обмотки преобразователя тока в напряжение в пазах статора асинхронного двигателя и вид магнитных потоков: 1- магнитный сердечник статора, 2-пазы статора, 3- основная обмотка статора, 4-измерительная обмотка, 5- клинья пазов

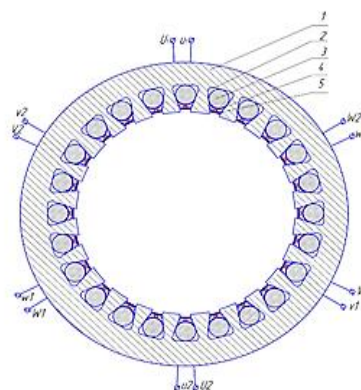


Рис. 5. Общий вид статорной части трехфазного асинхронного двигателя с измерительными обмотками:  $U1-U2$ ,  $V1-V2$ ,  $W1-W2$  – концы трёхфазных статорных обмоток,  $u1-u2$ ,  $v1-v2$ ,  $w1-w2$  – трёхфазные измерительные обмотки

Схема размещения измерительных обмоток в качестве чувствительного элемента в пазах статора выполняется так же, как и схема основных обмоток статора (рис.6).

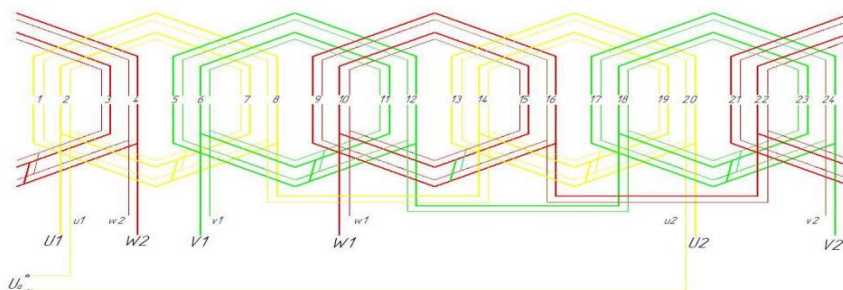


Рис. 6. Схема развертки измерительных и основных обмоток статора: 1-24 число пазов статора,  $U_a$  – выходное напряжение измерительной обмотки асинхронного двигателя, соответствующее фазе А

В результате исследований расширена возможность получения на выходе чувствительных элементов трехфазного преобразователя тока сигналов в виде напряжений до 5 В для систем управления и контроля реактивной мощности.

В третьей главе диссертации «Характеристики асинхронного двигателя для преобразования трехфазных токов во вторичные напряжения» приведены статические, динамические и метрологические характеристики, алгоритмы и модели исследований электромагнитного преобразователя тока асинхронного двигателя трехфазного преобразователя токов статора в сигналы в виде напряжений, а также результаты исследования показателей надежности элементов преобразователя.



Разработан алгоритм исследования статических характеристик трехфазного преобразователя тока (рис. 7) и модель “облачные вычисления” (рис. 8) для системы контроля и управления реактивной мощности асинхронного двигателя.

