

**ТОШКЕНТ АХБОРОТ ТЕХНОЛОГИЯЛАРИ УНИВЕРСИТЕТИ
ВА ЎЗБЕКИСТОН МИЛЛИЙ УНИВЕРСИТЕТИ ҲУЗУРИДАГИ
ФАН ДОКТОРИ ИЛМИЙ ДАРАЖАСИНИ БЕРИШ БЎЙИЧА
16.07.2013.Т/ФМ.29.01 РАҚАМЛИ ИЛМИЙ КЕНГАШ**

ТОШКЕНТ АХБОРОТ ТЕХНОЛОГИЯЛАРИ УНИВЕРСИТЕТИ

СИДДИҚОВ ИЛҲОМЖОН ҲАКИМОВИЧ

**ЭНЕРГОТИЗИМ РЕАКТИВ ҚУВВАТИ КОМБИНАЦИЯЛАНГАН
БОШҚАРУВИНИНГ ТОКНИ КУЧЛАНИШГА ЯССИ ЎЛЧОВ
ЧУЛҒАМЛИ ЭЛЕКТРОМАГНИТ ЎЗГАРТГИЧЛАРИ**

**05.01.06 – Ҳисоблаш техникаси ва бошқарув тизимларининг
элементлари ва қурилмалари
(техника фанлари)**

ДОКТОРЛИК ДИССЕРТАЦИЯСИ АВТОРЕФЕРАТИ

Тошкент – 2015

Докторлик диссертацияси автореферати мундарижаси
Оглавление автореферата докторской диссертации
Content of the abstract of doctoral dissertation

Сиддиқов Илҳомжон Ҳақимович
Энерготизим реактив қуввати комбинацияланган
бошқарувининг токни кучланишга ясси ўлчов чулғамли
электромагнит ўзгартгичлари 3

Сиддиқов Илҳомжон Ҳақимович
Электромагнитные преобразователи
тока в напряжение с плоскими измерительными обмотками для комбинированного
управления реактивной мощностью энергосистем 29

Siddikov Ilkhomjon
The electromagnetic transducers
of the current to voltage with flat measuring windings
for combined control of reactive power of energy systems 55

Эълон қилинган ишлар рўйхати
Список опубликованных работ
List of published works 80

**ТОШКЕНТ АХБОРОТ ТЕХНОЛОГИЯЛАРИ УНИВЕРСИТЕТИ
ВА ЎЗБЕКИСТОН МИЛЛИЙ УНИВЕРСИТЕТИ ҲУЗУРИДАГИ
ФАН ДОКТОРИ ИЛМИЙ ДАРАЖАСИНИ БЕРИШ БЎЙИЧА
16.07.2013.Т/ФМ.29.01 РАҚАМЛИ ИЛМИЙ КЕНГАШ**

ТОШКЕНТ АХБОРОТ ТЕХНОЛОГИЯЛАРИ УНИВЕРСИТЕТИ

СИДДИҚОВ ИЛҲОМЖОН ҲАКИМОВИЧ

**ЭНЕРГОТИЗИМ РЕАКТИВ ҚУВВАТИ КОМБИНАЦИЯЛАНГАН
БОШҚАРУВИНИНГ ТОКНИ КУЧЛАНИШГА ЯССИ ЎЛЧОВ
ЧУЛҒАМЛИ ЭЛЕКТРОМАГНИТ ЎЗГАРТГИЧЛАРИ**

**05.01.06 – Ҳисоблаш техникаси ва бошқарув тизимларининг
элементлари ва қурилмалари
(техника фанлари)**

ДОКТОРЛИК ДИССЕРТАЦИЯСИ АВТОРЕФЕРАТИ

Тошкент – 2015

Докторлик диссертацияси мавзуси Ўзбекистон Республикаси Вазирлар Маҳкамаси ҳузуридаги Олий аттестация комиссиясида 30.09.2014/В2014.5.Т301 рақам билан рўйхатга олинган.

Докторлик диссертацияси Тошкент давлат техника университети ва Тошкент ахборот технологиялари университетида бажарилган.

Докторлик диссертациясининг тўлиқ матни Тошкент ахборот технологиялари университети ва Ўзбекистон Миллий университети ҳузуридаги Фан доктори илмий даражасини берувчи 16.07.2013.Т/ФМ.29.01 рақамли илмий кенгаш веб-саҳифасида www.tuit.uz манзилига жойлаштирилган.

Диссертация автореферати уч тилда (ўзбек, рус, инглиз) веб-саҳифада www.tuit.uz манзилига ва «ZIYONET» Ахборот-таълим порталида www.ziyonet.uz манзилига жойлаштирилган.

**Илмий
маслаҳатчи:** **Азимов Раҳмат Каримович**
техника фанлари доктори, профессор

**Расмий
оппонентлар:** **Ғаниев Салим Каримович**
техника фанлари доктори, профессор

Абдуқаюмов Абдурашид Абдуқаюмович
техника фанлари доктори, профессор

Муратов Хаким Махмудович
техника фанлари доктори, профессор

**Етакчи
ташкилот:** **Тошкент темир йўл транспорти муҳандислари
институту**

Диссертация ҳимояси Тошкент ахборот технологиялари университети ва Ўзбекистон Миллий университети ҳузуридаги 16.07.2013.Т/ФМ.29.01 рақамли Илмий кенгашнинг «__» март 2015 йил соат 10⁰⁰ даги мажлисида бўлиб ўтади (Манзил: 100202, Тошкент, Амир Темур кўч., 108. Тел.: (99871) 238-64-43; факс: (99871) 238-65-52; e-mail: tuit@tuit.uz).

Докторлик диссертацияси билан Тошкент ахборот технологиялари университетининг Ахборот-ресурс марказида танишиш мумкин (57 рақами билан рўйхатга олинган. Манзил: 100202, Тошкент, Амир Темур кўч., 108. Тел.: (99871) 238-64-43).

Диссертация автореферати 2015 йил «__» февралда тарқатилди.
(2015 йил «__» февралдаги № 02 рақамли реестр баённомаси).

Х.К.Арипов
Фан доктори илмий даражасини берувчи
илмий кенгаш раиси ф.м.ф.д., профессор

М.С.Якубов
Фан доктори илмий даражасини берувчи
илмий кенгаш илмий котиби т.ф.д., профессор

М.М.Мусаев
Фан доктори илмий даражасини берувчи
илмий кенгаш қошидаги илмий семинар раиси
т.ф.д., профессор

ДОКТОРЛИК ДИССЕРТАЦИЯСИ АННОТАЦИЯСИ

Диссертация мавзусининг долзарблиги ва зарурияти. Электр энергиясини ишлаб чиқариш, узатиш, тақсимлаш ва истеъмол қилиш узлуксиз жараёнларини бошқаришда кенг қўлланилувчи ток ўзгартириш қурилмаларининг юқори аниқлиги, ягона шаклга келтирилганлиги, меъёрланган ахборот билан таъминлашлари ва ишончли ишлашлари муҳим аҳамиятга эга бўлиб, электр энергия ва қувватларни хатолик билан назорат ва бошқарув катта миқдордаги иқтисодий зарарга олиб келади. Электр энергия ва қувват манбаларини самарали, бир неча катталиқ ва параметрлар асосида комбинацияланган бошқарув энергия ва ресурс тежамкорлигини таъминлашнинг комплекс ёндашувини ишлаб чиқиш, электр қурилмаларнинг вазифага оид имкониятларини кенгайтириш, бошқарув элементи ва қурилмаларини тузилишини ягона шаклга келтириш асосида соддалаштириш, оғирлик-ўлчам кўрсаткичларини камайтириш, тежамкор қурилмаларни ва технологияларини ишлаб чиқиш, контактсиз ўлчаш жараёнларини таъминлаш, юқори аниқликни таъминловчи ток ўзгартгичларни қўллаш асосида электр катталиқларни бошқариш энерготизимнинг назарий ва амалий муаммолари сифатида тўлалигича ечилмай қолмоқда. Назорат, ахборот-ўлчов ва бошқарувнинг асосий бўғини бўлиб бирламчи ток ўзгартгичлари ҳисобланади ва улар амалда энерготизимнинг техник ва иқтисодий кўрсаткичларини белгилайди.

Ток ўзгартгичларини яратиш ва қўллаш асбоблар, автоматлаштириш ўлчов, ахборот воситаларига бўлган стандартларнинг (EN-50160, МЭК 1000-3х ва шу жумладан 61000-2х) қуйидаги асосий тамойил ва талаблари билан изоҳланади:

замонавий технологияларни қўллаш асосида қулай, кўп имкониятли ва минимум тузилиш элементларини ўз ичига олувчи ток ўзгартгичларини лойиҳалашнинг универсал блок-модулли тамойилини таъминлаш;

меъёрлаш ва стандартлаш асосида ахборот, энергетик, метрология кўрсаткичлар, элемент ва қурилмалар тузилиши бўйича мослашувчанликни таъминловчи ток ўзгартгичларини ва меъёрловчи модулларни яратиш.

Ҳозирда тузилиши ва чиқиш катталиқлари меъёрланган, бир ва уч фазали электр токининг электромагнит ўзгартгичларини энерготизимда кенг қўллаш ўзгартирилаётган электр катталиқларнинг спектрини кенгайтирилмаганлиги, ток ўзгартгичларнинг тарқалган магнит тизимларини ҳисоблаш ва тадқиқот усулларини етарли ривожланмаганлиги сабабли маълум даражада чегаралангандир. Магнит ўзгартириш занжирлари ва тизимларининг анъанавий тадқиқот усуллари уч фазали ток носимметриясини эътиборга олмаганлиги сабабли белгиланган ўзгартириш аниқлигини таъминлай олмайди, катталиқлар бўйича тадқиқотлар умумийликга эга эмас, фақат электр ва магнит табиатли занжирларнинг катталиқларинигина қамраб олиш билан чегараланган. Тадқиқотларда нозикли параметрли магнит ўзгартириш тизимлари йиғилган параметрли объект сифатида кўрилмоқда.

Ҳозирда энерготизимда кенг қўлланилаётган бир фазали ток трансформаторлари мураккаб магнит ўзгартириш қисмига эга, оғир ва катта

ўлчамли кўрсаткичлари билан характерланади, лойиҳалаш жараёни ва бошқариш тизимларида қўллашда мураккабликлар ва қийинчиликлар туғдиради, микропроцессор ва электрон қайта ишлаш техникаларини меъёрланган катталиклар билан таъминлай олмайдилар. Улар ток ўзгартириш жараёнида энерготизим электр тармоғининг бир-биридан катталиги ва фазаси бўйича фарқ қилувчи уч фазали тоқларидан ҳосил бўлган магнит оқимлар ва майдонларнинг ўзаро таъсирини ҳисобга олмайдилар.

Мазкур тадқиқот иши Ўзбекистон Республикаси Вазирлар Маҳкамасининг 2009 йил 22 августдаги 245-сонли «Электр ва иссиқлик энергиясидан фойдаланиш қоидалари» тўғрисидаги ва 2013 йил 1 ноябрдаги 295-сонли «Ўзбекэнерго» давлат-акциядорлик компанияси фаолиятини такомиллаштириш ва истеъмол қилинаётган электр энергияси учун ҳисоб-китоблар интизомини мустаҳкамлашга доир қўшимча чора-тадбирлар» тўғрисидаги қарорлари ижросини амалий таъминлашга йўналтирилган.

Тадқиқотлар олиб боришнинг зарурлиги энерготизимда электр энергия тежаш вазифаларини ечишда мукаммаллашган назорат ва бошқариш элементларини модел, алгоритм ва усулларини яратиш асосида бир ва уч фазали электр тармоқлардаги электр энергиянинг асосий катталиклари тўғрисидаги сигналларнинг юқори аниқлигини таъминлаш бўйича тадқиқотлар ўтказишни тақозо қилмоқда. Уч фазали электр тармоқлардаги юкламаларнинг катталиқ ва фаза бўйича фарқ қилувчи тоқларини турлилиги натижасида уларнинг носимметрияси ҳосил бўлишини ўзгартгичларнинг бир ва уч фазали бирламчи тоқларини иккиламчи кучланишга ўзгартирувчи, ишончли, чиқишида меъёрланган катталиқ ва юқори аниқликни таъминловчи бирламчи элементларини яратиш ва амалда қўллашнинг лозимлиги ушбу йўналишда тадқиқотлар олиб бориш ниҳоятда муҳим аҳамият касб этади.

Тадқиқотнинг Ўзбекистон Республикаси фан ва технологияларни ривожлантиришнинг устувор йўналишларига мослиги. Диссертация Ўзбекистон Республикаси фан ва технологияларни ривожлантиришнинг муҳим йўналишларига: ИТД-3 – «Энергетика, энергия, ресурс тежамкорлик, транспорт, машина ва асбобсозлик»; ИДТ-17 – «Ахборот телекоммуникация технологияларини кенг ривожлантириш ва жорий этишни таъминлайдиган замонавий ахборот тизимлари, бошқарув ва ўқитишнинг интеллектуал воситалари, илмий-техникавий маълумотлар базаси ва дастурий маҳсулотларини ишлаб чиқиш» мос ҳолда бажарилган.

Диссертация мавзуси бўйича халқаро илмий тадқиқотлар шарҳи.

Электр энергетик тизимлар уч фазали электр тармоқларидаги электр тоқларнинг катталиги ва бурчаги тўғрисидаги сигналларни қабул қилиш, узатиш, ишлов бериш, ахборотларнинг ишончилигини юқори аниқликда назорат қилиш элемент ва қурилмаларнинг замонавий назорат, бошқарув – ҳисоблаш, қайта ишлаш тизимлари хусусиятларини ҳисобга олган ҳолда ишлаб чиқиш бўйича тадқиқот ишлари АҚШ (Advantech, General Electric, SeaTech), Буюк Британия (HAWK, Festo, Rockwell Automation), Россия (Электроцит, Электроаппарат), Германия (Siemens, GE Fanuc), Япония (Sony, Iconics), Жанубий Корея (Mitsubishi), Хитой (Chint), Дания (MOX, ABB), Голландия (Honeywell, Wonderware) ва бошқа давлатлар олимлари томонидан маълум даражадаги ижобий натижаларга эришилган.

Электр ўлчов, бошқарув элемент ва қурилмаларини ишлаб чиқаришда таниқли илмий марказларининг бирламчи ўзгартириш техникаси бўйича маҳсулотларини таҳлили кўрсатдики, энерготизимнинг электр тармоқларидаги тоқларнинг катталиқ, фаза ва симметрияларини ҳисобга олувчи замонавий ўлчов, назорат, бошқарув, ростлаш ва қайта ишлаш элементларининг хатоликларини юқори даражадалиги туфайли электр энергиясини ишлаб чиқарувчилар ҳам истеъмол қилувчилар ҳам катта иқтисодий зарар кўрмоқдалар.

Таҳлил қилинган ўлчов ва бошқарув қурилмаларининг кичик аниқликда ишлаши ўзгартириш тизимининг камчилиги бўлиб, ўлчов комплексларининг XX асрда яратилганлиги, сигнални қайта ишлаш тизимлари ва қурилмаларини ҳозирги кунда яратилаётганлиги ва улардан тегишли юқори аниқликда ишлаш ва меъёрланган чиқиш катталиқларни таъминлашларини талаб қилиш билан боғлиқдир.

Муаммонинг ўрганилганлик даражаси. Энерготизим реактив қуввати манбаларини назорат ва бошқарувнинг такомиллашиб бориши, электр катталиқларининг комбинацияланган бошқарув элементларини ва қурилмаларининг энергия ресурс тежамкор туркумларини яратилиши, уларни иш ҳолатларини яхшиланиши, катталиқларни ўзгартириш усул ва технологияларини ривожланиши, турли кучланишга эга бўлган электр тармоқлардаги уч фазали тоқларни ўзгартириш ва энерготизим реактив қувват манбаларини бошқарувида қўллаш, бошқариш борасидаги олиб борилган тадқиқотлар ва таҳлиллар кўрсатдики, ушбу соҳадаги муаммолар ҳозирда тўлиқ ўрганилмаган ва ечимини топмаган.

Ушбу соҳада чет эл олимларидан Н.Schaumburg, E.Ritchie, E. Krontiris, R.Hanitch, I.Rampias, Б.С.Сотсков, К.М.Поливанов, Л.Ф.Куликовский, Л.А.Островский, В.П.Миловзоров, Е.П.Осадчий, М.Ф.Зарипов, М.М.Белов, А.А.Преображенский, Н.Е.Конюхов, Е.С.Левщина, П.В.Новицкий, М.А.Ураксеев ва бошқаларнинг илмий ишларини кўрсатиб ўтиш мумкин.

Мамлакатимиз олимларидан Н.Р.Юсупбеков, Т.Х.Насыров, Х.З.Игамбердиев, Р.К.Азимов, Қ.Р.Аллаев, М.И.Ибодуллаев, А.А.Абдуқаюмов, Ю.Г.Шипулин, А.А.Халиков, С.Ф. Амиров, А.М.Плахтиев, П.М.Матякубова ва бошқалар ушбу соҳада кенг доирада илмий тадқиқот ишларини олиб бормоқлар. Лекин илмий–тадқиқот ва амалий ишлар таҳлили энерготизим реактив қувватини назорат ва бошқаруви учун электр тармоқларидаги уч фазали бирламчи тоқларни иккиламчи кучланиш кўринишидаги сигналга ўзгартириш тамойилини амалга оширувчи, ўзгартгич чиқишидаги кучланишни бирламчи тоқга чизиқли боғлиқлигини ва меъёрда бўлишини таъминловчи, уч фазали тоқлар фаза юкламаларни турлилигида пайдо бўлувчи носимметрикликни сигнал кўринишига ўзгартира олувчи ва тарқалган магнит параметрли электромагнит ўзгартгичларнинг геометрик ўлчамларини ягона математик тадқиқот аппарат асосида тадқиқ этиш имконини берувчи моделлар, алгоритмлар ва усулларни яратиш масалалари етарлича ўрганилмаганлигини кўрсатди.

Электр энергияни назорат ва бошқариш жараёнида ўзгартириш хатоликларининг юзага келиши, катта геометрик ўлчамлар ва оғирлик, электротехник материалларнинг кўп миқдорда қўлланилиши ва уларнинг

юқори нархлари анъанавий ток ўзгартгичларининг камчиликларидан ҳисобланади. Ҳозирда амалда қўлланилаётган бирламчи ток трансформаторлари – ток ўзгартириш қурилмалари - кириш токининг табиатига мос ҳолда назорат ва бошқарув тизимларида микропроцессор ва компьютер техникаси билан бирга ишлашлари учун қўшимча оралик трансформатори ёки шу каби қурилмаларни қўллашни талаб этмоқда. Бундан ташқари, энерготизимда реактив қувват манбаларини бошқаришда амалда қўлланилаётган электромагнит ток ўзгартгичлари уч фазали электр тармоқлардаги тоқларни ўзгартиришда бир фазали бажарилган магнит тизимлар ва чулғамлардан ташкил топганлиги, магнит ўзақларнинг ночизиқ таснифли, тўйинувчанлиги ва чиқиш катталиклари кўрсаткичларининг бир меъёрга келтирилмаганлиги сабабли бошқарув қурилмаларини етарли аниқликдаги электр катталиклар билан таъминлай олмайди.

Олиб борилган тизимли таҳлил шуни кўрсатдики, электромагнит ўзгартгичларнинг энерготизим электр тармоқлари назорат ва бошқарувида анъанавий ток трансформаторлари кўринишида қўллаш чегаралаб қўйилган. Юқори аниқликни, чизиқли ва меъёрланган чиқиш катталиқни таъминловчи, кенг функционал имкониятли, уч фазали тоқларни юкламага боғлиқ равишда носимметрик бўлишини ҳисобга олиб ўзгартирувчи, уч фазали бирламчи токни иккиламчи кучланишга электромагнит ўзгартгичларни ўзгартириш тамойилларини ишлаб чиқиш, амалда татбиқ этиш асосида энерготизим реактив қувватини назорат ва бошқариш элемент ва қурилмаларини яратиш, амалда жорий этиш реактив қувват бошқарувини келгусида такомиллаштириш талабларини бажариш зарурлигини белгилайди.

Диссертация тадқиқотининг илмий-тадқиқот ишлари режалари билан боғлиқлиги куйидаги лойиҳаларда ўз аксини топган: Европа иттифоқининг TACIS – TEMPUS Халқаро дастурлари: ЕС Т JEP-10328–97–«Ўзбекистон Республикасида энергетика менежментига ўқитиш» (1997–2001 йй.); ЕС Т JEP-10845–99–«Ўзбекистон Республикасида масофали ўқитиш тизимини ташкил этиш» (1999–2003 йй.) ва давлат илмий–техника лойиҳалари: П-18.17–«Электр энергетика бозорининг либераллашиш шароитларида Ўзбекистон Республикаси энергетика тизимини рационал бошқаришнинг молиявий технологик моделини яратиш» (2003–2005 йй.); А-12-073–«Ўзбекистон Республикаси электр энергетик тизими асосий электр тармоқларини иш ҳолатини баҳолаш ва телеўлчов маълумотларини аниқлигини ошириш алгоритмларини ва усулларини ишлаб чиқиш» (2006–2008 йй.); ИТД–3–123–«Ўзбекистон республикаси асосий электр тармоқларидан узатилаётган электр энергия йўқолишини реактив қувват манбаларини ва трансформаторларнинг трансформация коэффициентларини рационаллаш асосида камайтириш» (2012–2014 йй.); ИОТ-2013–2-28 «Энергия тежамкор реактив қувват манбаларини автоматик ростлагичларини саноат корхоналарида жорий этиш» (2013–2014 йй.).

Тадқиқотнинг мақсади бир ва уч фазали бирламчи тоқларни иккиламчи кучланишга электромагнит ўзгартириш назарияси ва лойиҳалаш усуллари ҳамда тамойилларини ривожлантириш, улар асосида энерготизим реактив қувватини комбинацияланган бошқаруви элемент ва қурилмалари мажмуасини яратиш ҳамда амалиётга жорий этишдан иборат.

Мақсадга эришиш учун қуйидаги **тадқиқот вазифалари** қўйилган:

энерготизимда электр энергия ва қувватни ишлаб чиқариш, узатиш, тақсимлаш, истеъмолини назорат қилиш ва комбинацияланган бошқаришда электромагнит ўзгартириш усуллари ва технологияларини такомиллаштириш, бир ва уч фазали тоқларни кучланишга ясси ўлчов чулғамли электромагнит ўзгартгичларни яратиш ва лойиҳалаш технологияларини ривожлантириш истиқболларини белгилаш;

электромагнит ўзгартгичларнинг магнит тизимларидаги магнит юритувчи куч ва магнит оқими тарқалишини тадқиқ этиш имконини берувчи, бошланғич катталиқ ва параметр кўринишидаги маълумотлар асосида магнит ўзгартириш тизимларининг моделларини шакллантириш ва тадқиқ этиш модел, алгоритм ва усуллариини ўз ичига олувчи график модел асосидаги рационал математик аппаратни яратиш;

энерготизим реактив қуввати бошқарувида ярим ўтказгичли элементлар билан бирга ишлашда статик ва динамик таснифларнинг сифатлилигини, юқори аниқликдаги чизикли чиқиш таснифларни, иктисодий арзонликни, юқори сезгирликни, тежамкор энергия истеъмолини, информативликни ва ишончлилиқни таъминловчи ток ўзгартиргичларининг катталиқ ва параметрларини ҳисоблаш ва тадқиқ этишнинг рационал модел, алгоритм ва усуллариини яратиш;

бир ва уч фазали бирламчи тоқларни иккиламчи кучланишга ясси ўлчов чулғамли электромагнит ўзгартгичларни хатолик билан ишлашлари сабабларини ўрганиш, уларни тадқиқ этиш алгоритмлари ва моделларини яратиш, хатоликларни баҳолаш ва камайтириш усуллариини ишлаб чиқиш;

электромагнит ўзгартиргичларнинг тузилишларини синтез қилиш имконини берувчи, чизикли иккиламчи кучланишнинг меъёрий миқдорларини таъминловчи моделлар, тадқиқот алгоритмлари ва усуллариини яратиш;

энерготизим реактив қувват манбаларини комбинацияланган бошқарувини таъминловчи, энергия ва ресурс тежамкор энерготизимларни рационал қуриш тамойилларини амалга оширувчи, электр тармоқлардаги тоқларнинг иккиламчи кучланишга адекват ўзгартирилишини таъминловчи электромагнит ўзгартгичлар элементлари ва қурилмалари мажмуасини яратиш ва амалиётга жорий этиш.

Тадқиқот объекти энерготизим электр тармоғини реактив қуввати бирламчи уч фазали тоқини иккиламчи кучланишга ясси ўлчов чулғам асосида ўзгартирувчи ва комбинацияланган бошқарувини таъминловчи электромагнит ўзгартгичлардан иборат.

Тадқиқот предмети – тоқни кучланишга ясси ўлчов чулғамли электромагнит ўзгартгичларнинг электр ва магнит ўзгартириш тизимлари, технологиялари, моделлари, алгоритмлари, усуллари ва тадқиқотларнинг дастурий мажмуалари.

Тадқиқот усуллари. Тадқиқотлар жараёнида аналитик ва тажриба усуллари: электр, магнит ва иссиқлик занжирлари ва тизимлари тадқиқоти, граф моделлари, бошқариш, ўлчов ўзгартгичлари назарияси, моделлаштириш, эҳтимолликлар, хатоликларни тадқиқ этиш ва ишончлилиқни ҳисоблаш усуллари қўлланилган.

Диссертация тадқиқотининг илмий янгилиги қуйидагилардан иборат:

ясси ўлчов чулғамлар ва магнит ўзакларнинг тузилишларини тизимли таҳлил, ёндашув ва асослар негизида энерготизимнинг бир ва уч фазали бирламчи токларни иккиламчи кучланишга электромагнит ўзгартириш усуллари ва технологиялари ишлаб чиқилган, электр энергиясининг меъёрдан ортиқ технологик сарфини камайтирувчи алгоритм, дастурий восита ва қурилмаларга ихтиролик патенти олинган ва амалиётга жорий этилган;

бир ва уч фазали бирламчи электр токларни иккиламчи кучланишга электромагнит ўзгартгичлар магнит тизимларидаги магнит юритувчи куч ва магнит оқимининг тарқалишини граф моделлари асосида тадқиқ этиш усули шакллантирилган, ўзгартгич таснифларини тадқиқот алгоритм, модел ва усуллари ўз ичига олган граф модели асосида катталиқ ва параметрларни тадқиқ этиш имконини берувчи математик аппарат яратилган;

энерготизим реактив қувватини бошқаришда ярим ўтказгичли элементлар билан бирга ишловчи, юқори аниқликни, чизиқли чиқиш таснифларни, иқтисодий арзонликни, юқори сезгирликни, тежамкор энергия истеъмолини, ишончлилиқни таъминловчи электромагнит ўзгартгичларнинг белгиловчи факторларини, статик ва динамик таснифларини реал вақт ўлчамида ҳисоблаш имконини берувчи ва рационалловчи модел, алгоритм ва усуллар яратилган;

токни кучланишга ясси ўлчов чулғамли электромагнит ўзгартгичларнинг хатоликлари манбаларини таъсирини классификацияси амалга оширилган ва хатоликлар таъсирини ҳисоблаш моделлари, алгоритм ва усуллари яратилган;

уч фазали электр тармоқлардаги бир ва уч фазали бирламчи токларни иккиламчи кучланишга электромагнит ўзгартгичларнинг максимал сезгирлигини оширувчи моделлар, алгоритмлар ва усуллар яратилган;

энерготизимда реактив қувват манбаларини комбинацияланган бошқарувини, электр токларни реал вақт мобайнида ўзгаришлари симметриклигини назорат қилишни, электр тармоқлар бирламчи токларининг адекват асосда иккиламчи кучланишга ўзгартирилишини таъминловчи электромагнит ўзгартгичлар мажмуасини қуриш тамойиллари яратилган;

энерготизим реактив қувват манбаларини комбинацияланган бошқарувини таъминловчи, энергия ва ресурс тежамкор энерготизимларни рационал қуриш тамойилларини, бир ва уч фазали электр катталиқлар ва параметрларининг симметриклигини аниқлаш, назорат ва бошқарувини таъминловчи электромагнит ўзгартгич қурилмалари яратилган ва амалиётга жорий этилган.

Тадқиқотнинг амалий натижалари қуйидагилардан иборат:

электр энергиясининг меъёрдан ортиқ технологик сарфини камайтирувчи алгоритм, дастурий восита ва қурилмаларга ихтиролик патенти олинган ва амалиётга жорий этилган;

реактив қувват манбаларини ўрнатиш ва уларни автоматик бошқаришнинг меъёрий номинал электр катталиқлар билан таъминлаш ўрнатма қуввати 50 кВт ва ундан катта ва кучланиши 500 кВ дан кам бўлган электр энергетик қурилмаларнинг энергия ва ресурс тежамкорлиги стандарт 57,5 В кучланиш ўрнига 61,81 В билан таъминланганлиги учун ростланаётган электр энергия кучланиши 4.31 В га, фаза кучланиш бўйича 7,5%га, чизиқли кучланиш бўйича эса $\sqrt{3} * 7,5 = 12,9\%$ га тенг бўлиши таъминланган;

токни кучланишга электромагнит ўзгартгичлар «Ўзбекэнерго» ДАК тасарруфидаги электр энергетика тизимидан таъминланувчи 20 дан ортиқ ташкилотда жорий қилинган ва реактив қувватни комбинацияланган автоматик бошқаришнинг 1,0 аниқлик даражасидан 0,5 аниқлик даражасига ошириш ҳисобига ишлаб чиқилган 54,7 млрд. кВт.соат электр энергиянинг меъёрда белгиланган технологик сарфини 13,29% (7,27 млрд. кВт.соат) ўрнига 11,26% (6,16 млрд. кВт.соат), яъни 15,26% га камайишига эришилган;

энерготизим реактив қуввати комбинацияланган бошқарувини асосида энергия ва ресурс тежамкор энерготизимларни қуриш технологияларини, бир ва уч фазали электр катталиклар ва параметрларининг симметриклигини назорати ҳамда бошқарувини таъминловчи электромагнит ўзгартгичлар қурилмалари ва элементлари амалиётга жорий этилган.

Олинган натижаларнинг ишончлилиги яратилган ясси ўлчов чулғамли токни кучланишга электромагнит ўзгартгичлар, уларнинг моделлари, ўтказилган назарий ва амалий тадқиқотлар натижалари, статик ва динамик таснифлар умумқабул қилинган мезонлар асосида ўтказилган қиёсий таҳлиллар билан асосланган.

Энерготизимнинг бир ва уч фазали электр тармоқларининг бирламчи тоқларини номинал миқдорларида ясси ўлчов чулғамнинг чиқишида меъёрланган кучланишни таъминловчи электромагнит ўзгартгичларнинг тадқиқот натижаларини мантиқий асосланишини баҳолаш учун токни кучланишга ўзгартириш, тадқиқотлар натижалари бўйича солиштиришлар ўтказилган, назарий ва амалий натижалар хатоликлар мезонлари бўйича таҳлил қилинган ва натижаларнинг ишончлилиги таъминланган.

Тадқиқот натижаларининг назарий ва амалий аҳамияти.

Тадқиқотларда олинган натижаларнинг назарий моҳияти илмий ишда ривожлантирилган уч фазали токни ясси ўлчов чулғамлар асосида электромагнит ўзгартгични тузилиш ва ўзгариш тамойилларини танлаш, электромагнит қурилмаларни таҳлил қилиш имконини берувчи алгоритмлар, усуллар ва тадқиқотлар мажмуасини яратилишидан иборат.

Бир ва уч фазали тоқларни ясси ўлчов чулғам ва тарқалган параметрли магнит ўзгартириш тизимларининг электромагнит ўзгартириш тамойили, бир ва уч фазали токни кучланишга ясси ўлчов чулғамдаги ўзгартириш элементларининг тадқиқот алгоритмлар ва моделлаш услубияти, меъёрланган чиқиш сигнални таъминловчи токни кучланишга электромагнит ўзгартгичларнинг энерготизим реактив қувват манбаларининг комбинацияланган бошқарув тизимлари яратилган.

Диссертациянинг амалий аҳамияти уч фазали электр тармоқлардаги носимметриклик тўғрисидаги сигналларни ўзгартирувчи қурилмалар туркумини яратилганлиги ва энерготизимдаги реактив қувват манбаларини комбинацияланган бошқаруви учун кенг функционал имкониятли, токни кучланишга электромагнит ўзгартгичларни амалда қўлланилганлиги билан изоҳланган. Тадқиқотлар натижасида бир ва уч фазали электр катталиклар ва параметрларнинг ўзгаришларини ва носимметриклигини назорат тизими учун бирламчи тоқларнинг миқдор ва сифат кўрсаткичларини иккиламчи кучланишга адекват ўзгартирилишини амалга оширувчи электромагнит ўзгартгичлар қурилмаси яратилган ва амалиётга кенг жорий этилган.

Тадқиқот натижаларининг жорий қилиниши. Токни кучланишга ясси ўлчов чулғамли электромагнит ўзгартириш тамойили, моделлар, алгоритмлар, дастурий мажмуа, қурилмалар ва бошқарув сигнали билан таъминлаш элементлари «Ўзбекэнерго» ДАК тасарруфидаги электр энергетика тизимида жорий этилган бўлиб, кучланиши 0,4; 6 ва 10 кВ бўлган электр тармоқларидаги реактив қувватни комбинацияланган автоматик бошқариш тизимларида ва электр тармоқлар кучланишларига мос равишда белгиланган реактив қувватни таъминлаш тизимларида қўлланилган. Реактив қувватни комбинацияланган автоматик бошқариш қурилмаларида ишлаб чиқариш, узатиш, тақсимлаш ва истеъмол қилиш жараёнларида юқори аниқликни таъминловчи, токни катталиги ва фазаси тўғрисидаги сигнални етказиб берувчи электромагнит токни кучланишга ўзгартгичларни қўллаш электр энергияни манбалардан истеъмолчиларга узатишдаги умумий энергия йўқолишини яратилган қурилмаларни қўллашга қадар бўлган миқдордан 15%га камайтириш ҳисобига электр энергия тежашдан иқтисодий самарадорлик 1,7 млрд сўмни ташкил этган («Ўзбекэнерго» ДАКнинг 17.11.2014 йилдаги №МХ-01-21/5413-сонли, 27.01.2015 йилдаги №МХ-01-21/321-сонли маълумотномаси).