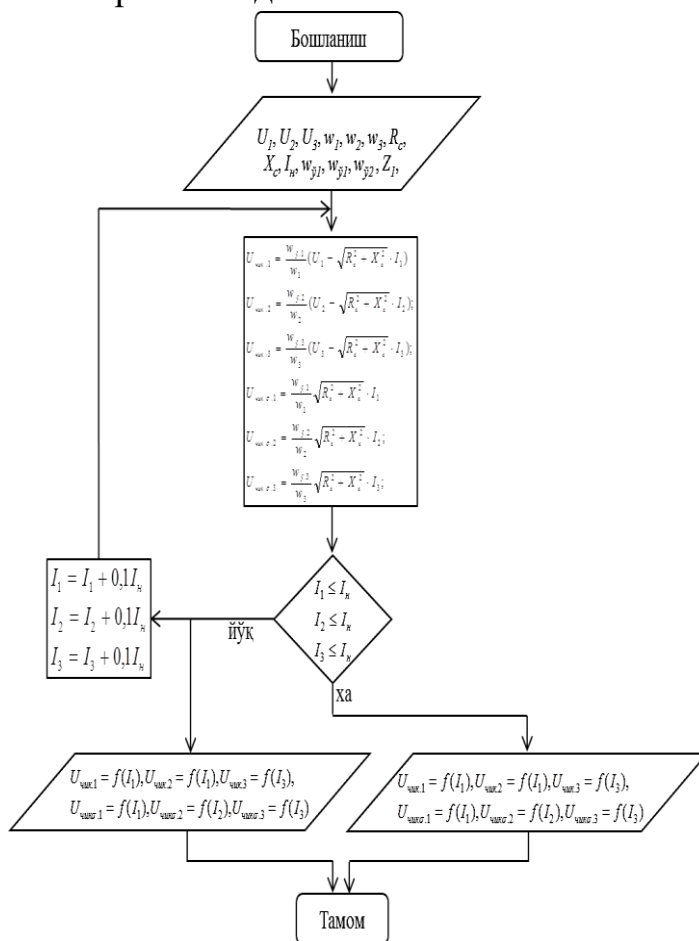


Рис. 7. Алгоритм исследования статических характеристик преобразователя тока

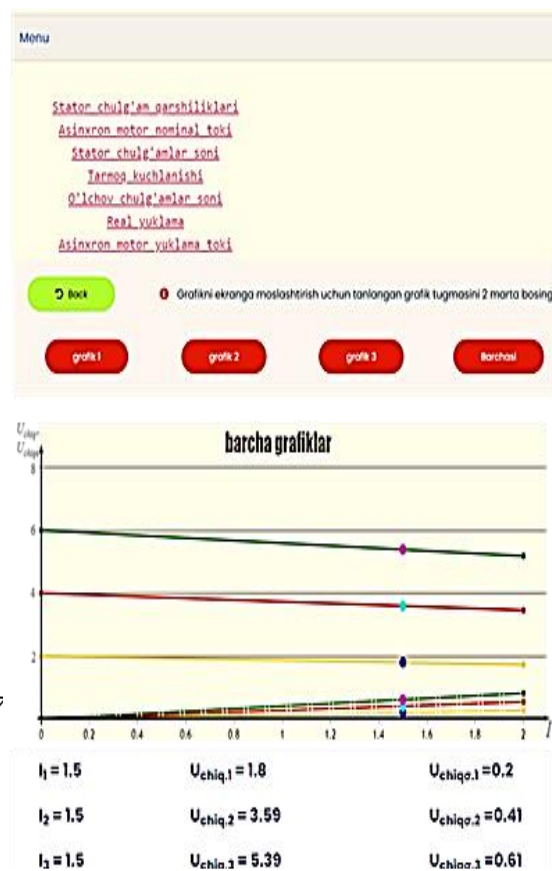


Рис. 8. Результаты преобразователя тока на основе модели “облачные вычисления”

Этот алгоритм исследования и модель “облачные вычисления” статических характеристик трехфазного преобразователя тока асинхронного двигателя являются основными средствами при исследовании процессов преобразования сигнала и получении выходного сигнала нормированного значения для систем управления и контроля. Данный алгоритм исследования и модель “облачные вычисления” позволяют дистанционно изучать процесс преобразования трехфазных первичных токов во вторичные напряжения, получать характеристики и анализировать результаты [DGU 11502, 18.06.2021 г.].

Определена взаимная адекватность результатов теоретического и практического исследования выходных сигналов чувствительных элементов преобразователя тока, расположенного в статорных пазах трёхфазного асинхронного двигателя (рис. 9).

Исследование динамических характеристик преобразователя тока является важным, оно показывает зависимость значений токов статора,



параметров измерительных элементов, внешних воздействий, электрических и магнитных величин асинхронного двигателя и других воздействий от изменения выходных сигналов в виде напряжения во времени.

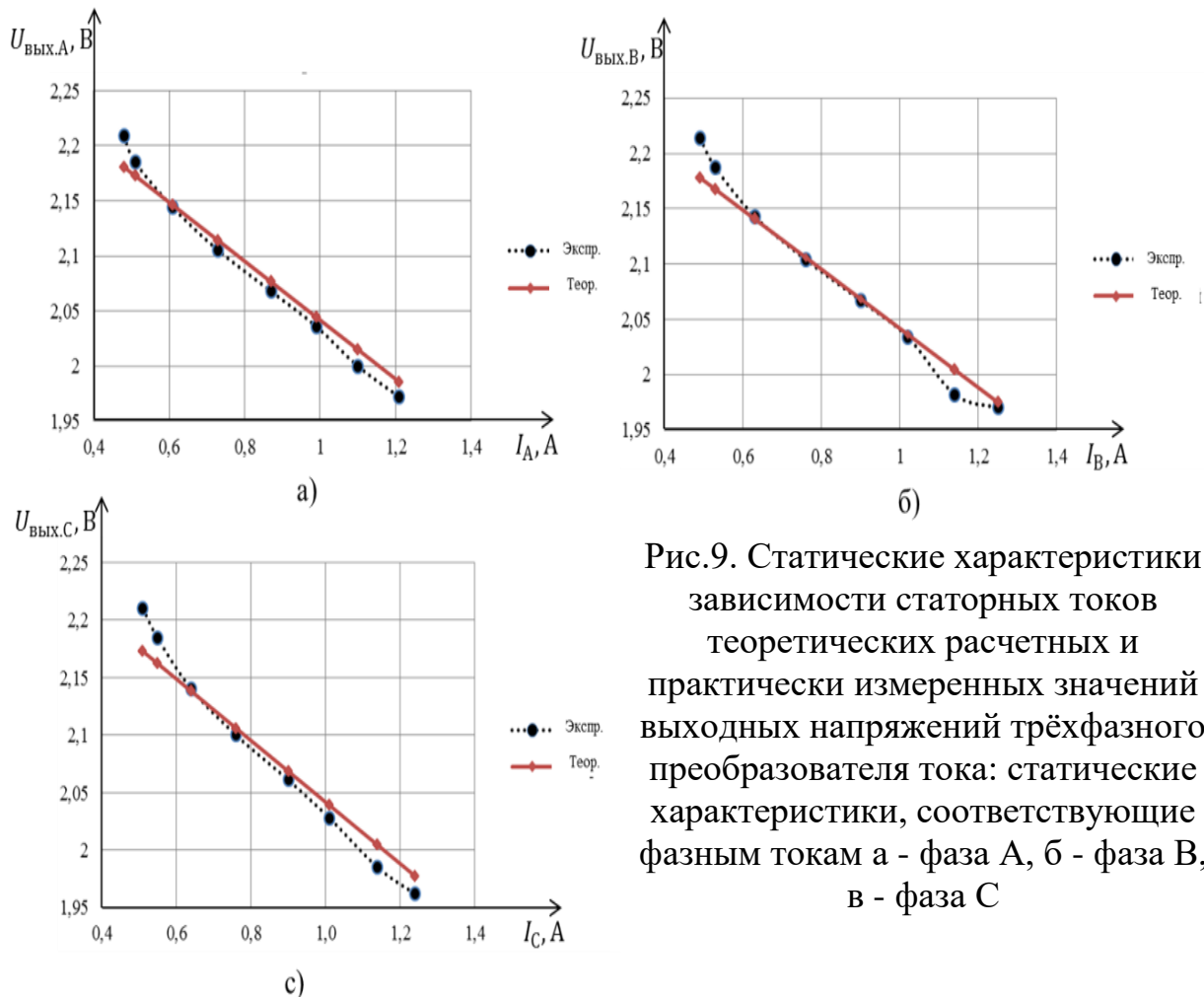


Рис.9. Статические характеристики зависимости статорных токов теоретических расчетных и практически измеренных значений выходных напряжений трёхфазного преобразователя тока: статические характеристики, соответствующие фазным токам а - фаза А, б - фаза В, в - фаза С