Ишнинг апробацияси. Тадқиқот натижалари билан 40 дан ортиқ илмий-амалий анжуманлар, шу қаторда 15 та жаҳон, халқаро конференциялар ва семинарларда, хусусан: «World Conference on Intelligent Systems for Industrial Automation» (WCIS) (Baku–2002, Tashkent-2012), «Энергия ва ресурс тежамкорлик муаммолари» (Тошкент, 2003), «Control of power system - 04» (Словакия, (Slovak Rep., High Tatras, Strbske Pleso), 2004), «Инновация - 2004» (Тошкент, 2004), «Энергетиканинг ҳозирги ҳолати ва тараққиёти истиқболи» (Тошкент, 2006), «Бошқарув, таълим ва саноатда инновацион технологиялар «АСТИНТЕХ» (Россия, Астрахань, 2007, 2011), «Энерготежамкор технологияларни қўллаш тажрибаси» (Тошкент, 2010), «Энергетика: энергоресурсларни бошқариш, сифат ва самарадорлик» (Россия, Благовещенск 2003, 2011), «Энерготежамкорлик масалаларини рационал ечимлари, электр хавфсизлик ва энергия таъминоти концепциялари» (Фарғона, 2011), «Энергетиканинг замонавий муаммолари» (Тошкент, 2006, 2011), «Замонавий техника ва технологияларнинг долзарб масалалари» (Липецк, Россия, 2012-2014), ҳамда Республика инновацион ғоялар, технологиялар ва лойиҳалар ярмаркасида (Тошкент 2008-2014) маърузалар тезислари ва илмий ишланмалар билан иштирок этилган.

Натижаларнинг эълон қилинганлиги. Диссертация мавзуси бўйича 84 та илмий ишлар нашр қилинган, жумладан, 2 та Республика миқёсидаги миллий илмий журналда 10 та мақола, 1 та хорижий илмий журналда 1 та илмий мақола нашр қилинган, 4 та кашфиёт учун Ўзбекистон Республикаси ихтиросига патентлар ва 1 та алгоритм ҳамда дастурий восита Ўзбекистон Республикаси Интеллектуал мулк агентлигида рўйхатга олинган.

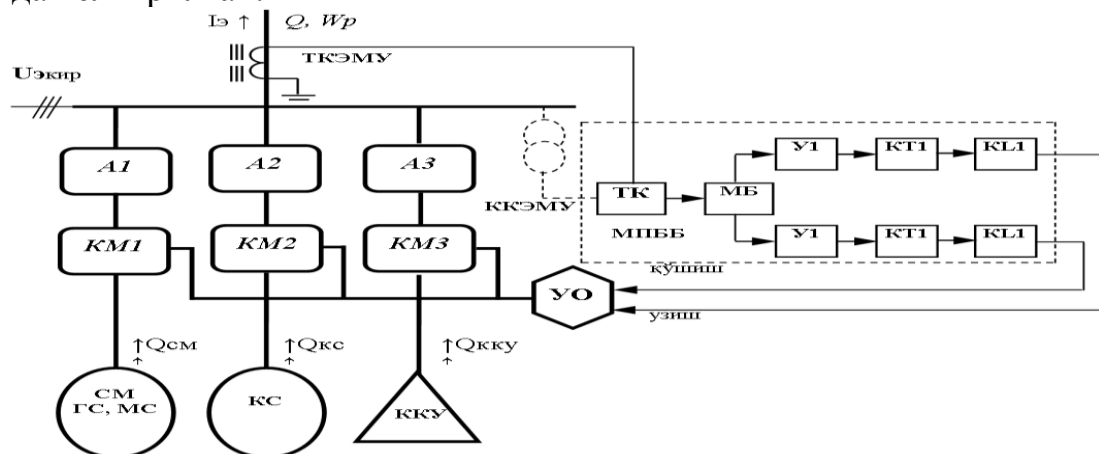
Диссертациянинг тузилиши ва ҳажми. Диссертация кириш, олти боб, ҳулоса, фойдаланилган адабиётлар рўйхати, илова ва 200 саҳифа матн, 49 та расм ва 12 та жадвалдан иборат.

ДИССЕРТАЦИЯНИНГ АСОСИЙ МАЗМУНИ

Кириш қисмида диссертация мавзусининг долзарблиги ва зарурияти асосланган, тадқиқот мақсади ва вазифалари, объекти ва предметлари аниқланган, Ўзбекистон Республикаси фан ва технологиялар тараққиётининг устувор йўналишларига мослиги кўрсатилган, тадқиқотнинг илмий янгилиги ва амалий натижалари баён этилган, олинган натижаларнинг ишончилиги асосланган, уларнинг назарий ва амалий аҳамияти очиқ берилган, тадқиқотларнинг натижаларини амалда жорий қилиш ҳолати, ишнинг апробация натижалари, эълон қилинган ишлар ва диссертациянинг тузилиши бўйича маълумотлар келтирилган.

Диссертация ишининг **биринчи бобида** энерготизимда электр энергия ва реактив қувватни ишлаб чиқариш, узатиш, тақсимлаш ва истеъмол қилиш қурилмаларида, реактив қувватни комбинацияланган бошқарувида бирламчи токни ясси ўлчов чулғам ёрдамида иккиламчи катталиққа ўзгартириш масалалари кўриб чиқилган. Реактив қувватнинг миқдори энерготизимда электр энергия йўқолишини белгиловчи катталиқдир, замонавий токни кучланишга ўзгартириш тамойилини яратиш ва автоматик бошқариш қурилмалари билан биргалиқда ишлашини таъминлаш асосида реактив қувватни автоматик ростлаш тизимини яратиш илмий ишнинг назарий ва амалий аҳамиятини белгилайди ва тадқиқотлар асосини ташкил этади.

Энерготизимларда реактив қувват манбаларини рақамли қурилмалар асосида комбинацияланган автоматик бошқаришнинг функционал чизмаси 1 – расмда келтирилган.



A1, A2, A3 – автоматик қўшиб - узгич, KM1. KM2. KM3 – коммутация ускуналари; ТК – токли компенсация блоки; МБ – мантиқий блок; У1, У2 – кучайтиргичлар; КТ1, КТ2 – вақт элементлари; КЛ1, КЛ2 – ижро органлари; УО – бошқарув органи; МПББ – реактив қувват манбаларини микропроцессорли бошқарув блоки; СМ (ГС, МС) – синхрон машина (генератор – ГС ва мотор - МС), КС – синхрон компенсатор, ККУ – реактив қувват манбаси – косинусли конденсатор қурилма, ТКЭМЎ ва ККЭМЎ – ток ва кучланишнинг ясси ўлчов чулғамли электромагнит ўзгартгичлари

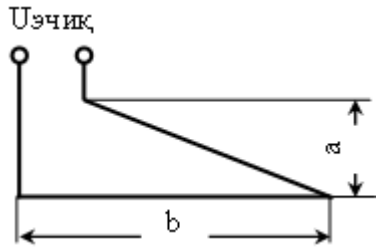
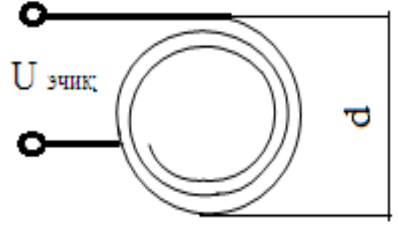
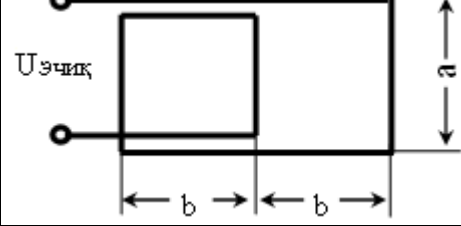
1-расм. Энерготизимда реактив қувват манбаларини комбинацияланган автоматик бошқарувнинг функционал чизмаси

Ясси ўлчов чулғамли токни кучланишга электромагнит ўзгартгичларда чиқиш катталиги бўлган кучланишларни ҳосил қилиш таҳлили асосида белгиландики, тадқиқотлар энерготизим реактив кувват манбаларини бошқаруви учун комбинацияланган, кенг функционал имкониятли, бир меъёрга келтирилган чиқиш катталиқликни таъминловчи, уч фазали токларни носимметриқлигини ҳисобга олувчи ва электр тармоқлар токларини юқори аниқликда кучланишга электромагнит ўзгартгичларини яратиш, ҳамда токларни кучланишга ўзгартиришнинг сезиш элементи - ясси ўлчов чулғамларни яратиш, тадқиқ этиш ва амалиётга қўллаш усулларига асосланган бўлиши лозим.

Диссертация ишида токни кучланишга электромагнит ўзгартгичларга мос келувчи ясси ўлчов чулғамларнинг асосий шакллари ва тузилиш тамойиллари таҳлил қилинган. Чиқиш катталигини таъминлашда муҳим аҳамиятга эга бўлган ясси ўлчов чулғамнинг асосий турлари ва уларнинг кесим юзаларини S аниқлаш формулалари 1-жадвалда келтирилган.

1-жадвал

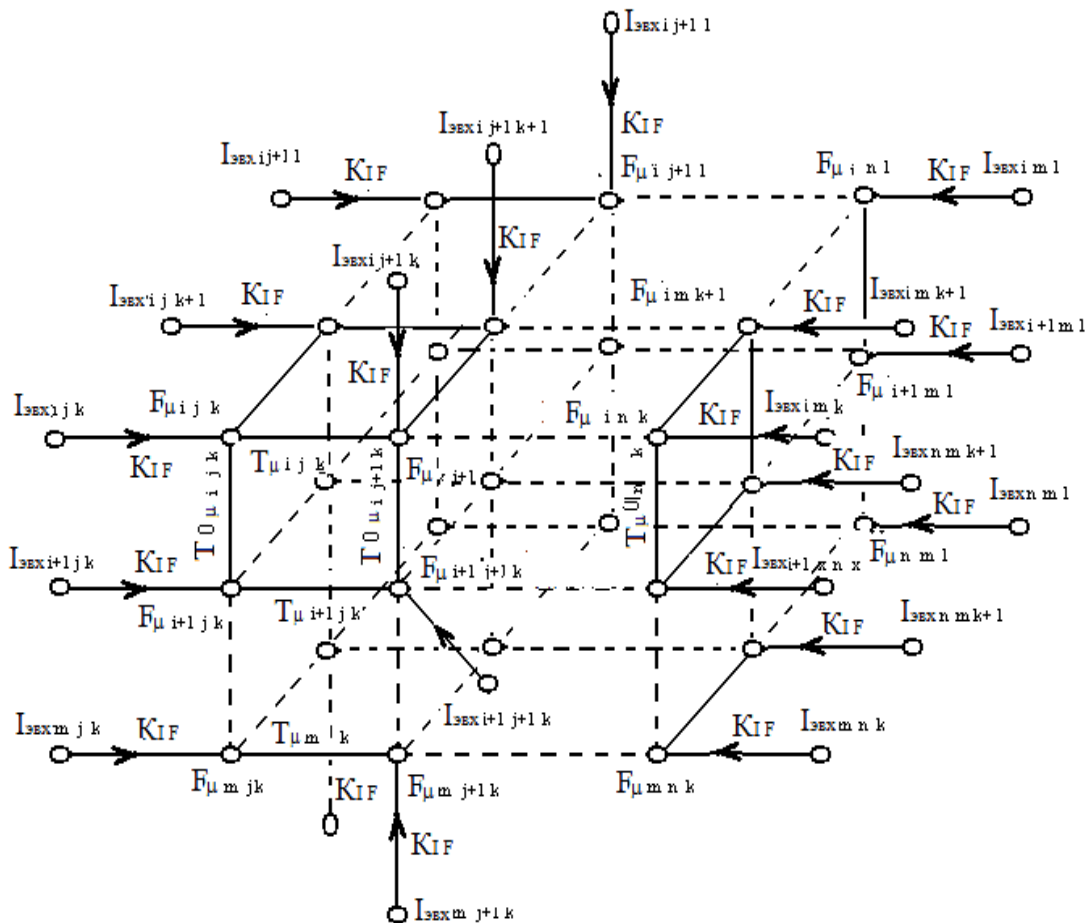
Ясси ўлчов чулғамларнинг асосий турлари

№	Ясси ўлчов чулғам тури	Ясси ўлчов чулғам шакли	Кесим юзаси
1.	Учбурчаксимон		$S_{тр} = kab / 2$
2.	Тўғрибурчаксимон		$S_{пр} = kab$
3.	Юмалоқ		$S_k = k\pi D^2 / 4$
4.	Сиртмоқсимон		$S_{н} = 2ab$

Иккинчи боб бир ва уч фазали токни кучланишга электромагнит ўзгартгичларнинг магнит ўзгартириш занжир ва тизимларининг тадқиқотларига бағишланган.

Ясси ўлчов чулғамли токни кучланишга электромагнит ўзгартгичларнинг кириш катталиклари бўлиб уч фазали электр тармоқларидаги I дан то $10\ 000$ Ампергача катталиқга эга бўлган бирламчи ўзарувчан ток миқдори $I_{экир}$, электр тармоқларнинг миқдори $0,4, 6$ ва 10 кВгача бўлган бирламчи кучланиш $U_{экир}$ бўлиб, чиқиш сигнали эса Φ магнит оқимининг тақсимланишига тўғридан тўғри боғлиқ бўлган, магнит ўзгартириш тизими йўли - магнит ўзгартириш тизими узунлиги, магнит оқим кесиб ўтаётган юза ва ясси ўлчов чулғам юзасининг Φ магнит оқим томонидан кесиш бурчагига боғлиқ бўлган $U_{эчик}$ - ясси ўлчов чулғамнинг чиқиш кучланишидир.

Ясси ўлчов чулғамли токни кучланишга электромагнит ўзгартгичларнинг магнит ўзгартириш тизимининг граф модели 2 - расмда келтирилган бўлиб унинг тадқиқ ва ҳисоби топологик усулларга асосланган. Магнит ўзгартириш тизимининг граф модели асосида ясси ўлчов чулғамли токни кучланишга электромагнит ўзгартгичлар магнит тизимининг тугунларидаги магнит юритувчи кучлар - F ва магнит ўзгартириш тизим ўзгартириш бўлақларининг белгиловчи қийматлари $\Pi, \Pi 0, \Pi 1$ - бўйлама, вертикал ва кўндаланг параметрлар аниқланади.



2 - расм. Ясси ўлчов чулғамли токни кучланишга электромагнит ўзгартгичлар магнит ўзгартириш тизимининг граф модели

Ясси ўлчов чулғамли токни кучланишга электромагнит ўзгартгичлар тарқалган параметрли ва мураккаб тузилишли магнит ўзгартириш тизимининг умумлашган граф модели магнит тизим тугунларидаги магнит юритувчи куч ва магнит оқимларни ҳисоблаш имконини беради ва бунда магнит тизим токни кучланишга ўзгартгичнинг белгиланган аниқлик таснифига боғлиқ ҳолда i, j, k бўлакли ўлчамларга бўлинган, яъни бўлак ўлчамлари $i - 1$ дан n гача, $j - 1$ дан m гача ва $k - 1$ дан l гача ўзгаради деб қабул қилинган.

Ясси ўлчов чулғамли токни кучланишга электромагнит ўзгартгичларнинг граф модели тугунлари учун тугунлар магнит юритувчи кучларини аниқлаш учун охириги элементлар ва фарқлар усули алгоритми асосида тенгламалар тузилган:

ясси ўлчов чулғамли токни кучланишга электромагнит ўзгартгичлар граф моделининг $i = 1, j = 1$ ва $k = 1$ тугуни учун магнит юритувчи кучни ҳисоблаш учун тенглама қуйидагича тузилади:

$$F_{i,j,k} = \frac{K_{IF} I_{\text{вх } i,j,k} + \frac{F_{i,j+1,k}}{\Pi_{i,j+1,k}} + \frac{F_{i+1,j,k}}{\Pi 0_{i+1,j,k}} + \frac{F_{\mu i,j,k+1}}{\Pi 1_{i,j,k+1}}}{\frac{1}{\Pi_{i,j+1,k}} + \frac{1}{\Pi 0_{i+1,j,k}} + \frac{1}{\Pi 1_{i,j,k+1}}};$$

$i = m, j = 1$ ва $k = 1$ тугунлар учун:

$$F_{i,j,k} = \frac{K_{IF} I_{\text{вх } i,j,k} + \frac{F_{i-1,j,k}}{\Pi 0_{i-1,j,k}} + \frac{F_{i,j,k+1}}{\Pi 1_{i,j,k+1}} + \frac{F_{i,j+1,k}}{\Pi_{i,j+1,k}}}{\frac{1}{\Pi 0_{i-1,j,k}} + \frac{1}{\Pi 1_{i,j,k+1}} + \frac{1}{\Pi_{i,j+1,k}}};$$

$i = 1, j = 1$ ва $k = l$ тугунлар учун:

$$F_{i,j,k} = \frac{K_{IF} I_{\text{вх } i,j,k} + \frac{F_{i-1,j,k}}{\Pi 0_{i-1,j,k}} + \frac{F_{i,j,k-1}}{\Pi 1_{i,j,k-1}} + \frac{F_{i,j+1,k}}{\Pi_{i,j+1,k}}}{\frac{1}{\Pi 0_{i-1,j,k}} + \frac{1}{\Pi 1_{i,j,k-1}} + \frac{1}{\Pi_{i,j+1,k}}};$$

ясси ўлчов чулғамли токни кучланишга электромагнит ўзгартгичлар граф моделининг $i = 2$ дан m гача - 1 , $j = 2$ дан n гача - 1 ва $k = 2$ дан l гача - 1 тугунлари учун магнит юритувчи кучлар қуйидаги ифодадан аниқланган:

$$F_{i,j,k} = \frac{K_{IF} I_{\text{вх } i,j,k} + \frac{F_{i,j-1,k}}{\Pi_{i,j-1,k}} + \frac{F_{i,j+1,k}}{\Pi_{i,j+1,k}} + \frac{F_{i,j,k-1}}{\Pi 1_{i,j,k-1}} + \frac{F_{i,j,k+1}}{\Pi 1_{i,j,k+1}} + \frac{F_{i-1,j,k}}{\Pi 0_{i-1,j,k}} + \frac{F_{i+1,j,k}}{\Pi 0_{i+1,j,k}}}{\frac{1}{\Pi_{i,j-1,k}} + \frac{1}{\Pi_{i,j+1,k}} + \frac{1}{\Pi 1_{i,j,k-1}} + \frac{1}{\Pi 1_{i,j,k+1}} + \frac{1}{\Pi 0_{i-1,j,k}} + \frac{1}{\Pi 0_{i+1,j,k}}};$$

бу ерда: $I_{\text{вх } i,j}$ - энерготизим уч фазали электр тармоқлари ўзказгичлардаги тоқлар, яъни ясси ўлчов чулғамли токни кучланишга электромагнит ўзгартгичлар ўзгартириш тугунига таъсир қилувчи қийматлар; K_{IF} - электр ва магнит занжирлар катталиқ ва параметрларини боғланиш коэффициенти; Π - магнит ўзгартириш тизимининг тарқалган параметрлари.