Аналитическое выражение динамических характеристик выходного напряжения трехфазного преобразователя тока асинхронного двигателя сформировано на основе переходных процессов в статорной части:

$$\left\{ \begin{array}{l} U_{\text{вых.1}} = K_{\phi_1 U_{\text{вых}}} \left( \begin{array}{l} \Pi_{\mu_1} \cdot W(F_{111}, F_{121}) \cdot K_{U_1 F_0} \cdot U_1 \sin \omega t - \\ - \Pi_{\sigma_1} \cdot W(F_{\sigma 111}, F_{\sigma 121}) K_{I_1 F_{\sigma}} \cdot (I_{1np.} \sin \omega t + I_{1анп.} e^{-\frac{t}{T}}) \end{array} \right); \\ U_{\text{вых.2}} = K_{\phi_2 U_{\text{вых}}} \left( \begin{array}{l} \Pi_{\mu_2} \cdot W(F_{213}, F_{223}) \cdot K_{U_2 F_0} \cdot U_2 \sin(\omega t + 120^0) - \\ - \Pi_{\sigma_2} \cdot W(F_{\sigma 213}, F_{\sigma 223}) \cdot K_{I_2 F_{\sigma}} \cdot (I_{2np.} \sin(\omega t + 120^0) + I_{2анп.} e^{-\frac{t}{T}}) \end{array} \right); \\ U_{\text{вых.3}} = K_{\phi_3 U_{\text{вых}}} \left( \begin{array}{l} \Pi_{\mu_3} \cdot W(F_{\sigma 313}, F_{\sigma 323}) \cdot K_{U_3 F_0} \cdot U_3 \sin(\omega t - 120^0) - \\ - \Pi_{\sigma_3} \cdot W(F_{\sigma 313}, F_{\sigma 323}) \cdot K_{I_3 F_{\sigma}} \cdot (I_{3np.} \sin(\omega t - 120^0) + I_{3анп.} e^{-\frac{t}{T}}) \end{array} \right). \end{array} \right. \quad (3)$$

В целях упрощения процесса исследования динамических характеристик преобразователя тока и обеспечения достоверности результатов созданы алгоритм (рис. 10) и модель исследования (рис. 11).

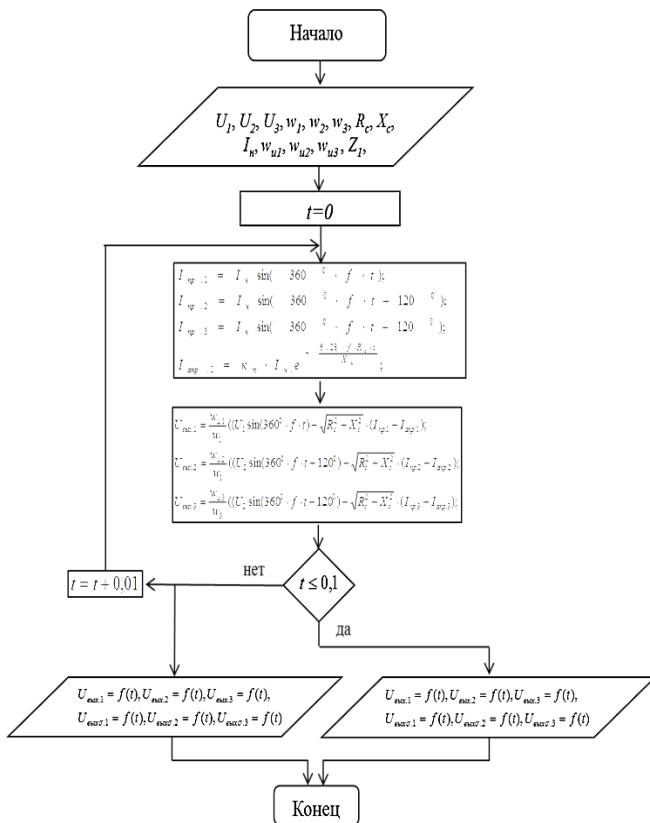


Рис. 10. Алгоритм исследования динамических характеристик преобразователя тока

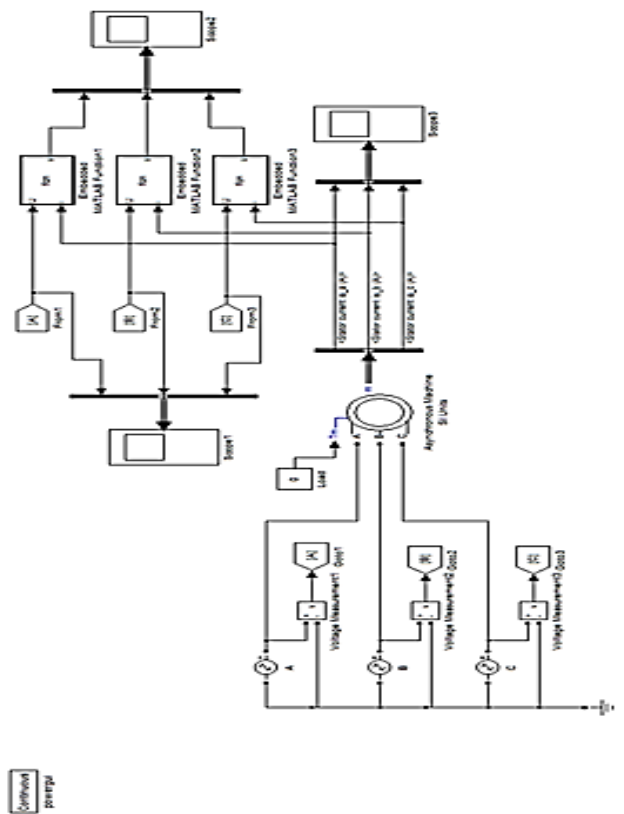


Рис. 11. Модель исследования динамических характеристик трёхфазного преобразователя тока

На основе исследовательской модели программной базы Matlab получены результаты динамических характеристик преобразователя тока, близкие к реальному рабочему состоянию (рис. 12, 13).