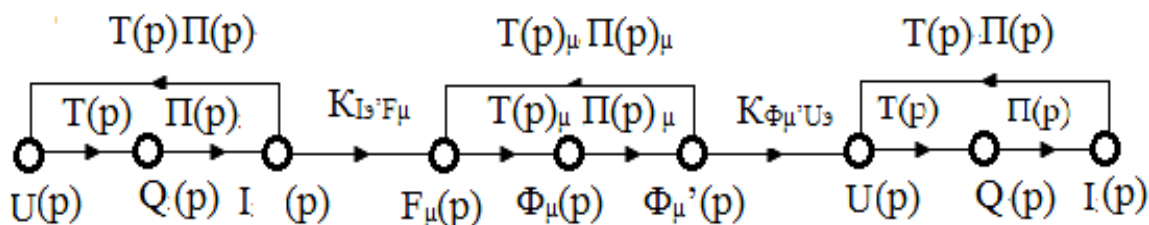
Энерготизим электр тармоқларидаги бирламчи тоқларни ясси ўлчов чулғамли электромагнит ўзгартгичлар асосида иккиламчи кучланишга ўзгартирилишининг динамик граф модели 3 - расмда келтирилган. Динамик граф модел асосида ўзгартгичларнинг чиқиш кучланишининг ўзгаришини тадқиқ этиш имконини берувчи динамик таснифнинг математик ифодаси қуйидаги кўринишда аниқланади:

$$U_{\text{чик}}(P) = K_{\Phi \mu U_x} T(p)_\mu K_{I \Delta F \mu} T(p)_{\text{Эчик}} U_{\text{Эчик}}(P);$$

бу ерда:

$$T(p)_{\text{Эчик}} = \frac{pT_{\text{Эчик}} \Pi_{\text{Эчик}}}{1 + pT_{\text{Эчик}} \Pi_{\text{Эчик}} T_{\text{Эчикта}} \Pi_{\text{Эчикта}}};$$

$$T(p)_\mu = \frac{pT_\mu \Pi_\mu}{1 + pT_\mu \Pi_\mu T_{\mu\text{та}} \Pi_{\mu\text{та}}};$$

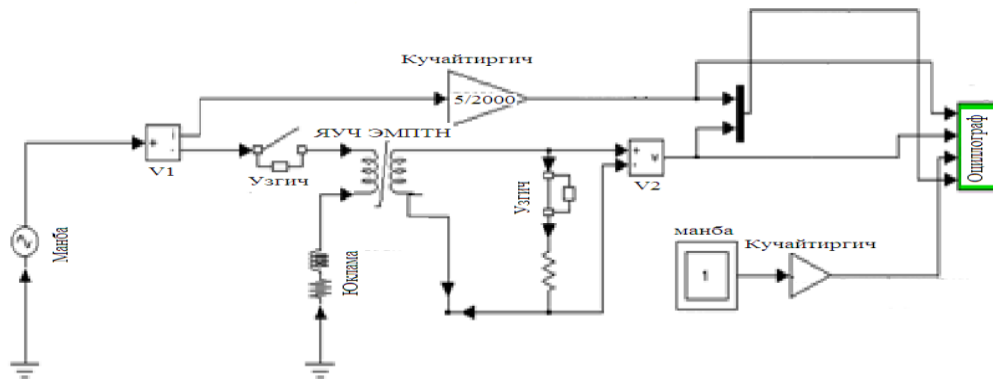


3 - расм. Ясси ўлчов чулғамли токни кучланишга электромагнит ўзгартгичлар динамик граф модели

Граф модел асосида токни кучланишга ўзгартгичнинг киришидаги $I_{\text{экир}}$ - бирламчи токнинг ўзгаришида тарқалган магнит ўзгартириш тизими тугунларидаги F - магнит юритувчи кучларнинг қийматларини ўзгариши асосида ясси ўлчов чулғамнинг чиқишидаги кучланиш - $U_{\text{эчик}}$ ҳосил қилиш ифодаси аниқланган.

Магнит оқимлар бўйлама - Φ , кўнгаланг - $\Phi 0$ ва вертикал - $\Phi 1$ - кўринишларга бўлинади. Ясси ўлчов чулғамли токни кучланишга электромагнит ўзгартгичларнинг магнит ўзгартириш тизими бўлаклари $R, R0, R1$ - магнит параметрлари ва магнит катталиклар - магнит юритувчи куч - F ва магнит оқимлар- Φ тақсимланиши тугун тенгламалари асосида аниқланган.

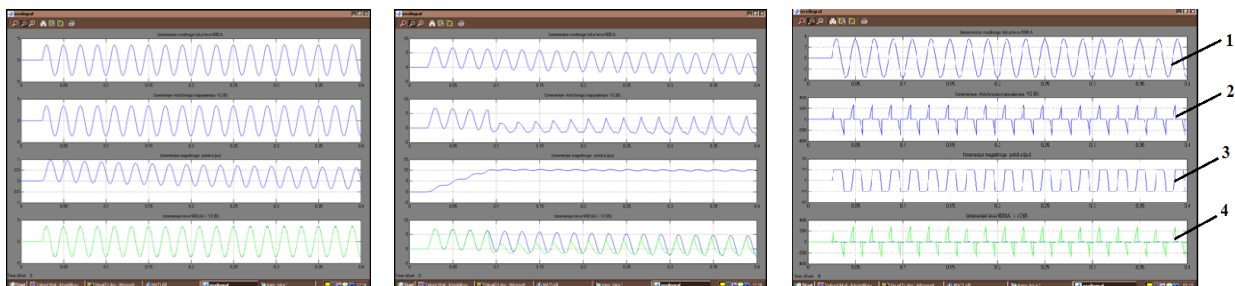
Учинчи бобда энерготизим реактив қувват манбаларининг комбинацияланган бошқарув элементларидан бўлган ясси ўлчов чулғамли токни кучланишга электромагнит ўзгартгичларни тадқиқоти натижалари келтирилган. MATLAB дастурлар мажмуасининг танланган блоклари асосида реактив қувват манбаларининг бошқарув тизими ясси ўлчов чулғами чиқишидаги кучланишни, бирламчи тоқлар ва магнит ўзгартириш тизими оқимини ҳисоблаш учун тадқиқот модели тузилган ва у 4 - расмда келтирилган. Реактив қувват манбаларининг бошқаруви тадқиқот модели ўткинчи жараёнларни сифат таснифларини ҳисобга олган ўзгартгичларнинг катталикларини реал вақт ўлчамида тадқиқ этиш имконини беради.



4 - расм. MATLAB дастурлар мажмуаси асосида тузилган ясси ўлчов чулғамли токни кучланишга электромагнит ўзгартгичларнинг тадқиқот модели

MATLAB дастурлар мажмуаси асосида энерготизим реактив қувват манбалари комбинацияланган бошқарув тизимининг ясси ўлчов чулғамли токни кучланишга электромагнит ўзгартгичларининг кириш ва чиқиш катталикларини тадқиқотлар натижалари 5 - расмда келтирилган.

Реактив қувват манбаларининг комбинацияланган бошқаруви моделининг тадқиқи натижаларидан хулоса қилиш мумкинки, яратилган математик модел реал вақт ўлчамида энерготизим талабларини бажарадиган ясси ўлчов чулғамли токни кучланишга электромагнит ўзгартгичларнинг қисмларини, ўзгартириш катталиклари ва қийматларини тадқиқ этиш ва аниқлаш имконини беради.



а) меъёрий, б) носимметрик, в) қисқа туташув режимларида

5 - расм. Энерготизим ясси ўлчов чулғамли токни кучланишга электромагнит ўзгартгичларининг кириш (1 – бирламчи ток - $I_{\text{кир}}$), оралик (2 – м.ю.к. F_{μ} ва 3- магнит оқим - Φ_{μ}) ва чиқиш (4 – иккиламчи кучланиш $U_{\text{чик}}$) катталикларини ўзгаришлари

MATLAB дастурлар мажмуаси асосида моделлаштириш ва тадқиқотлар натижалари кўрсатдики, ясси ўлчов чулғамли токни кучланишга электромагнит ўзгартгичларнинг хусусияти асосида таъминланувчи чиқиш кучланишининг ўзгаришлари электр тармоқ ўтказгичларига электр юкламалар улангандан сўнг 0,044 сек мобайнида турғунлашади. Ушбу қиймат магнит ўзгартириш тизимининг инерционлигини жуда кичик эканлигини исботлади.

Тўртинчи боб ясси ўлчов чулғамли токни кучланишга электромагнит ўзгартгичларнинг асосий таснифларини тадқиқ қилишга бағишланган.

Бир фазали (А фазага ўрнатилган) ясси ўлчов чулғамли токни кучланишга электромагнит ўзгартгичларнинг статик таснифи яратилган граф модел асосида қуйидагича ифодаланади:

$$U_{эчика} = 4,44 fW \Phi_{то макс А} e^{-\frac{R_1 t}{L_1}} \pm \Phi_{колд А} e^{-\frac{R_1 t}{L_1}}.$$

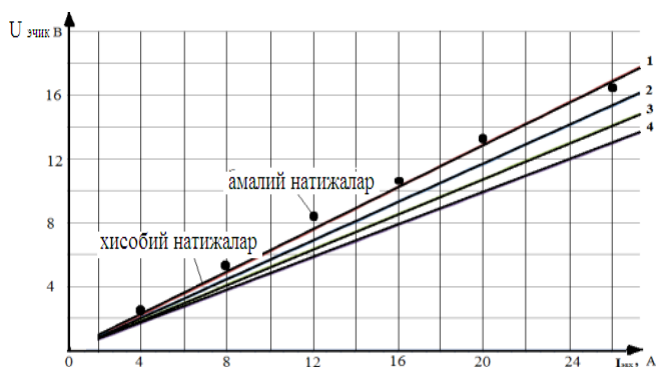
Бир фазали ясси ўлчов чулғамли токни кучланишга электромагнит ўзгартгичларнинг статик таснифларини тадқиқ натижалари 6 - 9 - расмларда келтирилган.

Уч фазали электр тармоқларнинг (В ва С фазалари) токларга мос иккиламчи кучланишларининг ўзгаришлари статик таснифлари граф модел асосида аналогик асосда ҳосил қилинади:

$$U_{эчикв} = 4,44 fW \Phi_{макс В} e^{-\frac{R_{II} t}{L_{II}}} \pm \Phi_{колд В} e^{-\frac{R_{II} t}{L_{II}}},$$

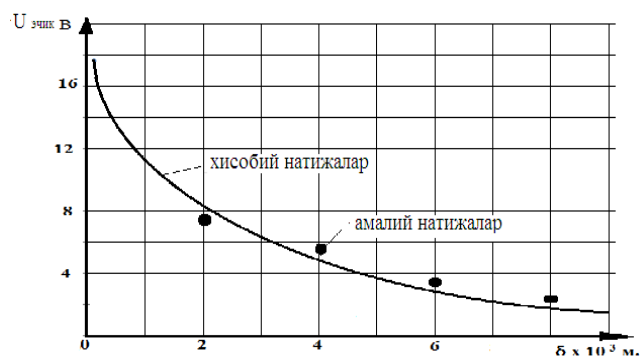
$$U_{эчикс} = 4,44 fW \Phi_{макс С} e^{-\frac{R_{III} t}{L_{III}}} \pm \Phi_{колд С} e^{-\frac{R_{III} t}{L_{III}}}.$$

Математик ва физик моделлар асосида олиб борилган тадқиқотлар натижалари кўрсатдики, ҳаво оралиқ - δ катталашганда ясси ўлчов чулғам чиқиш кучланишининг - $U_{эчик}$ қиймати кескин камаяди, бу ҳолат 7 – расмда ифодаланган. Чиқиш кучланишининг меъёрий қиймати ($U_{эчик} = 20$ В) δ - ҳаво оралиқнинг $0,002 - 0,003$ м. ва ясси ўлчов чулғам ўрамлар сонининг $W_{яўч}$ 3 – 4 га тенг миқдорларида таъминланди. Ясси ўлчов чулғам чиқиш кучланиши сонини ортиши чиқиш кучланиши қийматининг бир текисда, яъни 8 - расм келтирилган ҳолда ўзгаришини таъминлайди, ясси ўлчов чулғам кесим юзасини ўзгариши эса чиқиш кучланиши қийматининг чизикли ўзгаришини таъминлайди, бу ҳолат 9 – расмда келтирилган график билан асосланган.



(1 - 20 мм., 2 - 22 мм., 3 - 24 мм., 4 - 26 мм.)

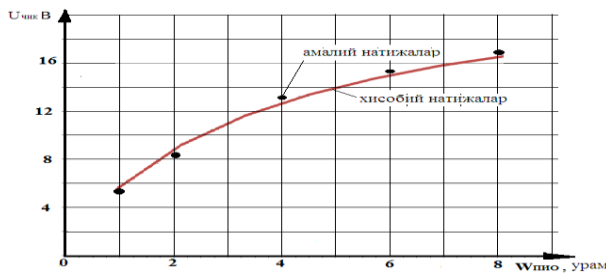
6- расм. δ ҳаво оралиқнинг қийматларида статик таснифлар



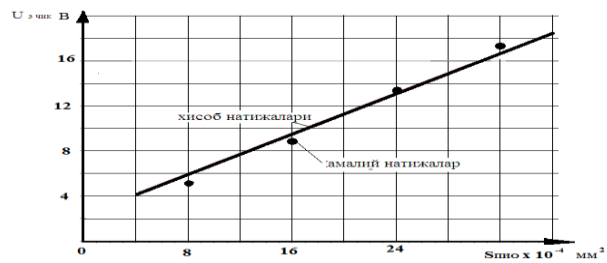
7 - расм. $U_{эчик}$ чиқиш кучланишининг δ нинг қийматларига боғлиқлиги

Назарий ва амалий тадқиқотлар $Q_{H\text{ ККУ}} = 50 \text{ кВАр}$ миқдордаги номинал реактив қувватли, $I_{\text{вх}A} = I_{\text{вх}B} = I_{\text{вх}C} = 76 \text{ А}$ - миқдордаги реактив токни таъминловчи, индуктивлиги $L_{\text{I}} = L_{\text{II}} = L_{\text{III}} = 10^{-3} \text{ Гн}$, сиғими $C_{\text{A}} = C_{\text{B}} = C_{\text{C}} = 10^{-7} \text{ Ф}$, кучланиши $U_{\text{вх}A} = U_{\text{вх}B} = U_{\text{вх}C} = 380 \text{ В}$, тўла қаршилиги $Z_{\text{A}} = Z_{\text{B}} = Z_{\text{C}} = 0,289 \text{ Ом}$ бўлган реактив қувват манбаси - косинусли конденсатор қурилмасининг бошқарувида қўлланилувчи ясси ўлчов чулғамли токни кучланишга бир фазали электромагнит ўзгартгичларнинг магнит тизимида кечувчи ўткинчи жараёни баҳолаш имконини берди. Бунда магнит ўзгартириш тизимидаги максимал магнит оқим қуйидагича аниқланган:

$$\Phi_{\text{макс}A} = \Phi_{\text{макс}B} = \Phi_{\text{макс}C} = \frac{U_{\text{макс}}}{W_1 \omega} = \frac{380}{1 \cdot 2 \cdot \pi \cdot 50} = 1,21 \text{ Вб}.$$



8 - расм. $U_{\text{эчикк}}$ чиқиш кучланишининг $W_{\text{яч}}$ ўрамлар сонини қийматларига боғлиқлиги



9 - расм. $U_{\text{эчикк}}$ чиқиш кучланишининг $S_{\text{яч}}$ кесим юзани қийматларига боғлиқлиги

Ясси ўлчов чулғамли токни кучланишга электромагнит ўзгартгичларда токни ўзгаришига боғлиқ бўлган магнит ўзгартириш тизимдаги оқимларнинг ўзгаришини кўрсатувчи динамик таснифи (1-3) формулалар асосида аниқланди, магнит ўзгартириш тизимдаги уч фазали электр тармоқларининг токлари ҳосил қилган магнит оқимларнинг ўзгариш графиклари 10 – расмда келтирилган.