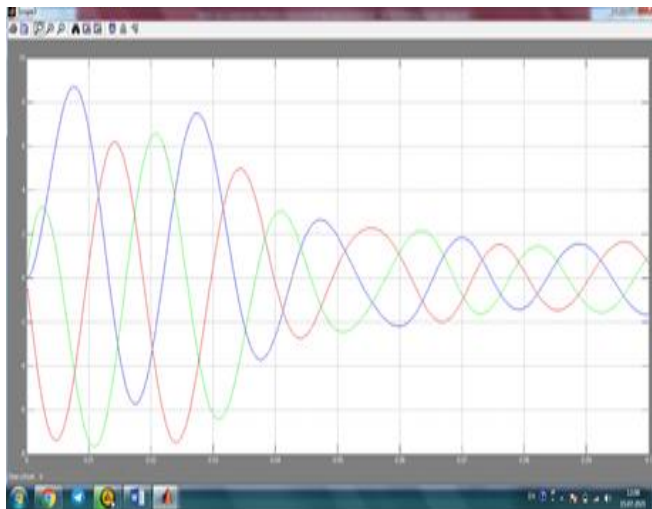


Рис. 12. Изменение первичных токов во времени при пуске асинхронного двигателя

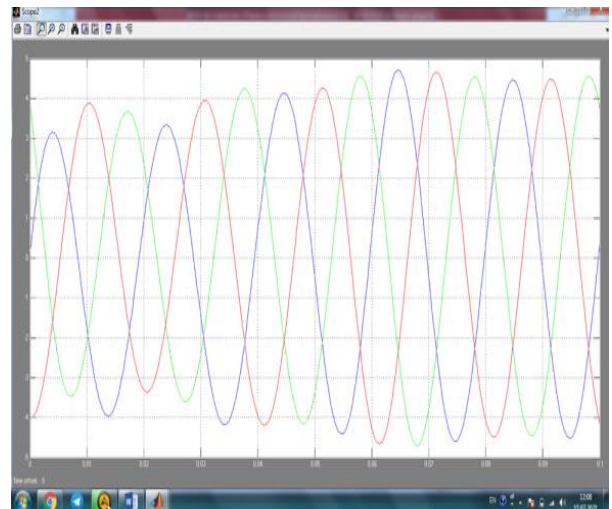


Рис. 13. Изменение выходного напряжения чувствительных элементов преобразователя тока по времени

Для исследования погрешностей преобразователя первичных токов в напряжение асинхронного двигателя используется обобщенная графовая модель (рис. 14).

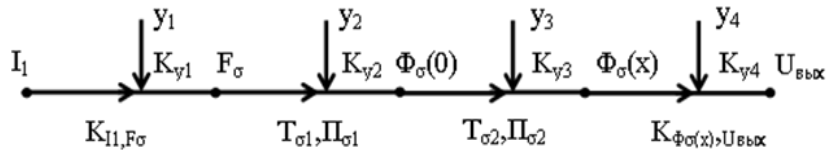


Рис. 14. Обобщенная графовая модель исследования источников погрешностей преобразователя тока в напряжение

Входная величина преобразователя тока приведена на графе  $I_1, F_\sigma$ , в нем статорный ток  $I_1$  ( $I_A$ ) преобразуется на магнитодвижущую силу  $F_\sigma$ , это  $K_{I_1, F_\sigma}$  отражается через коэффициент между цепной связью. В цепи  $F_\sigma, \Phi(0)$   $F_\sigma$  магнитодвижущая сила магнитного потока  $\Phi_\sigma(0)$ , его схематическая функция  $T_{\sigma 1}, \Pi_{\sigma 1}$  отражает структуру цепи.

Для преобразователя тока погрешность энтропии будет равна:

$$\Delta_{\Pi p} = K_{\mathcal{E}} \cdot \sigma_{\Sigma} = 2,07 \cdot 0,173 = 0,36, \quad (4)$$

где  $K_{\mathcal{E}}=2,07$ —коэффициент энтропии элемента преобразователя;  $\sigma_{\Sigma}$ — суммарная среднеквадратичная погрешность элемента.

Для исследуемого преобразователя трёхфазного тока нормативный класс точности составляет 0,5, то есть  $\pm 0,5\%$ .

Показатель общей надёжности состояния преобразователя тока рассчитывается из надёжности рабочих состояний частей преобразователя:

$$P_{\text{общ}} = P_1 P_2 P_3 + P_1 P_2 (1 - P_3) + P_1 P_3 (1 - P_2) + P_2 P_3 (1 - P_1) + P_1 (1 - P_2) (1 - P_3) + P_2 (1 - P_1) (1 - P_3) + P_3 (1 - P_1) (1 - P_2) = 0,95.$$

Общая вероятность рабочего состояния преобразователя тока асинхронного двигателя определена равном  $P_{\text{общ}} = 0,95$ .

В четвертой главе «**Практическое применение трёхфазного преобразователя контроля и управления реактивной мощностью асинхронного двигателя**» приведены результаты практических исследований по разработке трехфазного преобразователя тока асинхронного двигателя, критерию и алгоритму расчета и выбору параметров чувствительного элемента, параметрическому исследованию преобразователя, получению сигнала в виде напряжения на выходе чувствительных элементов.