Граф модел асосида олинган тадқиқот натижалари графиклари электр тармоқдаги уч фазали тоklar ҳосил қилган магнит оқимларнинг амплитуда қийматини бирданга ошиб кетиши магнит оқимларнинг энг катта ўзгаришларига мос келишлиги тўғрисидаги назарий хулосасини исботлади. Ясси ўлчов чулғамли токни кучланишга электромагнит ўзгартгичларни электр юкламага уланиш пайтида бурчаклар $\psi_I = \psi_{II} = \psi_{III} = 0$ ва $\Phi_{\text{колд}A}$, $\Phi_{\text{колд}B}$, $\Phi_{\text{колд}C}$ – қолдиқ магнит оқимлар эса Φ_A , Φ_B ва Φ_C - асосий магнит оқимларга қарама - қарши бўлади.

Уч фазали ток ҳосил қилган магнит оқимлар ўзгаришлари қуйидаги ифодалар асосида аниқланди:

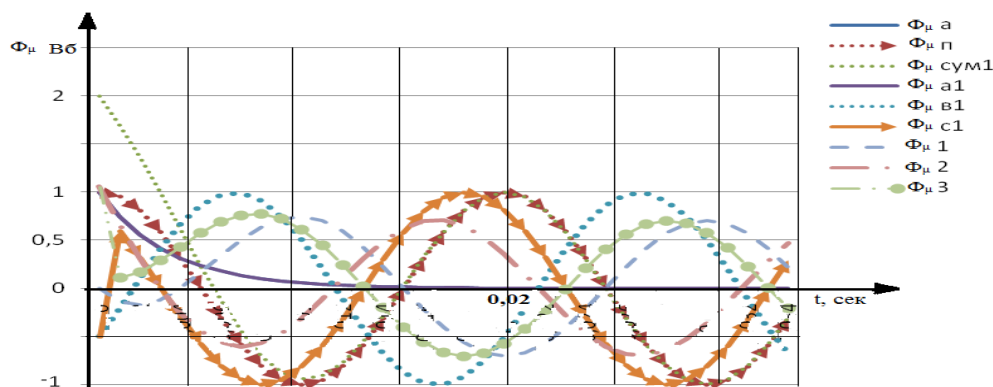
$$\Phi_A = \Phi_{\text{макс}A} \left[e^{-(R_1 t / L_1)} - \cos(\omega t) \right] \pm \Phi_{\text{колдик}A} e^{-(R_1 t / L_1)}, \quad (1)$$

$$\Phi_B = \Phi_{\text{макс } B} \left[e^{-(R_{II}t/L_{II})} - \cos(\omega t + 120^\circ) \right] \pm \Phi_{\text{коядик } B} e^{-(R_{II}t/L_{II})}, \quad (2)$$

$$\Phi_C = \Phi_{\text{макс } C} \left[e^{-(R_{III}t/L_{III})} - \cos(\omega t - 120^\circ) \right] \pm \Phi_{\text{коядик } C} e^{-(R_{III}t/L_{III})}. \quad (3)$$

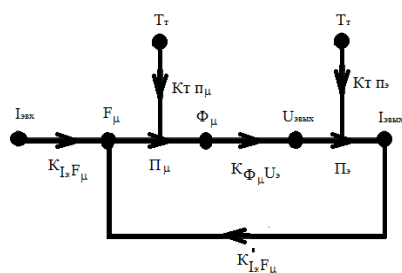
Тадқиқотлар асосида назарий ва амалий исботландики, энерготизимда электр юкламалар улангандаги ўткинчи жараён пайтида магнит оқимларнинг қийматларини сакрашсимон ошиши ясси ўлчов чулғамли токни кучланишга электромагнит ўзгартгичларнинг иккиламчи токларини қийматини ҳам катта миқдорда ортиб кетишига олиб келади.

Тадқиқотлар таҳлили натижасида энерготизим электр тармоқларида ўрнатилган ясси ўлчов чулғамли токни кучланишга электромагнит ўзгартгичларнинг тарқалган магнит ўзгартириш тизимидаги турғун ҳолат бирламчи токлар ўтказгичларига юклама уланганидан $0,03 - 0,044$ сек. вақт ўтгач таъминланиши аниқланган. Ушбу хулоса магнит ўзгартириш тизимининг инерцияси жуда кичик эканлигини исботлади.

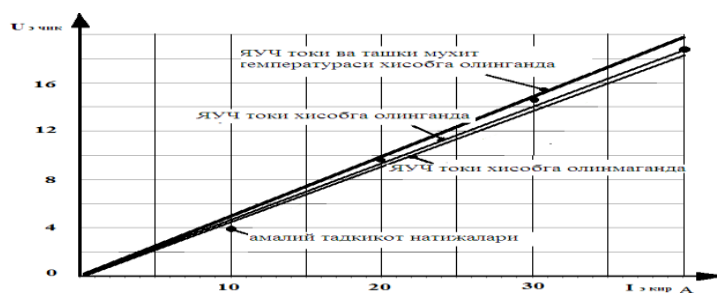


10 - расм. Энерготизим уч фазали электр тармоғида токлар оқими ҳосил қилган ясси ўлчов чулғамли токни кучланишга электромагнит ўзгартириш магнит тизимидаги оқимларнинг қийматлари

Ясси ўлчов чулғамли токни кучланишга электромагнит ўзгартгичларнинг $U_{\text{эчик}}$ чиқиш кучланишининг қийматига T_m - атроф муҳит температурасининг таъсирини граф модел асосидаги тадқиқотлар натижалари 11 ва 12 - расмда келтирилган.



11- расм. Ҳатолик манбаларини тадқиқоти граф модели



12 - расм. $U_{\text{эчик}}$ чиқиш кучланишига $I_{\text{эчик}}$ ва T_m ларнинг таъсири

Ясси ўлчов чулғамли токни кучланишга электромагнит ўзгартиргичларнинг ишончли ишлаш миқдор кўрсаткичи ҳисоби қуйидагича амалга оширилади:

$$P = P_{кат} P_{пар} = 0,98 \times 0,98 = 0,96,$$

бу ерда: $P_{кат}$ – фавқулотда ҳолатдаги ишончлилик,
 $P_{пар}$ – параметрик ишончлилик.

Ҳисобланган ишончлиликнинг миқдор кўрсаткичи энерготизим реактив қувват манбалари бошқарув тизимининг электромагнит ўзгартиргичларини ишончлиликка бўлган талабларига жавоб беради.

Ясси ўлчов чулғамли токни кучланишга электромагнит ўзгартиргичларнинг йиғинди ўртакватрат ҳатолиги қуйидаги ифода асосида аниқланади:

$$\delta_{\Sigma} = \sqrt{0,02^2 + 0,01^2 + 0,01^2 + 0,05^2} = 0,055 ,$$

бу ерда $\delta_{ов}$, δ_m , $\delta_{нш}$, $\delta_{исх}$ - кўзғатиш чулғами, магнит ўзгартириш тизим, ясси ўлчов чулғам ва ўлчов схемасининг ўрта квадратик ҳатоликлари: $\delta_{ов} = 0,02$; $\delta_m = 0,01$; $\delta_{нш} = 0,01$; $\delta_{исх} = 0,05$. Ясси ўлчов чулғамли токни кучланишга электромагнит ўзгартиргичлар учун энтропия оғиш қиймати қуйидаги формула асосида аниқланади: $\Delta = \kappa_3 \delta_{\Sigma}$, бу ерда: δ_{Σ} - ҳатолик оғиш қийматлари йиғиндиси, κ_3 – энтропия коэффиценти (турли тақсимланиш қонунларида κ_3 турли қийматларга эга бўлади: нормал тақсимланиш қонуни учун $\kappa_3 = 2,07$). Ҳисобларга кўра, ясси ўлчов чулғамли токни кучланишга электромагнит ўзгартиргичларнинг энтропия ҳатолиги: $\Delta = 0,11$. Амалий тадқиқотларда $\Delta = 0,21$ га тенглиги аниқланди.

Бешинчи бобда ясси ўлчов чулғамли токни кучланишга электромагнит ўзгартгичларни лойихалаш алгоритмлари, қурилмалар яратиш ва уларни параметрларини рационал ҳисоблаш тадқиқотлари натижалари келтирилган.

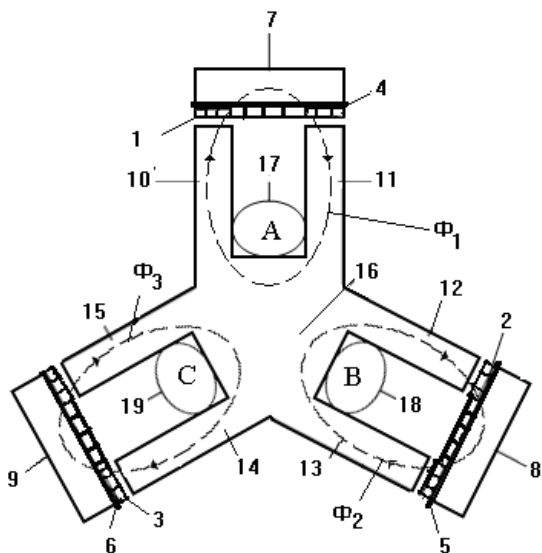
Ясси ўлчов чулғамли токни кучланишга электромагнит ўзгартиргичларни рационал лойихалаш икки босқичдан: қурилмалар тузилишини танлаш ва ўзгартириш параметрларини ҳисоблашдан иборат.

Ясси ўлчов чулғамли токни кучланишга электромагнит ўзгартгичларнинг тузилишини танлаш учун асосий қурилмаларнинг морфологик 3-жадвали ишлаб чиқилган, у асосда қурилмалар танлаш 13-расмда келтирилган алгоритм бўйича амалга оширилади. Ясси ўлчов чулғамли токни кучланишга электромагнит ўзгартиргичларнинг параметрларини рационал ҳисоблаш алгоритми 14- расмда келтирилган.

Ясси ўлчов чулғамли токни кучланишга электромагнит ўзгартгичларнинг қурилмаларини морфологик 3 - жадвали асосида токни кучланишга ўзгартгичлар элементларини “сезгирлик” мезони бўйича рационал танлаш алгоритмлар асосида қуйидагича амалга оширилди: I.2. - II.3. - III.4.

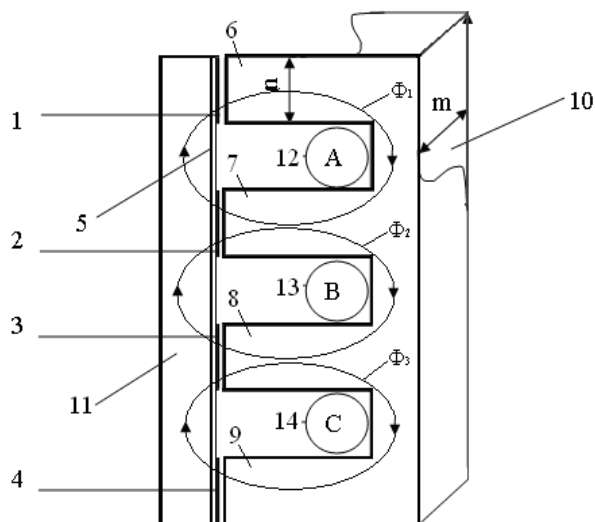
Олтинчи боб энерготизим реактив қувват манбаларини комбинацияланган бошқарув тизими учун ясси ўлчов чулғамли токни кучланишга электромагнит ўзгартгичлар негизда бошқарувнинг қурилмаларини ва тамойилларини яратиш асослари келтирилган.

Энерготизим реактив қуввати комбинацияланган бошқаруви учун яратилган ясси ўлчов чулғамли токни кучланишга электромагнит ўзгартгичлар тузилишлари 15 ва 16 расмларда келтирилган. Энерготизим реактив қувват манбаларини комбинацияланган бошқаруви кучланиш, реактив қувватнинг йўналиши, электр юклама токи ва кучланиш орасидаги бурчак ϕ бўйича ясси ўлчов чулғамнинг чиқиш кучланиши $U_{эчик}$ асосида бошқарув тизимини сигнал билан таъминловчи токни кучланишга электромагнит ўзгартгичлар ва уларда сигнал олувчи ҳамда тегишли талаблар асосида танланган стандарт микропроцессорли блок асосида ёрдамида амалга оширилганда электр энергиянинг технологик сарфини 15% га камайишини таъминланиши тадқиқотлар натижаларни амалиётга жорий этиш асосида исботланди.



- 1, 2 ва 3 – ясси ўлчов чулғам,
- 4, 5 ва 6 – изоляцион пластинкалар,
- 7, 8 ва 9 - кўшимча ўзаклар,
- 10 ва 11, 12 ва 13, 14 ва
- 15 – жуфт параллел стерженлар,
- 16 – магнит ўтказгич асоси,
- 17, 18 ва 19- бирламчи чулғамлар


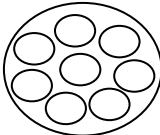
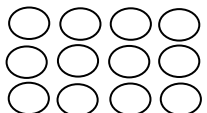

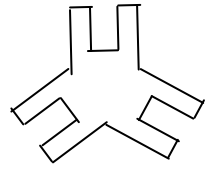
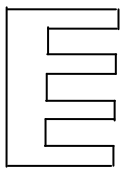
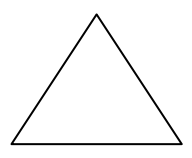

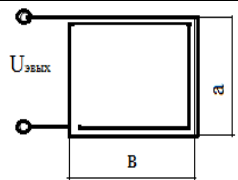
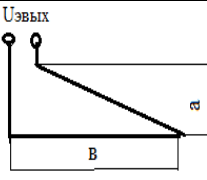
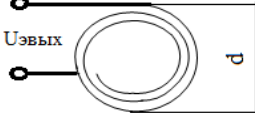
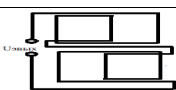
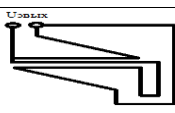
15 - расм. Уч нурли ва ўзакли ясси ўлчов чулғамли токни кучланишга электромагнит ўзгартгичларлар магнит ўзгартириш тизимлари (ЎЗР патенти №04185)

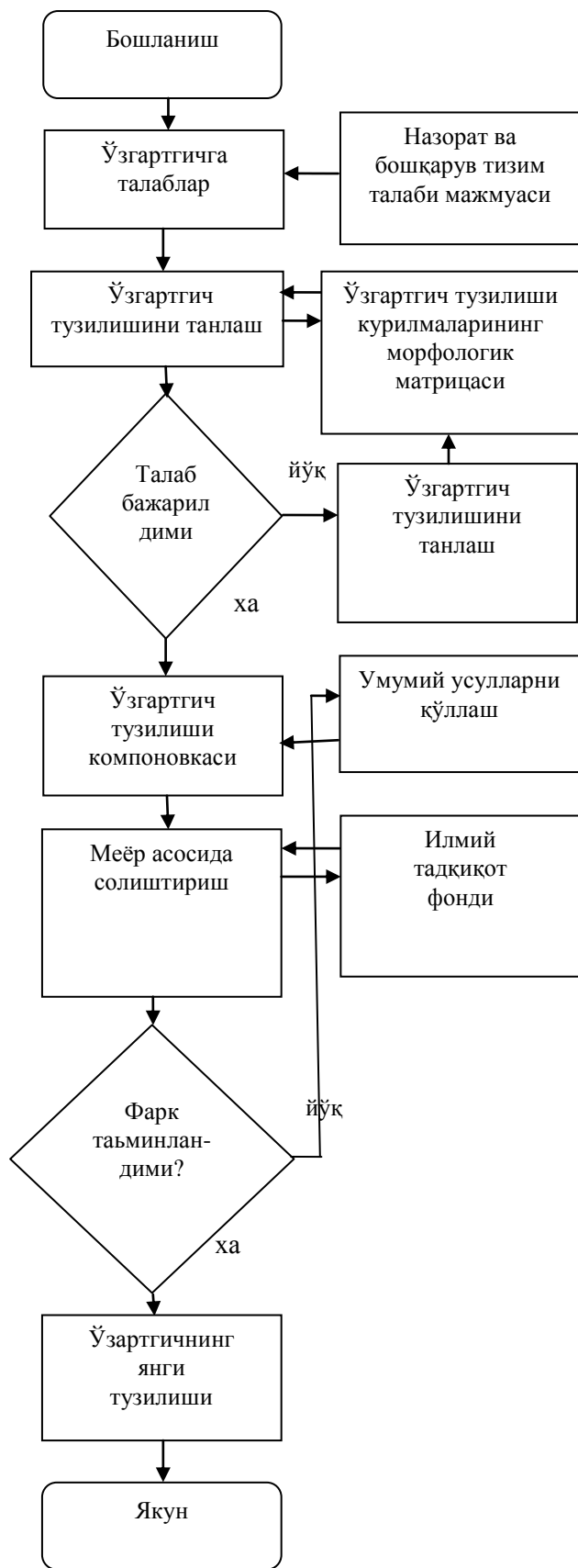


- 1, 2, 3 ва 4 - ясси ўлчов чулғам
- 5 - изоляцион пластинка,
- 6, 7, 8 и 9 - тўрт ўзаклар,
- 10 - умумий ўзак асоси,
- 11 – магнит ўзак,
- 12 (фаза А), 13 (фаза В) ва
- 14 (фаза С)-бирламчи чулғамлар

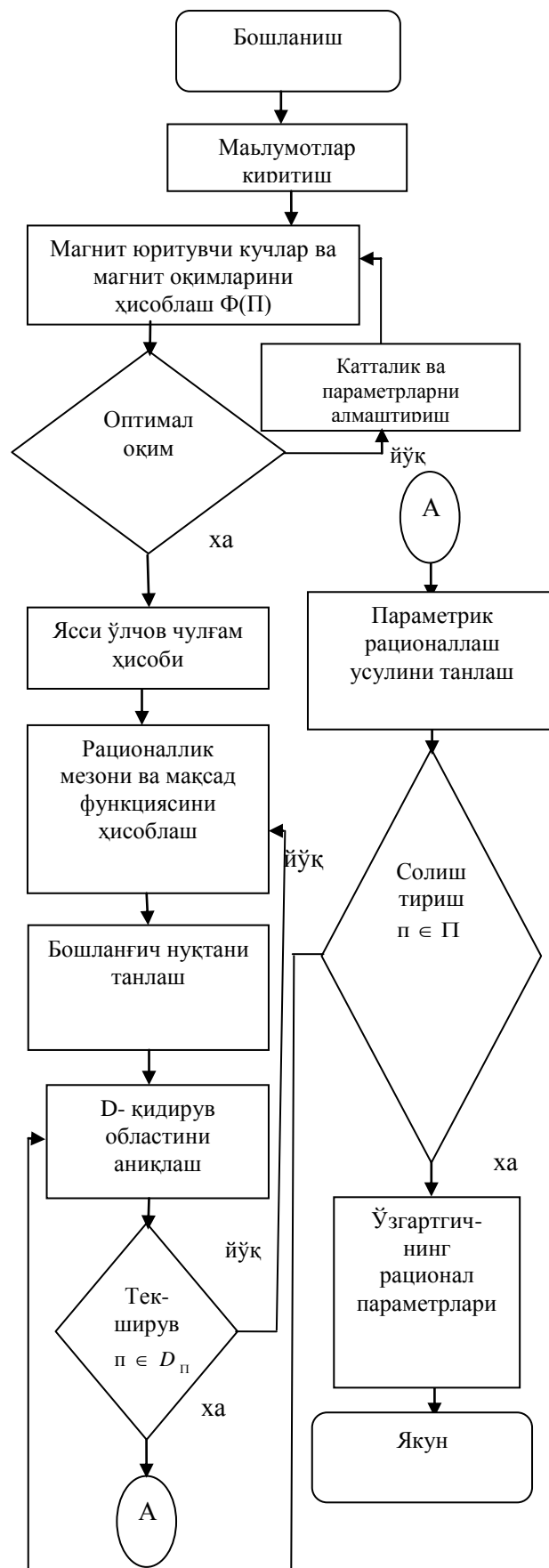
16 - расм. Тўрт стерженли ва ўзакли ясси ўлчов чулғамли токни кучланишга электромагнит ўзгартгичларлар магнит ўзгартириш тизимлари (ЎЗР патенти №04475)

Ясси ўлчов чулғамли токни кучланишга электромагнит ўзгартгичлар
асосий қисмларининг морфологик жадвали

I. Қўзғатиш чулғам – бирламчи ток ўтказгичлар																																																																	
I.1. Бир толали		I.2. Кўп толали		I.3. Тўғрибурчак – шина ўтказгич																																																													
	<table border="1"> <tr><td>5</td><td>1</td></tr> <tr><td>1</td><td>2</td></tr> <tr><td>5</td><td>3</td></tr> <tr><td>1</td><td>4</td></tr> <tr><td>1</td><td>5</td></tr> <tr><td>5</td><td>6</td></tr> <tr><td>1</td><td>7</td></tr> <tr><td>5</td><td>8</td></tr> <tr><td>5</td><td>9</td></tr> <tr><td>1</td><td>10</td></tr> </table>	5	1	1	2	5	3	1	4	1	5	5	6	1	7	5	8	5	9	1	10		<table border="1"> <tr><td>1</td><td>1</td></tr> <tr><td>3</td><td>2</td></tr> <tr><td>3</td><td>3</td></tr> <tr><td>3</td><td>4</td></tr> <tr><td>3</td><td>5</td></tr> <tr><td>3</td><td>6</td></tr> <tr><td>3</td><td>7</td></tr> <tr><td>3</td><td>8</td></tr> <tr><td>4</td><td>9</td></tr> <tr><td>3</td><td>10</td></tr> </table>	1	1	3	2	3	3	3	4	3	5	3	6	3	7	3	8	4	9	3	10	<table border="1"> <tr><td>4</td><td>1</td></tr> <tr><td>2</td><td>2</td></tr> <tr><td>3</td><td>3</td></tr> <tr><td>2</td><td>4</td></tr> <tr><td>2</td><td>5</td></tr> <tr><td>4</td><td>6</td></tr> <tr><td>2</td><td>7</td></tr> <tr><td>4</td><td>8</td></tr> <tr><td>2</td><td>9</td></tr> <tr><td>2</td><td>10</td></tr> </table>	4	1	2	2	3	3	2	4	2	5	4	6	2	7	4	8	2	9	2	10	
5	1																																																																
1	2																																																																
5	3																																																																
1	4																																																																
1	5																																																																
5	6																																																																
1	7																																																																
5	8																																																																
5	9																																																																
1	10																																																																
1	1																																																																
3	2																																																																
3	3																																																																
3	4																																																																
3	5																																																																
3	6																																																																
3	7																																																																
3	8																																																																
4	9																																																																
3	10																																																																
4	1																																																																
2	2																																																																
3	3																																																																
2	4																																																																
2	5																																																																
4	6																																																																
2	7																																																																
4	8																																																																
2	9																																																																
2	10																																																																
I.4. Тўртбурчак		I.5. Кўп катламли		Сифат кўрсаткичлари																																																													
	<table border="1"> <tr><td>2</td><td>1</td></tr> <tr><td>5</td><td>2</td></tr> <tr><td>4</td><td>3</td></tr> <tr><td>5</td><td>4</td></tr> <tr><td>5</td><td>5</td></tr> <tr><td>4</td><td>6</td></tr> <tr><td>4</td><td>7</td></tr> <tr><td>2</td><td>8</td></tr> <tr><td>3</td><td>9</td></tr> <tr><td>4</td><td>10</td></tr> </table>	2	1	5	2	4	3	5	4	5	5	4	6	4	7	2	8	3	9	4	10		<table border="1"> <tr><td>3</td><td>1</td></tr> <tr><td>4</td><td>2</td></tr> <tr><td>1</td><td>3</td></tr> <tr><td>4</td><td>4</td></tr> <tr><td>4</td><td>5</td></tr> <tr><td>2</td><td>6</td></tr> <tr><td>5</td><td>7</td></tr> <tr><td>1</td><td>8</td></tr> <tr><td>1</td><td>9</td></tr> <tr><td>5</td><td>10</td></tr> </table>	3	1	4	2	1	3	4	4	4	5	2	6	5	7	1	8	1	9	5	10	<table border="1"> <tr><td>Сезгирлик</td><td>1</td></tr> <tr><td>Нарх</td><td>2</td></tr> <tr><td>Ишончлилик</td><td>3</td></tr> <tr><td>Оғиши</td><td>4</td></tr> <tr><td>Ночизиклик</td><td>5</td></tr> <tr><td>Кириш диапазон</td><td>6</td></tr> <tr><td>Пўлат исрофи</td><td>7</td></tr> <tr><td>Тезлик</td><td>8</td></tr> <tr><td>Экологик</td><td>9</td></tr> <tr><td>Оғирлик</td><td>10</td></tr> </table>	Сезгирлик	1	Нарх	2	Ишончлилик	3	Оғиши	4	Ночизиклик	5	Кириш диапазон	6	Пўлат исрофи	7	Тезлик	8	Экологик	9	Оғирлик	10	
2	1																																																																
5	2																																																																
4	3																																																																
5	4																																																																
5	5																																																																
4	6																																																																
4	7																																																																
2	8																																																																
3	9																																																																
4	10																																																																
3	1																																																																
4	2																																																																
1	3																																																																
4	4																																																																
4	5																																																																
2	6																																																																
5	7																																																																
1	8																																																																
1	9																																																																
5	10																																																																
Сезгирлик	1																																																																
Нарх	2																																																																
Ишончлилик	3																																																																
Оғиши	4																																																																
Ночизиклик	5																																																																
Кириш диапазон	6																																																																
Пўлат исрофи	7																																																																
Тезлик	8																																																																
Экологик	9																																																																
Оғирлик	10																																																																
II. Магнит ўтказгич – ўзгартириш тизими																																																																	
II.1. Юлдузсимон		II.2. Стерженсимон		II.3. Айланасимон																																																													
	<table border="1"> <tr><td>3</td><td>1</td></tr> <tr><td>1</td><td>2</td></tr> <tr><td>4</td><td>3</td></tr> <tr><td>1</td><td>4</td></tr> <tr><td>1</td><td>5</td></tr> <tr><td>1</td><td>6</td></tr> <tr><td>5</td><td>7</td></tr> <tr><td>1</td><td>8</td></tr> <tr><td>1</td><td>9</td></tr> <tr><td>1</td><td>10</td></tr> </table>	3	1	1	2	4	3	1	4	1	5	1	6	5	7	1	8	1	9	1	10		<table border="1"> <tr><td>5</td><td>1</td></tr> <tr><td>2</td><td>2</td></tr> <tr><td>5</td><td>3</td></tr> <tr><td>2</td><td>4</td></tr> <tr><td>2</td><td>5</td></tr> <tr><td>2</td><td>6</td></tr> <tr><td>4</td><td>7</td></tr> <tr><td>2</td><td>8</td></tr> <tr><td>2</td><td>9</td></tr> <tr><td>2</td><td>10</td></tr> </table>	5	1	2	2	5	3	2	4	2	5	2	6	4	7	2	8	2	9	2	10	<table border="1"> <tr><td>1</td><td>1</td></tr> <tr><td>5</td><td>2</td></tr> <tr><td>1</td><td>3</td></tr> <tr><td>4</td><td>4</td></tr> <tr><td>3</td><td>5</td></tr> <tr><td>3</td><td>6</td></tr> <tr><td>4</td><td>7</td></tr> <tr><td>3</td><td>8</td></tr> <tr><td>5</td><td>9</td></tr> <tr><td>3</td><td>10</td></tr> </table>	1	1	5	2	1	3	4	4	3	5	3	6	4	7	3	8	5	9	3	10	
3	1																																																																
1	2																																																																
4	3																																																																
1	4																																																																
1	5																																																																
1	6																																																																
5	7																																																																
1	8																																																																
1	9																																																																
1	10																																																																
5	1																																																																
2	2																																																																
5	3																																																																
2	4																																																																
2	5																																																																
2	6																																																																
4	7																																																																
2	8																																																																
2	9																																																																
2	10																																																																
1	1																																																																
5	2																																																																
1	3																																																																
4	4																																																																
3	5																																																																
3	6																																																																
4	7																																																																
3	8																																																																
5	9																																																																
3	10																																																																
II.4. Учбурчак		II.5. Тўғрибурчак		Сифат кўрсаткичлари																																																													
	<table border="1"> <tr><td>2</td><td>1</td></tr> <tr><td>3</td><td>2</td></tr> <tr><td>3</td><td>3</td></tr> <tr><td>4</td><td>4</td></tr> <tr><td>4</td><td>5</td></tr> <tr><td>5</td><td>6</td></tr> <tr><td>5</td><td>7</td></tr> <tr><td>4</td><td>8</td></tr> <tr><td>3</td><td>9</td></tr> <tr><td>4</td><td>10</td></tr> </table>	2	1	3	2	3	3	4	4	4	5	5	6	5	7	4	8	3	9	4	10		<table border="1"> <tr><td>4</td><td>1</td></tr> <tr><td>4</td><td>2</td></tr> <tr><td>2</td><td>3</td></tr> <tr><td>5</td><td>4</td></tr> <tr><td>5</td><td>5</td></tr> <tr><td>4</td><td>6</td></tr> <tr><td>3</td><td>7</td></tr> <tr><td>5</td><td>8</td></tr> <tr><td>4</td><td>9</td></tr> <tr><td>5</td><td>10</td></tr> </table>	4	1	4	2	2	3	5	4	5	5	4	6	3	7	5	8	4	9	5	10	<table border="1"> <tr><td>Сезгирлик</td><td>1</td></tr> <tr><td>Нарх</td><td>2</td></tr> <tr><td>Ишончлилик</td><td>3</td></tr> <tr><td>Оғиши</td><td>4</td></tr> <tr><td>Ночизиклик</td><td>5</td></tr> <tr><td>кириш диапазон</td><td>6</td></tr> <tr><td>Пўлат исрофи</td><td>7</td></tr> <tr><td>Тезлик</td><td>8</td></tr> <tr><td>Экологик</td><td>9</td></tr> <tr><td>Оғирлик</td><td>10</td></tr> </table>	Сезгирлик	1	Нарх	2	Ишончлилик	3	Оғиши	4	Ночизиклик	5	кириш диапазон	6	Пўлат исрофи	7	Тезлик	8	Экологик	9	Оғирлик	10	
2	1																																																																
3	2																																																																
3	3																																																																
4	4																																																																
4	5																																																																
5	6																																																																
5	7																																																																
4	8																																																																
3	9																																																																
4	10																																																																
4	1																																																																
4	2																																																																
2	3																																																																
5	4																																																																
5	5																																																																
4	6																																																																
3	7																																																																
5	8																																																																
4	9																																																																
5	10																																																																
Сезгирлик	1																																																																
Нарх	2																																																																
Ишончлилик	3																																																																
Оғиши	4																																																																
Ночизиклик	5																																																																
кириш диапазон	6																																																																
Пўлат исрофи	7																																																																
Тезлик	8																																																																
Экологик	9																																																																
Оғирлик	10																																																																
III. Ясси ўлчов чулғамлар																																																																	
III.1. Тўғрибурчак		III.2. Учбурчак		III.3. Айланасимон																																																													
	<table border="1"> <tr><td>4</td><td>1</td></tr> <tr><td>3</td><td>2</td></tr> <tr><td>4</td><td>3</td></tr> <tr><td>4</td><td>4</td></tr> <tr><td>3</td><td>5</td></tr> <tr><td>1</td><td>6</td></tr> <tr><td>3</td><td>7</td></tr> <tr><td>4</td><td>8</td></tr> <tr><td>4</td><td>9</td></tr> <tr><td>3</td><td>10</td></tr> </table>	4	1	3	2	4	3	4	4	3	5	1	6	3	7	4	8	4	9	3	10		<table border="1"> <tr><td>5</td><td>1</td></tr> <tr><td>1</td><td>2</td></tr> <tr><td>5</td><td>3</td></tr> <tr><td>5</td><td>4</td></tr> <tr><td>5</td><td>5</td></tr> <tr><td>3</td><td>6</td></tr> <tr><td>1</td><td>7</td></tr> <tr><td>5</td><td>8</td></tr> <tr><td>5</td><td>9</td></tr> <tr><td>5</td><td>10</td></tr> </table>	5	1	1	2	5	3	5	4	5	5	3	6	1	7	5	8	5	9	5	10		<table border="1"> <tr><td>3</td><td>1</td></tr> <tr><td>2</td><td>2</td></tr> <tr><td>3</td><td>3</td></tr> <tr><td>3</td><td>4</td></tr> <tr><td>4</td><td>5</td></tr> <tr><td>2</td><td>6</td></tr> <tr><td>2</td><td>7</td></tr> <tr><td>3</td><td>8</td></tr> <tr><td>3</td><td>9</td></tr> <tr><td>4</td><td>10</td></tr> </table>	3	1	2	2	3	3	3	4	4	5	2	6	2	7	3	8	3	9	4	10
4	1																																																																
3	2																																																																
4	3																																																																
4	4																																																																
3	5																																																																
1	6																																																																
3	7																																																																
4	8																																																																
4	9																																																																
3	10																																																																
5	1																																																																
1	2																																																																
5	3																																																																
5	4																																																																
5	5																																																																
3	6																																																																
1	7																																																																
5	8																																																																
5	9																																																																
5	10																																																																
3	1																																																																
2	2																																																																
3	3																																																																
3	4																																																																
4	5																																																																
2	6																																																																
2	7																																																																
3	8																																																																
3	9																																																																
4	10																																																																
III.4. Диф. тўғрибурчак.		III.5. Диф. учбурчак		Сифат кўрсаткичлари																																																													
	<table border="1"> <tr><td>1</td><td>1</td></tr> <tr><td>5</td><td>2</td></tr> <tr><td>1</td><td>3</td></tr> <tr><td>1</td><td>4</td></tr> <tr><td>1</td><td>5</td></tr> <tr><td>4</td><td>6</td></tr> <tr><td>5</td><td>7</td></tr> <tr><td>1</td><td>8</td></tr> <tr><td>1</td><td>9</td></tr> <tr><td>1</td><td>10</td></tr> </table>	1	1	5	2	1	3	1	4	1	5	4	6	5	7	1	8	1	9	1	10		<table border="1"> <tr><td>2</td><td>1</td></tr> <tr><td>4</td><td>2</td></tr> <tr><td>2</td><td>3</td></tr> <tr><td>2</td><td>4</td></tr> <tr><td>2</td><td>5</td></tr> <tr><td>5</td><td>6</td></tr> <tr><td>4</td><td>7</td></tr> <tr><td>2</td><td>8</td></tr> <tr><td>2</td><td>9</td></tr> <tr><td>2</td><td>10</td></tr> </table>	2	1	4	2	2	3	2	4	2	5	5	6	4	7	2	8	2	9	2	10	<table border="1"> <tr><td>Сезгирлик</td><td>1</td></tr> <tr><td>Нарх</td><td>2</td></tr> <tr><td>Ишончлилик</td><td>3</td></tr> <tr><td>Оғиши</td><td>4</td></tr> <tr><td>Ночизиклик</td><td>5</td></tr> <tr><td>кириш диапазон</td><td>6</td></tr> <tr><td>Пўлат исрофи</td><td>7</td></tr> <tr><td>Тезлик</td><td>8</td></tr> <tr><td>Экологик</td><td>9</td></tr> <tr><td>Оғирлик</td><td>10</td></tr> </table>	Сезгирлик	1	Нарх	2	Ишончлилик	3	Оғиши	4	Ночизиклик	5	кириш диапазон	6	Пўлат исрофи	7	Тезлик	8	Экологик	9	Оғирлик	10	
1	1																																																																
5	2																																																																
1	3																																																																
1	4																																																																
1	5																																																																
4	6																																																																
5	7																																																																
1	8																																																																
1	9																																																																
1	10																																																																
2	1																																																																
4	2																																																																
2	3																																																																
2	4																																																																
2	5																																																																
5	6																																																																
4	7																																																																
2	8																																																																
2	9																																																																
2	10																																																																
Сезгирлик	1																																																																
Нарх	2																																																																
Ишончлилик	3																																																																
Оғиши	4																																																																
Ночизиклик	5																																																																
кириш диапазон	6																																																																
Пўлат исрофи	7																																																																
Тезлик	8																																																																
Экологик	9																																																																
Оғирлик	10																																																																