По результатам исследования трехфазного преобразователя токов статора асинхронного двигателя в напряжение в качестве основных элементов и частей преобразователя приняты статорные обмотки асинхронного двигателя, магнитопровод статора и измерительные обмотки. При этом статорные обмотки, через которые протекают первичные токи, являются первым преобразовательным элементом, вторичные обмотки, образующие магнитные потоки в результате прохождения первичных токов через обмотки статора, и измерительные обмотки, подающие выходные напряжения от пересечения этих токов, являются третьим преобразовательным элементом.

Количество измерительной обмотки и рациональный выбор расположения в пазах начинается с ввода требований на преобразователя (количество первичных обмоток и пазов статора, линейность выходного сигнала, точность, чувствительность, значения параметров преобразования и т.д) (рис.15).

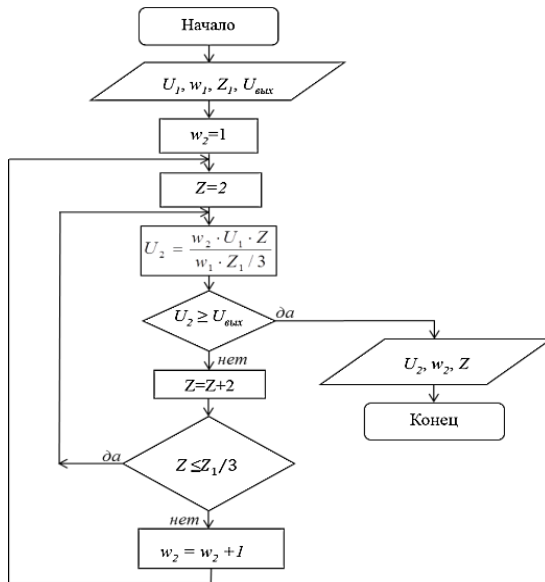


Рис. 15. Блок-схема алгоритма определения количества витков чувствительного элемента и количество пазов для их расположения



Рис. 16. Вид статорной части асинхронного двигателя, на статорных пазах которого расположен трёхфазный трёхобмоточный преобразователь тока

Выбор рекомендуемой схемы и расположения измерительного обмотки в соответствии с условиями эксплуатации основывается на анализе научно-технических данных (рис. 16).

Вид стенда для исследования преобразователя тока трёхфазного асинхронного двигателя приведен на рис. 17.

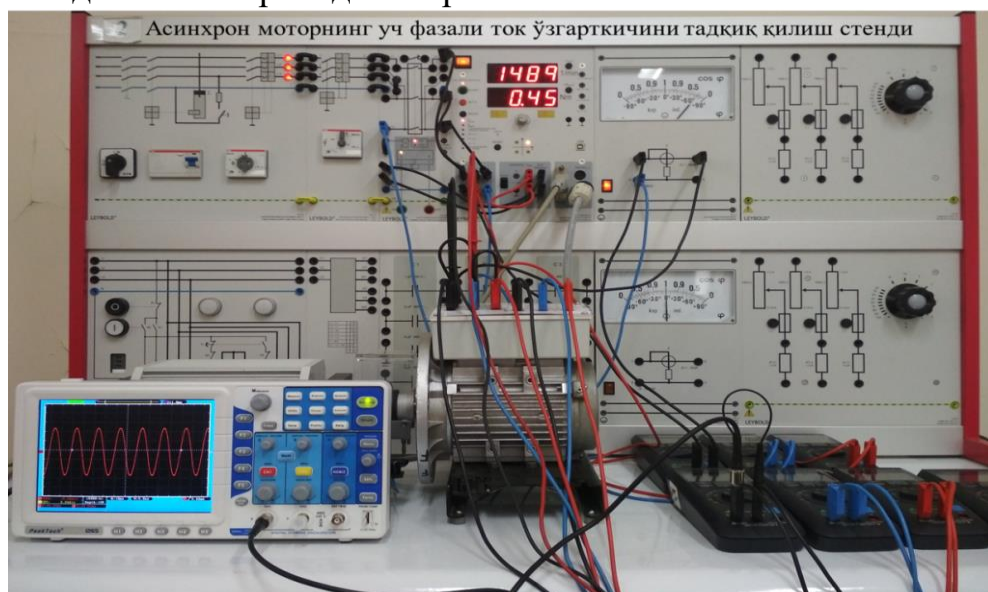


Рис.17. Стенд для исследования преобразователя тока трёхфазного асинхронного двигателя

Разработана экспериментальная модель преобразователь тока для систем контроля и управления реактивной мощности асинхронного двигателя. Измерительные обмотки ( $w_{изм}=2$ ), используемые в качестве чувствительного элемента данного преобразователя тока, располагаются в статорных пазах асинхронного двигателя между основной обмоткой статора и клиньями пазов, входные и выходные концы для соединения к системе контроля и управления выведены наружу.

Построены графики практических результатов и теоретически рассчитанных значений изменения потребления реактивной мощности при различных нагрузках в новых и перемотанных состояниях исследуемого асинхронного двигателя (рис. 18), самые большие значения были сравнены между собой:

для нового асинхронного двигателя:

$$\Delta Q' = \frac{Q_{новый} - Q_{теор.}}{Q_{теор.}} \cdot 100\% = \frac{156 - 149}{149} \cdot 100\% = 4,03\% ,$$

для перемотанного асинхронного двигателя:

$$\Delta Q'' = \frac{Q_{перемот} - Q_{теор.}}{Q_{теор.}} \cdot 100\% = \frac{160 - 149}{149} \cdot 100\% = 7,38\% ,$$

различия практических результатов потребления реактивной мощности нового и перемотанного асинхронного мотора:

$$\Delta Q''' = \frac{Q_{перемот} - Q_{новый}}{Q_{новый}} \cdot 100\% = \frac{160 - 156}{156} \cdot 100\% = 2,56\% .$$

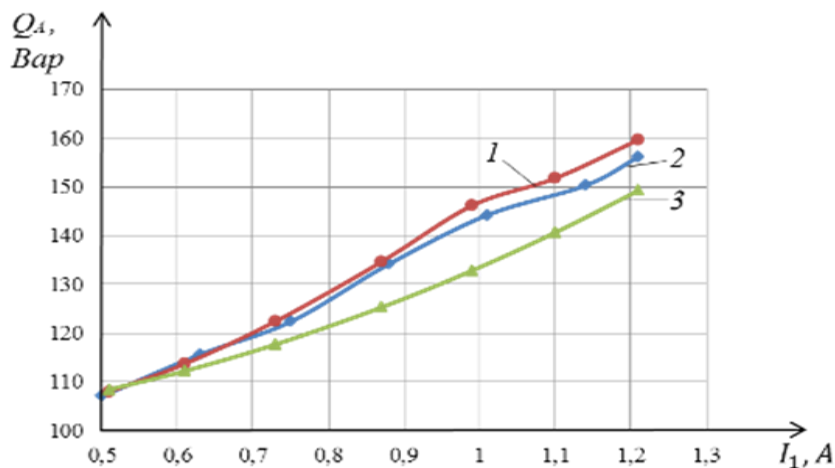


Рис. 18. Графики изменения потребления реактивной мощности асинхронных моторов при различных нагрузках: 1-асинхронный двигатель с перемотанной обмоткой статора; 2- новый асинхронный двигатель; 3-график теоретических расчетов.

Асинхронный двигатель с перемотанной обмоткой статора потребляет реактивную мощность на 2,56% больше, чем в первоначальном состоянии.

Результаты проведенных исследований позволили использовать разработанный трехфазный преобразователь тока в качестве сигнально-измерительного элемента в системе управления и контроля реактивной мощности обмоточных асинхронных двигателей и обеспечить постоянную оценку нормального и «ненормального» рабочего состояния асинхронного двигателя.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате исследований, проведенных в диссертации доктора философии (PhD) на тему «Трёхфазные преобразователи тока для контроля и управления реактивной мощностью асинхронного двигателя», представлены следующие выводы:

1. Разработанный и исследованный трехфазный преобразователь тока в напряжение позволил получать нормированные сигналы с высокой точностью и быстродействием для контроля и управления реактивной мощностью асинхронных двигателей.

2. С помощью трехфазного преобразователя тока асинхронного двигателя создан принцип формирования сигналов в виде напряжения во вторичной обмотке преобразователя, соответствующий величинам и изменениям взаимодействующих магнитных потоков, образуемых трехфазными токами статора.

3. Исследования показали, что после подключения трехфазного асинхронного двигателя к источнику электрической энергии сигналы в виде напряжения на выходе достигали своего стабильного состояния с интервалом 0,045-0,055 сек. Эта величина определяла показатель способности преобразователя трехфазных первичных реактивных токов в выходной сигнал в виде вторичного напряжения для формирования высокоскоростного вторичного сигнала.

4. Для систем контроля и управления реактивной мощностью асинхронного двигателя выполнение количества витков вторичной измерительной обмотки чувствительных элементов трёхфазного преобразователя тока, расположенной в пазах статора между основной обмоткой и клиньями пазов равным  $w_2=1-4$ , обеспечило нормативное значение выходного напряжения (5 В).

5. На основании результатов теоретических и практических исследований было доказано, что перемотанный двигатель потребляет реактивную энергию на 2,56 % больше, чем новый асинхронный двигатель.

6. Применение экспериментальных и «облачных вычислений» моделей и программных средств исследования преобразователя тока в напряжение для систем контроля и управления реактивной мощностью асинхронного двигателя позволит сократить дополнительные потери электроэнергии до 5% и обеспечить ожидаемую годовую экономическую эффективность в размере 112 млн.сум.

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

---

**ANDIJAN MACHINE-BUILDING INSTITUTE**

**MAKHSUDOV MOKHIRBEK TOLIBJONOVICH**

**THREE-PHASES CURRENT TRANSDUCERS FOR MONITORING AND  
CONTROL OF REACTIVE POWER OF AN ASYNCHRONOUS MOTORS**

**05.01.06 – Elements and devices of computer technology and control systems**

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

**Andijan – 2021**



The topic of the dissertation of a doctor of philosophy in technical sciences (PhD) was registered by the Higher Attestation Commission under the Cabinet of Ministers of the Republic of Uzbekistan for B2021.4.PhD/T1451.

The dissertation has been completed at the Andijan Machine-Building Institute.

The abstract of the dissertation is posted in three languages (Uzbek, Russian, English (summary)) is placed on the web-page of Scientific Council ([www.tdtu.uz](http://www.tdtu.uz)) and Information and Educational Portal "Ziyonet"([www.ziyonet.uz](http://www.ziyonet.uz)).

**Scientific adviser:**

**Siddikov Ilkhomjon**

Doctor of Technical Sciences, Professor

**Official opponents:**

**Uljaev Erkin**

Doctor of Technical Sciences, Professor

**Rakhmonov Ikromjon Usmonovich**

PhD on technical sciences, docent

**Leading organization:**

**Navoi State Mining Institute**

Defence of the dissertation will take place «15» 01 2022 at 12<sup>00</sup> o'clock at a meeting of the Scientific Council of 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 the Tashkent state technical university (registration number 237). (Address: 100095, Tashkent, str. University-2, tel.: (99871) 207-14-70).

Abstract of dissertation sent out on «27» 12 2021 year.  
(mailing report № 23 on «7» 12 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 on technical sciences, docent

**J.U. Sevinov**

Vise-chairman of the Academic Seminars  
under the Scientific Council on awarding scientific degrees,  
Doctor of technical sciences, docent



## INTRODUCTION (abstract of PhD thesis)

**The aim of the research work** is to develop, research and practice models of asynchronous motor reactive power monitor and control three-phase current converters.

**The object of the research work** is electromagnetic three-phase current converters for monitoring and controlling the reactive power of asynchronous motors.