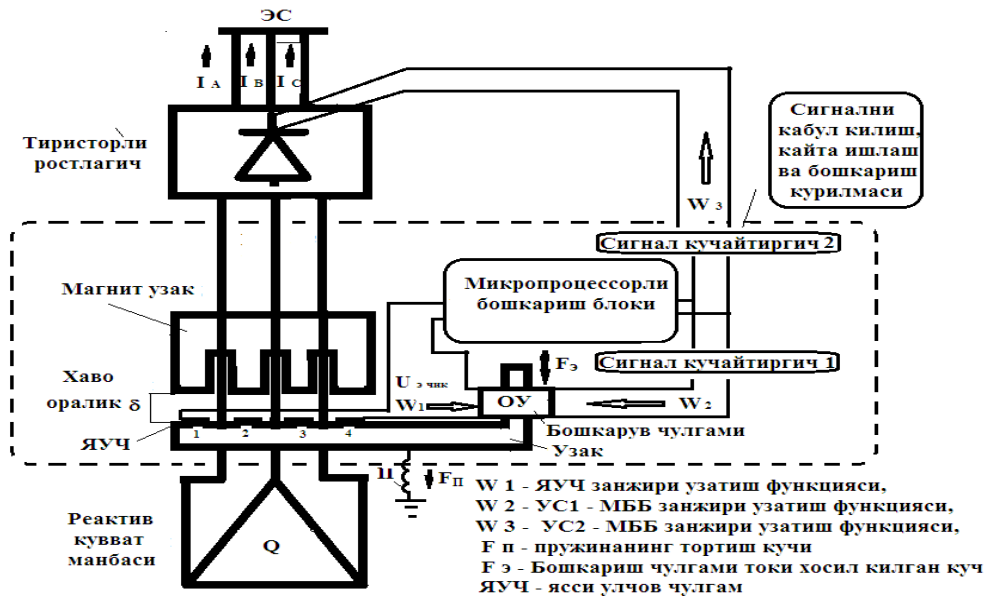


13-расм. Тузилишни рационаллаш алгоритми блок-чизмаси



14-расм. Рационал параметрларини аниқлаш алгоритми блок-чизмаси

Реактив қувват манбаларини ясси ўлчов чулғамли токни кучланишга электромагнит ўзгартгичлар асосида комбинацияланган бошқарувининг тузилиш тамойили 17 - расмда келтирилган.



17 - расм. Реактив қувват манбаларини ясси ўлчов чулғамли токни кучланишга электромагнит ўзгартгичлар асосида комбинацияланган бошқарувининг тузилиш тамойили чизмаси

Энерготизим реактив қуввати бошқарувининг токни кучланишга ясси ўлчов чулғамли электромагнит ўзгартгичларнинг қисмларини улаш техник маълумотлари 4- жадвалда келтирилган.

4 – жадвал

Токни кучланишга ясси ўлчов чулғамли электромагнит ўзгартгичларнинг қисмларини улаш техник маълумотлари

Ки-риш тугун рақами	Бирламчи ток		Чиқиш кучланиши $U_{эчик}$, (В)	Ўзгариш коэффициенти K_n	Қаршилик R_n (mΩ)	Сигим L_p , (μН)	ЯУЧ ўзгариш элементлар чиқишини тавсия қилинган улаишлари
	I_p (А)	$I_{мак}$ (А)					
1	25	36	20	1/1000	0,3	0,023	Кириш 5 4 3 2 1 Чиқиш 6 7 8 9 10
2	12	18	19	2/1000	1,1	0,09	Кириш 5 4 3 2 1 Чиқиш 6 7 8 9 10
3	8	12	19	3/1000	2,5	0,21	Кириш 5 4 3 2 1 Чиқиш 6 7 8 9 10
4	6	9	19	4/1000	4,4	0,37	Кириш 5 4 3 2 1 Чиқиш 6 7 8 9 10
5	5	7	20	5/1000	6,3	0,58	Кириш 5 4 3 2 1 Чиқиш 6 7 8 9 10

Реактив қувват динамик манбаларининг комбинацияланган бошқарувида қўлланилган ясси ўлчов чулғамли токни кучланишга электромагнит ўзгартгичларнинг ясси ўлчов чулғамларининг уланиш чизмаси ва қурилманинг чиқишидаги кучланишнинг ўзгариш таснифи 18 - расмда келтирилган.



18-расм. Реактив қувват динамик манбасини айланиш тезлигини назорат қилиш ва бошқариш чизмаси (а) ҳамда ясси ўлчов чулғамли токни кучланишга электромагнит ўзгартгичларнинг чиқиш таснифлари (б)

Ясси ўлчов чулғамли токни кучланишга электромагнит ўзгартгичлар ёрдамида энерготизим электр тармоғидаги реактив қувват динамик манбалари ротори айланиш тезлиги фазагача назорат ва бошқарув юқори (90^0) аниқликда қайд қилинади.

Диссертация хулосасида тадқиқотлар яқунлари ва амалий тавсиялар келтирилган.

ХУЛОСА

Диссертацияда назарий тизимли таҳлил ва амалий тадқиқотлар асосида энерготизим электр тармоқларидаги реактив қувватнинг комбинацияланган бошқарувида қўлланилувчи уч фазали токни кучланишга ясси ўлчов чулғамли электромагнит ўзгартгичларининг тузилиш технологиялари, тадқиқот ва лойиҳалаш алгоритмлари, моделлари, ҳисоблаш усуллари, электромагнит ўзгартгичларнинг қурилмаларини тузилишини яратиш ва ишлаб чиқиш асослари амалга оширилди ва уларни микропроцессорли блок таркибида бошқарувни амалиётга кенг жорий этиш имкониятлари яратилди.

Тадқиқотлар асосида қуйидаги асосий натижаларга эришилди:

1. Энерготизимда электр энергияни ишлаб чиқариш, узатиш, тақсимлаш ва истеъмол қилишда ясси ўлчов чулғамли электромагнит ўзгартгичлар, модел, усул ва технологиялар бир ва уч фазали бирламчи электр тоқларини юқори аниқликда назорат ва бошқарувини амалга оширади.

2. Бир ва уч фазали бирламчи электр тоқларни иккиламчи кучланишга ясси ўлчов чулғамли электромагнит ўзгартгичларнинг магнит ўзгартириш тизимларидаги магнит юритувчи куч ва магнит оқимнинг тарқалиши катталиқ ва параметрларини тадқиқ этиш алгоритм, модел ва усуллари ўз ичига олган граф модел ва рационал математик аппарат электромагнит ўзгартгичларнинг самарали ишлашини таъминлайди.

3. Назарий ва амалий тажрибалар асосида олинган статик, динамик ва метрологик таснифлар ясси ўлчов чулғамли бир ва уч фазали бирламчи электр тоқларни иккиламчи кучланишга электромагнит ўзгартгичларни амалиётга кенг жорий этиш имкониятини беради.

4. Ясси ўлчов чулғамли бир ва уч фазали бирламчи электр тоқларни иккиламчи кучланишга электромагнит ўзгартгичларнинг $U_{эчик}$ чиқиш кучланишларининг рационал қийматлари δ - ҳаво оралиқнинг $0,002 - 0,003$ м ва $W_{инс}$ - ясси ўлчов чулғам ўрамлар сонининг $3 - 4$ га тенг миқдорларида ҳосил қилиниши тадқиқотлар асосида назарий ва амалий жиҳатдан тасдиқланади. Яратилган ўзгартгичлар бошқарув тизимининг ишончли ишлаш кўрсаткичи юқори, яъни $0,96$ миқдорга тенг бўлишлигини таъминлайди.

5. Атроф-муҳит температурасининг 10^0C га ўзгариши $0,03$ % миқдордаги, ясси ўлчов чулғам шаклини нотўғри тайёрланишини $0,07$ % миқдордаги электромагнит токни кучланишга ясси ўлчов чулғамли иккиламчи чиқиш кучланишининг ўзгаришини ҳосил қилади.

6. Ясси ўлчов чулғамли токни кучланишга электромагнит ўзгартгичларнинг энтропия хатолиги $0,2\%$ дан кичик, йиғинди ўрта квадратик хатоликнинг тажриба қиймати $0,21\%$ га эришишини таъминлайди.

7. Токни кучланишга ясси ўлчов чулғамли электромагнит ўзгартгичларнинг хатоликлари манбаларини таъсири классификацияланган уларнинг таъсирини ҳисоблаш ва камайтириш алгоритм, модел ва усуллари бир ва уч фазали бирламчи электр тоқларни иккиламчи кучланишга электромагнит ўзгартгичларни рационал тузишни таъминлайди.

8. Энерготизимда реактив қувват манбаларини комбинацияланган бошқаруви, бир ва уч фазали электр тармоқлардаги электр тоқларни реал вақт мобайнида ўзгаришларини симметриклигини назорат, электр тармоқлар бир ва уч фазали бирламчи тоқларининг адекват асосда иккиламчи кучланишга ўзгартирилишини таъминловчи ўлчов чулғамли электромагнит ўзгартгичларнинг мажмуасини яратилиши энергия ва ресурс тежамкор энерготизимларни рационал қуриш усуллари ва тамойилларини амалда жорий этишни таъминлайди.

9. Реактив қувват манбаларини ўрнатиш ва уларни автоматик бошқаришнинг меъерий номинал электр катталиқлар билан таъминлаш ўрнатма қуввати 50 кВт ва ундан катта ва кучланиши 500 кВ дан кам бўлган электр энергетик қурилмаларнинг энергия ва ресурс тежамкорлиги стандарт $57,5$ В кучланиш ўрнига $61,81$ В бўлганда бошқарилаётган реактив электр энергия кучланиши $4,31$ В га, фаза кучланиш бўйича $7,5\%$ га, чизиқли кучланиш бўйича $\sqrt{3} * 7,5 = 12,9\%$ га ортиқ бўлиши асосланди.

10. Токни кучланишга электромагнит ўзгартгичлар электр энергетика тизимидан таъминланувчи 20 дан ортиқ ташкилотда жорий қилинган ва реактив қувватни комбинацияланган автоматик бошқарувнинг $1,0$ аниқлик даражасидан $0,5$ аниқлик даражасига ошириш ҳисобига ишлаб чиқилган электр энергиянинг меъёрда белгиланган технологик сарфини $13,29\%$ ўрнига $11,26\%$ ($1,13$ млрд.кВт.соат)га камайтиради.

**НАУЧНЫЙ СОВЕТ ПО ПРИСУЖДЕНИЮ УЧЕНОЙ СТЕПЕНИ
ДОКТОРА НАУК 16.07.2013.Т/ФМ.29.01 ПРИ ТАШКЕНТСКОМ
УНИВЕРСИТЕТЕ ИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ И
НАЦИОНАЛЬНОМ УНИВЕРСИТЕТЕ УЗБЕКИСТАНА**

**ТАШКЕНТСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ
ИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ**

СИДДИКОВ ИЛХОМЖОН ХАКИМОВИЧ

**ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫЕ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛИ ТОКА В
НАПРЯЖЕНИЕ С ПЛОСКИМИ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫМИ ОБМОТКАМИ
ДЛЯ КОМБИНИРОВАННОГО УПРАВЛЕНИЯ РЕАКТИВНОЙ
МОЩНОСТЬЮ ЭНЕРГОСИСТЕМ**

**05.01.06 – Элементы и устройства вычислительной техники и систем управления
(технические науки)**

АВТОРЕФЕРАТ ДОКТОРСКОЙ ДИССЕРТАЦИИ

Ташкент – 2015

Тема докторской диссертации зарегистрирована за № 30.09.2014/В2014.5.Т301 в Высшей аттестационной комиссии при Кабинете Министров Республики Узбекистан.

Докторская диссертация выполнена в Ташкентском государственном техническом университете и Ташкентском университете информационных технологий.

Полный текст докторской диссертации размещен на веб-странице научного совета по присуждению учёной степени доктора наук 16.07.2013.Т/ФМ.29.01 при Ташкентском университете информационных технологий и Национальном университете Узбекистана по адресу www.tuit.uz.

Автореферат диссертации на трех языках (узбекский, русский, английский) размещен на веб-странице по адресу www.tuit.uz и Информационно-образовательном портале «ZIYONET» по адресу www.ziyonet.uz.

**Научный
консультант:**

Азимов Рахмат Каримович
доктор технических наук, профессор

**Официальные
оппоненты:**

Ганиев Салим Каримович
доктор технических наук, профессор

Абдукаюмов Абдурашид Абдукаюмович
доктор технических наук, профессор

Муратов Хаким Махмудович
доктор технических наук, профессор

**Ведущая
организация:**

**Ташкентский институт инженеров
железнодорожного транспорта**

Защита диссертации состоится «___» марта 2015 г. в 10⁰⁰ часов на заседании научного совета 16.07.2013.Т/ФМ.29.01 при Ташкентском университете информационных технологий и Национальном университете Узбекистана. (Адрес: 100202, Ташкент, ул. Амира Темура, 108. Тел.: (99871) 238-64-43; факс: (99871) 238-65-52; e-mail: tuit@tuit.uz).

С докторской диссертацией можно ознакомиться в Информационно-ресурсном центре Ташкентского университета информационных технологий (регистрационный номер № 57). Адрес: 100202, Ташкент, ул. Амира Темура, 108. Тел.: (99871) 238-65-44.

Автореферат диссертации разослан «___» февраля 2015 года.
(протокол рассылки № 02 от _____ февраля 2015 г.).

Х.К.Арипов

Председатель научного совета по присуждению
учёной степени доктора наук, д.ф.м.н., профессор

М.С.Якубов

Ученый секретарь научного совета по
присуждению учёной степени доктора наук,
д.т.н., профессор

М.М.Мусаев

Председатель научного семинара при Научном
совете по присуждению учёной степени доктора
наук, д.т.н., профессор

АННОТАЦИЯ ДОКТОРСКОЙ ДИССЕРТАЦИИ

Актуальность и востребованность темы диссертации. При управлении непрерывными процессами производства, передачи, распределения и потребления электрической энергии большое значение имеют точность и унифицированность элементов и устройств системы управления с широким использованием первичных средств преобразования тока, так как неадекватный контроль и управление электроэнергией и мощностями ведут к значительному экономическому ущербу. Разработка комплексного подхода, обеспечивающего высокую точность и эффективность комбинированного управления источниками реактивной мощности, расширение функциональных возможностей, упрощение конструкции, уменьшение весогабаритных показателей, улучшение технологии изготовления, обеспечение бесконтактности измерительных процессов, преобразование тока на основе применения современных первичных измерительных преобразователей являются актуальными задачами управления энергосистемами. Первичные измерительные преобразователи тока при этом, являясь основными элементами информационно-измерительных и управляющих систем, практически полностью определяют технические и экономические показатели энергосистем.