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

for the first time, a model of the structure of an electromagnetic converter of three-phase reactive currents placed in the slots of the stator of asynchronous motors has been developed;

analytical expressions of static and dynamic characteristics of a new electromagnetic converter of three-phase reactive currents of asynchronous motors are obtained;

a model and algorithm for determining the rational number of the measuring winding of a three-phase current converter and the location in the grooves have been created;

a model of "cloud computing" and algorithms of an electromagnetic converter of three-phase reactive power currents of asynchronous motors have been created, which have been put into practice.

**Implementation of research results.** On the basis of the obtained results on electromagnetic Converter reactive currents in the voltage control and reactive power control of induction motors:

three-phase current Converter software designed for monitoring and control of reactive power of the induction motor embedded in JSC "Andijan enterprise territorial electric networks" (Reference of the Ministry of Energy No. 05-13-1430-dated March 3, 2021). As a result of additional losses of active and reactive power in the transmission power was reduced to 5%;

an experimental model of a three-phase current converter placed on the grooves of the asynchronous motor stator and a software tool that ensures the efficiency and accuracy of obtaining results have been implemented in LLC "RASH MILK" (Reference of the Ministry of Energy No. 05-13-1430 - dated March 3, 2021). As a result, by increasing the accuracy of calculating the reactive power of asynchronous motors and rational control and management, the expected annual effect will amount to 97 million sum;

the developed "cloud computing" model of a three-phase current converter and a software tool have been implemented in the State of Emergency "Mashinastroitel Andijon" (Reference of the Ministry of Energy No. 05-13-1430 - dated March 3, 2021). As a result, by obtaining real-time information about the compensated reactive power of asynchronous motors and providing a normalized signal control system, the expected annual efficiency will amount to 15 million sum.

**Structure and size of the dissertation.** The dissertation is written in Uzbek and consists of 110 pages, as well as an introduction, four chapters, a conclusion, a list of references and applications.

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

**I бўлим (Часть I; Part I)**

1. Махсудов М.Т., Бойхонов З.У. Исследование электромагнитных преобразователей тока в напряжение // Бюллетень науки и практики. Научный журнал. Россия, г.Нижевартовск,2018.Т.4. №3.С.150-154.(5, Global Impact Factor, GIF=0.454;17, Open Academic Journals Index, ОАЖI =0.350).

2. Махсудов М.Т., Нуриддинов Н.А. Уч фазали ток носимметриклигини токни кучланишга ўзгартгич орқали назорат қилиш //НамМТИ илмий-техника журнали (Scientific and technical journal of NamIET). Наманган,2019. ТОМ 4, Махсус сон №2 , 171-175 б. (05.00.00, №33).

3. Siddikov I.Kh., Abdumalikov A.A., Makhsudov M.T. Modeling and research multiphases signal transducers of power control systems // 2020 International Conference on Information Science and Communications Technologies (ICISCT 2020), 4-6 November, 2020. DOI: 10.1109/ICISCT50599.2020.9351482. (ЎзР ОАК Раёсатининг қарори № 368, 30.10.2020 й.).

4. Махсудов М.Т. Механик ишлов бериш дастгоҳларида асинхрон двигател статор токи катталигини кучланишга ўзгартурувчи ўлчов элементининг тадқиқи // НамМТИ илмий-техника журнали (Scientific and technical journal of NamIET), ТОМ 5, Махсус сон (2), 2020. 329-334 б. (05.00.00, №33).

5. Siddikov I.Kh, Makhsudov M.T, Boikhanov Z.U, Uzaqov R. Features productions reactive power on systems electrical supply with renewable sources energies//ACADEMICIA: An International Multidisciplinary Research Journal. India, Vol. 10, Issue 6, June 2020, p 292-296.DOI-10.5958/2249-7137.2020.00591.1 (5, Global Impact Factor, GIF=0.682; 23, Scientific Journal Impact Factor, SJIF=7.492).

6. Махсудов М., Маликов А., Узаков Р. ГЭС асинхрон двигателларини реактив қувватини назорат қилиш ва бошқариш тизими элементлари // «Ўзбекгидроэнергетика» илмий- техник журнали. Тошкент, декабр 2020. №4-сон, 23-25 б. (ЎзР ОАК Раёсатининг қарори №286/8, 30.09.2020 й.).

7. Сиддиқов И.Х., Махсудов М.Т., Абубакиров А.Б. Асинхрон моторнинг уч фазали ток ўзгартгичи тузилмасини физик-техник эффектлари модели ва алгоритми // Ўзбекистон Республикаси ФА Қорақалпоғистон бўлимининг ахборотномаси, №2. Нукус, 2021.- С. 24-27. (05.00.00, №19).

8. Сиддиқов И. Х., Махсудов М. Т., Боиханов З.У.угли, Схема замещения и анализ работы асинхронного двигателя при потреблении реактивной мощности // Журнал «Главный энергетик». Россия, г. Москва, 2021. №7, С.29-30.(05.00.00, №25).

9. Махсудов М.Т., Каримжонов Д.Д. Асинхрон моторларнинг реактив қувватини назорат ва бошқаруви учун ток ўзгарткичларининг динамик тавсифлари тадқиқи // «Энергия ва ресурс тежаш муаммолари» журнали, Тошкент, 2021. № 3, 240-249 б.(05.00.00, №21).

## II бўлим (Часть II; PartII)

10. Махсудов М.Т., Маликов А., Боихонов З.У. Асинхрон моторнинг реактив қувватини назорат қилиш ва бошқариш тизимлари ток ўзгарткичининг хатолиги ва ишончилиги // “Машинасозлик “ илмий-техника журнали. Андижон, март 2021 й., №1(3) – сон, 113 – 117 б.

11. Махсудов М.Т. Установка компенсирующих устройств вблизи потребителей электроэнергии и автоматическая регулировка сетевого напряжения// Universum: Технические науки: электрон. научн. журн.Россия,г. Москва, 2019. № 9(66). С 85-87.(02.00.00, №1).

12. Махсудов М.Т. Машинасозлик корхоналарида электр энергия сифатини яхшилаш ва исрофларни камайтириш / «Замонавий илм-фаннинг инновацион ривожланиши» мавзусида республика миқёсидаги илмий-амалий анжуман., Андижон 2019 йил 25-июн, 424-427 бетлар.

13. Махсудов М.Т., Узоков Р. Реактив қувватни компенсациялаш билан қишлоқ хўжалиги электр тармоқларида электр энергияси сифат кўрсаткичларини яхшилаш / «Аграр соҳани истиқболли ривожлантиришда ресурс тежовчи инновацион технологиялардан самарали фойдаланиш» мавзусидаги халқаро илмий - техник анжуман, Андижон 2019 йил 23-24 сентябр, 135 – 138 бетлар.

14. Махсудов М.Т., Маликов А.. Асинхрон моторларнинг реактив қувват истеъмолини баҳолаш ва назорат қилиш / «Илм-фан, таълим ва ишлаб чиқаришнинг инновацион ривожлантиришдаги замонавий муаммолар» мавзусида халқаро илмий-амалий конференция, Андижон 2020 йил 13-15 май, 341 – 347 бетлар.

15. Сиддиков И.Х., Махсудов М.Т., Боихонов З.У. Асинхрон моторнинг реактив қувват истеъмолини назорат ва бошқариш тизими ток ўзгарткичлари / «Илм-фан, таълим ва ишлаб чиқаришнинг инновацион ривожлантиришдаги замонавий муаммолар» мавзусида халқаро илмий-амалий конференция, Андижон 13 – 15 май 2020 йил, 481 – 485 бетлар.

16. Махсудов М.Т., Маликов А.. Асинхрон мотор реактив қувватини назорат ва бошқаруви ўзгарткичларининг таҳлили / «Электр энергиясини ишлаб чиқариш, узатиш ва тақсимлаш ҳамда ундан оқилона фойдаланишнинг долзарб муаммолари» мавзусида республика миқёсида илмий-техникавий анжуман, Тошкент 2020 йил 21-22 декабр, 190-191 бетлар.

17. Махсудов М.Т. Токни кучланишга ўзгарткичнинг метрологик тавсифлари / «Инновацион ғоялар, ишланмалар амалиётга: муаммолар, тадқиқотлар ва ечимлар» мавзусида онлайн Халқаро илмий-амалий анжуман, Андижон 2021 йил 21 апрел, 286-287 бетлар.

18. Махсудов М.Т. Асинхрон моторнинг уч фазали ток ўзгарткичларини динамик тавсифларини тадқиқи / «Инновацион ғоялар, ишланмалар

амалиётга: муаммолар, тадқиқотлар ва ечимлар» мавзусида онлайн Халқаро илмий-амалий анжуман, Андижон 2021 йил 21 апрел, 284-286 бетлар.

19. Сиддиқов И.Х., Малиқов А., Махсудов М.Т. Реактив қувват манбаларини бошқариш тизимлари учун ток ўзгарткичлари / «Рақамли технологиялар, инновацион ғоялар ва уларни ишлаб чиқариш соҳасида қўллаш истиқболлари» мавзусида Халқаро илмий-амалий конференция, Андижон 2021 йил 12 июн, 512 - 514 бетлар.

20. Сиддиқов И.Х., Махсудов М.Т., Малиқов А., Абдумалиқов А.А., Хайдаров Х.М., Боихонов З.У. «Программное обеспечение исследования контроля и управления реактивной мощности потребляемой асинхронным двигателем и трансформатором» / Свидетельство об официальной регистрации программы для электронно-вычислительных машин, № DGU 09818. Агентство по интеллектуальной собственности РУз, Ташкент, 23.12.2020 г.

21. Сиддиқов И.Х., Махсудов М.Т., Малиқов А., Нуриддинов Н.А., Боихонов З.У., Комилжонов М. «Программное обеспечение для исследования динамических характеристик трехфазного преобразователя тока для контроля и управления реактивной мощностью асинхронного двигателя» / Свидетельство об официальной регистрации программы для электронно-вычислительных машин, № DGU 10640. Агентство по интеллектуальной собственности РУз, Ташкент, 30.03.2021 г.

22. Сиддиқов И.Х., Махсудов М.Т., Малиқов А., Узаков Р, .Бутаев Э., Боихонов З.У., Хайдаров Х.М, «Программное обеспечение для исследования параметров трехфазного преобразователя тока для контроля и управления электрической величины асинхронного двигателя» / Свидетельство об официальной регистрации программы для электронно-вычислительных машин, № DGU 10648. Агентство по интеллектуальной собственности РУз, Ташкент, 30.03.2021 г.

23. Сиддиқов И.Х., Махсудов М.Т., Малиқов А., Боихонов З.У., Каримжонов Д., Алибекова М.А. «Асинхрон мотор реактив қувватининг назорати ва бошқаруви учун уч фазали ток ўзгарткичини статик тавсифлари тадқиқотининг дастурий таъминоти» / ЎзР ЭҲМ учун дастурлар давлат реесрида 18.06.2021 йилда Тошкент шаҳрида рўйхатдан ўтказилган, № DGU 11502.

Автореферат Тошкент давлат техника университети таҳририят нашриёт бўлимида таҳрирдан ўтказилди ҳамда ўзбек, рус ва инглиз тилларидаги матнларини мослиги текширилди (06.12.2021 й.).

Бичими: 84x60 <sup>1</sup>/<sub>16</sub>. «Times New Roman» гарнитураси.  
Рақамли босма усулда босилди.  
Шартли босма табағи: 2,75. Адади 100. Буюртма № 75/21.

Гувоҳнома № 851684.  
«Тирограф» МЧЖ босмаҳонасида чоп этилган.  
Босмаҳона манзили: 100011, Тошкент ш., Беруний кўчаси, 83-уй.