При разработке и применении современных преобразователей тока следует исходить из принципов и требований ГОСТов (ГОСТ СНГ 13109 - 97, EN-50160, МЭК 1000-3х) к системам приборов и средств автоматизации, основными из которых являются:

блочно-модульный принцип конструирования, обеспечивающий универсальность преобразователей тока при использовании рационального минимума конструктивных элементов, облегчающего применение современной технологии;

создание первичных преобразователей тока, нормирующих модулей при обеспечении их информационной, энергетической, метрологической, конструктивной, структурной совместимости на основе последовательной унификации и стандартизации.

В настоящее время применение электромагнитных преобразователей трехфазного тока с высокой точностью, линейностью выходных характеристик, унифицированными выходными величинами, расширение спектра преобразуемых электрических величин ограничено из-за недостаточного формирования принципов построения, методов расчета и проектирования распределенных магнитных систем преобразователей. Применяемые классические методы исследования магнитных цепей и систем преобразования не обеспечивают необходимую точность, особенно при несимметрии трехфазного первичного тока электрической сети, не обладают достаточной общностью, охватывая только величины и параметры цепей электрической и магнитной природы. Магнитные системы преобразования с нелинейными и неоднородными параметрами в расчетах рассматриваются как объекты с сосредоточенными параметрами.

Классические однофазные трансформаторы тока имеют сложную преобразовательную часть, большие весогабаритные показатели, трудоемки при проектировании и эксплуатации в системах управления, не обеспечивают унифицированность выходной величины при совместной работе с современной техникой обработки информации. Они не учитывают взаимовлияния магнитных потоков и полей, созданных токами трехфазной электрической сети энергосистем.

Данная исследовательская работа направлена на практическую реализацию Постановлений Кабинета Министров Республики Узбекистан № 245 от 22 сентября 2008 года «Правила пользования электрической и тепловой энергией» и № 295 от 1 ноября 2013 года «О дополнительных мерах по совершенствованию деятельности ГАК «Узбекэнерго» и укреплению дисциплины расчетов за потребленную электрическую энергию».

Востребованность исследования обоснована тем, что классические однофазные первичные измерительные преобразователи тока и напряжения не позволяют обеспечить устройства контроля и управления достоверной и одновременной информацией о величинах и параметрах электрической энергии одно- и трехфазной электрической сети. Указанные обстоятельства обуславливают необходимость разработки и внедрения надежных, унифицированных, точных электромагнитных преобразователей тока в напряжение, учитывающих несимметрию токов трехфазной электрической сети, отличающихся друг от друга и по величине, и по фазе, чем объясняется востребованность данного исследования.

Соответствие исследования приоритетным направлениям развития науки и технологий Республики Узбекистан. Диссертация выполнена в соответствии с приоритетными направлениями развития науки и технологии: ППИ-3 – «Энергетика, энерго- и ресурсосбережение, транспорт, машино- и приборостроение»; НТП-17–«Разработка современных информационных систем, интеллектуальных средств управления, научно-технических и программных продуктов, обеспечивающих широкое развитие и внедрение информационных и телекоммуникационных технологий».

Обзор международных научных исследований по теме диссертации.

Исследования по разработке элементов и устройств комбинированного управления величинами и параметрами трехфазного тока электрических сетей с учетом особенностей, заключающихся в отличии первичных токов как по величине, так и по фазе, интенсивно ведутся и достигнуты определенные успехи учеными стран США (Advantech, General Electric, SeaTech), Великобритании (HAWK, Festo, Rockwell Automation), России (Электроцит, Электроаппарат), Германии (Siemens, GE Fanuc), Японии (Sony, Iconics), Южной Кореи (Mitsubishi), Китая (Chint), Дании (MOX,ABB), Голландии (Honeywell, Wonderware) и др.

В указанных научных центрах развиваются технологии совершенствования измерительных преобразователей тока и элементная база систем преобразования устройств контроля и управления электрическими, магнитными и др. величинами и параметрами.

Большие погрешности преобразования показателей электроэнергии в указанных научных центрах приводят к нерациональному использованию источников электроэнергии, пропускной способности трансформаторов и линий электропередачи, резервов мощности на электростанциях, затрудняют контроль и управление режимами работы энергосистем и приводят к финансовым потерям как у производителей и поставщиков, так и у потребителей электроэнергии.

Низкая точность анализированных устройств обусловлена рядом недостатков существующих систем преобразования тока, поскольку измерительные комплексы создавались ранее, а также создаются и в настоящее время по типовым проектам, разработанным еще в XX веке, в которых не предусматривались решения для обеспечения высокой точности преобразователями тока и унифицированности выходного сигнала от первичных измерительных преобразователей.

Степень изученности проблемы. Комплексный анализ элементов и систем управления источниками реактивной мощности и их режимами, принципов их построения свидетельствует о недостаточной изученности проблемы в области электромагнитного преобразования токов в напряжение и комбинированного управления источниками реактивной мощности энергосистем.

По данной тематике осуществлены и ведутся исследования ведущими зарубежными учеными, такими как H.Schaumburg, E.Ritchie, E. Krontiris, R.Nanitch, I.Rampias, E.Stathakis, Б.С.Сотсков, К.М.Поливанов, Л.Ф.Куликовский, Л.А.Островский, В.П.Миловзоров, Е.П.Осадчий, М.Ф.Зарипов, М.М.Белов, А.А.Преображенский, Н.Е.Конюхов, Е.С.Левщина, П.В.Новицкий, М.А.Ураксеев и др.

Исследования в данной области также проводятся отечественными учеными, такими как Н.Р.Юсупбеков, Т.Х.Насыров, Х.З.Игамбердиев, Р.К.Азимов, К.Р.Аллаев, М.И.Ибодуллаев, А.А.Абдукаюмов, Ю.Г.Шипулин, А.А.Халиков, С.Ф.Амиров, А.М.Плахтиев, П.М.Матякубова и др.

Однако формирование приоритетных методов построения и исследования электромагнитных преобразователей первичного тока во вторичное напряжение, обеспечивающих адекватность величины выходного напряжения к первичному току, алгоритмов моделирования и исследования, ориентированных на решение комплекса задач по обеспечению унификации выходной величины и учитывающих несимметрию трехфазных токов в системах комбинированного управления реактивной мощностью энергосистем, требуют проведения более глубоких и всесторонних исследований. Это обстоятельство связано с большими погрешностями при преобразовании величин первичных токов энергосистем, которые приводят к нерациональному использованию источников электроэнергии, затрудняют контроль и управление режимами их работы, приводят к излишним финансовым потерям, как у производителей, так и у потребителей электроэнергии. Основными факторами появления погрешностей для преобразователей тока являются: несимметрия токов и напряжений по

величине и фазам, качания частоты, изменения температуры окружающей среды, появление гармоник токов и напряжений электрической сети, вибрационные нагрузки при работе преобразователей и другие.

Системный анализ электромагнитных преобразователей первичного тока позволил также установить, что классические конструкции преобразователей тока систем управления реактивной мощностью – трансформаторы тока – обеспечивают на выходе ток величиной 5 А и при номинальности первичного имеют: ограничения по диапазону преобразуемого тока; значительные погрешности; сложные и нетехнологичные конструкции; большие габариты; массу; материалоемкость и стоимость. При номинальности входного тока требуют согласующий элемент – дополнительный трансформатор для унификации совместной работы с современной микропроцессорной техникой и управляющим персональным компьютером. Существующие электромагнитные преобразователи тока при управлении источниками реактивной мощности энергосистем не обеспечивают необходимой точности данных о токах трехфазной электрической сети из-за: однофазного исполнения магнитных систем преобразования; несимметрии преобразуемого трехфазного тока; нелинейности характеристик насыщения магнитных систем и неунифицированности значений выходных величин.

Вышеприведенные факторы ограничивали применение классических электромагнитных преобразователей тока в соответствующих системах управления величин и параметров электрических сетей. Поэтому разработка, исследование и практическое внедрение электромагнитных преобразователей с плоскими измерительными обмотками первичного одно- и трехфазного тока во вторичное напряжение с расширенными функциональными возможностями и унифицированными выходными величинами, учитывающие несимметрию трехфазного тока и создание на их основе систем комбинированного управления реактивной мощностью, являются решением проблемы совершенствования и развития существующих технологий контроля и управления величинами и параметрами электроэнергии энергосистемы.

Связь диссертационного исследования с планами научно-исследовательских работ отражена в следующих международных проектах TACIS-TEMPUS Европейского сообщества: ЕС Т JER 10328–97–«Обучение энергетическому менеджменту в Республике Узбекистан» (1997–2001 гг.), ЕС Т JER-10845-99 –«Дистанционное обучение в Республике Узбекистан» (1999–2003 гг.) и в государственных научно-технических проектах: П-18.17–«Разработка финансово-технологической модели рационального управления энергетической системой Республики Узбекистан в условиях либерального рынка электроэнергии» (2003-2005 гг.); А-12-073 – «Разработка алгоритмов и методики повышения точности данных телеизмерений и оценка рабочего состояния основных электрических сетей электроэнергетической системы Республики Узбекистан» (2006 – 2008 гг.); ИТД–3–123-«Минимизация потерь при передаче электроэнергии по основным электрическим сетям Республики Узбекистан оптимизацией реактивных мощностей источников и коэффициентов трансформации трансформаторов» (2012–2014 гг.); ИОТ -

2013–2–28 «Внедрение в промышленных предприятиях энергосберегающих автоматических регуляторов реактивной мощности» (2013-2014 гг.).

Цель исследования развитие теории и разработка методов и технологии проектирования комплекса устройств электромагнитных преобразователей одно- и трехфазного первичного тока во вторичное напряжение с плоскими измерительными обмотками для комбинированного управления реактивной мощности и обеспечение на их основе энерго- и ресурсосбережение в энергосистемах.

Для достижения цели сформулированы следующие **задачи исследования**:

разработка технологии преобразования первичного тока во вторичное напряжение на основе электромагнитных преобразователей тока с плоскими измерительными обмотками и устройств для приема, обработки и управления для комбинированного управления реактивной мощностью энергосистем;

разработка рационального математического аппарата, включающего алгоритмы, модели и методы для исследования законов распределения магнитодвижущихся сил и магнитных потоков в магнитных системах электромагнитных преобразователей с плоскими измерительными обмотками с целью получения исходных величин и параметров для формирования их основных характеристик;

разработка алгоритмов, моделей и методов расчета параметров и величин основных характеристик: статических и динамических; точности; одновременности преобразования сигналов о токах трехфазной электрической сети; экономичности; информативности; энергосбережения и минимального потребления электроэнергии при совместной работе с полупроводниковыми элементами при управлении реактивной мощностью энергосистем;

разработка алгоритмов и моделей расчета влияния источников погрешностей электромагнитных преобразователей тока в напряжение с плоскими измерительными обмотками, осуществление классификации источников погрешностей;

разработка алгоритмов и методов рационального структурного и параметрического синтеза, рационализации и проектирования на основе критериев: линейности статических характеристик, максимальности чувствительности и надежности;

разработка и внедрение комплекса конструкций электромагнитных преобразователей одно- и трехфазного тока в напряжение с плоскими измерительными обмотками в системах комбинированного управления источниками реактивной мощности, соответствующих принципам построения рациональных энерго- и ресурсосберегающих систем, учитывающие несимметрии при контроле и управлении по величинам и фазам токов трехфазной электрической сети энергосистем.

Объектом исследования является класс электромагнитных преобразователей тока в напряжение с плоскими измерительными обмотками для комбинированного управления источниками реактивной мощности.

Предмет исследования – методы, алгоритмы и программные комплексы исследования магнитных систем преобразования электромагнитных преобразователей тока в напряжение с плоскими измерительными обмотками.

Методы исследования. В процессе исследования применены аналитические и экспериментальные методы и алгоритмы: методы теории электрических, магнитных и тепловых цепей систем преобразования; методы графовых моделей; теория автоматического управления; теория первичных измерительных преобразователей; математическое моделирование; теория погрешностей и надежности.

Научная новизна диссертационного исследования заключается в следующем:

разработана технология преобразования первичного одно- и трехфазного тока в напряжение на основе электромагнитных преобразователей тока с плоскими измерительными обмотками и устройств приема и обработки для комбинированного управления реактивной мощностью энергосистем;

разработаны графовые модели, позволяющие наглядно, эффективно и с высокой формализованностью исследовать задачи комбинированного управления реактивной мощностью энергосистем на основе электромагнитных преобразователей, а также определены принципы построения магнитной системы преобразования;

разработаны алгоритмы и методы построения характеристик электромагнитных преобразователей с плоскими измерительными обмотками: статические при неоднородных и нелинейных параметрах магнитных систем; динамические при симметричных и несимметричных электрических нагрузках;

разработаны алгоритмы и модели расчета влияния источников погрешностей электромагнитных преобразователей тока в напряжение с плоскими измерительными обмотками, осуществлена классификация источников погрешностей;

разработаны алгоритмы и методы рационального структурного и параметрического проектирования на основе критериев: линейности статических характеристик, точности, чувствительности и надежности;

разработаны методики построения конструкций электромагнитных преобразователей одно- и трехфазного первичного тока во вторичное напряжение электрической сети энергосистем при комбинированном управлении источниками реактивной мощности, соответствующие требованиям рациональных энерго- и ресурсосберегающих систем, учитывающие несимметрии при контроле и управлении по величине и фазе токов трехфазной электрической сети, обеспечивающие адекватность показателей качества и изменения первичных и вторичных величин.

Практические результаты исследования заключаются в следующем:

внедрены в производственных условиях алгоритмы, программа расчета сверхнормативного технологического расхода электроэнергии и разработаны преобразователи тока в напряжение в системах комбинированного управления реактивной мощностью энергосистем;

применение автоматически регулируемых источников реактивной мощности в электрических сетях и электроустановках с установленной мощностью 50 кВт и напряжением до 500 кВ позволили повысить производительность и срок службы электрооборудования и электроприемников, энерго- и ресурсосберегающий режим за счет обеспечения элементов и устройств управления стандартным напряжением 57,5 В вместо 61,81 В, превышающий на 4,31 В (7,5%) по фазному напряжению, на $\sqrt{3} \cdot 7,5\% = 12,9\%$ по линейному напряжению управления;

электромагнитные преобразователи тока в напряжение, внедренные в электрических сетях системы электроснабжения более 20 предприятий за счет повышения точности и автоматизации управления источниками реактивной мощности позволили уменьшить технологический расход электроэнергии на 11,26% при нормативном значении 13,29% (обеспечил уменьшение технологического расхода электроэнергии на 1,13 млрд. кВт · час) за счет повышения класса точности элементов и устройств комбинированного управления реактивной мощности энергосистем от 1,0 до 0,5;

определено влияние источников погрешностей электромагнитных преобразователей тока в напряжение с плоскими измерительными обмотками, осуществлена классификация основных источников погрешностей;

внедрен комплекс конструкций электромагнитных преобразователей одно- и трехфазного первичного тока во вторичное напряжение, соответствующий принципам построения рациональных энерго- и ресурсосберегающих систем, учитывающий несимметрии при управлении по фазам токов электрической сети.

Достоверность полученных результатов основана на общепринятых критериях сравнения и показывает, что разработанные графовые модели, подтвержденные аналитическими формулами, позволили проводить сравнительный анализ с теоретическими и экспериментальными данными.

Для оценки результатов исследований проведен сравнительный анализ эффективности по критериям линейности выходной характеристики и точности преобразуемого первичного тока во вторичное напряжение для широкого класса конструкций электромагнитных преобразователей первичного одно- и трехфазного тока во вторичное напряжение.

Теоретическая и практическая значимость результатов исследования. Теоретическая значимость полученных результатов исследования заключается в том, что разработаны методы, модели и алгоритмы, принципы построения преобразователей первичного одно- и трехфазного тока во вторичное напряжение, решены задачи разработки устройств комбинированного управления источниками реактивной мощности на основе надежных электромагнитных преобразователей тока в напряжение с унифицированными выходными сигналами, исследованы основные характеристики и источники погрешностей преобразователей, создана концепция повышения точности и достоверности информации о величинах и фазах трехфазных токов электрической сети.

Практическая ценность работы заключается в применении конструкций магнитных систем преобразования и электромагнитных преобразователей первичного одно и трехфазного тока во вторичное напряжение с плоскими измерительными обмотками, обеспечивающих унифицированные выходные величины, соответствующие принципам построения рациональных энерго- и ресурсосберегающих энергосистем, учитывающие несимметрию при контроле и управлении по фазам токов трехфазной электрической сети.

Внедрение результатов исследования. Разработанные методы, модели, алгоритмы, программные комплексы, элементы и устройства комбинированного управления источниками реактивной мощности внедрены в одно- и трехфазных электрических сетях ГАК «Узбекэнерго», в системах электроснабжения более 20 предприятий, напряжением 0,4 – 6 и 10 кВ и способствуют обеспечению нормированных значений коэффициента реактивной мощности. Результаты выполненной работы способствовали уменьшению потери электроэнергии на 15 % за счет повышения точности комбинированного управления реактивной мощности обеспечили энерго- и ресурсосбережение с годовой экономической эффективностью 1,7 млрд. сум., (справки ГАК «Узбекэнерго» о внедрении разработанные устройства в системах электроснабжения за № МХ – 01– 21/5413 от 17.11.2014 г., № МХ – 01– 21/321 от 27.01.2015 г.).

Апробация работы. Результаты исследования апробированы на 40 научно-практических конференциях, в том числе на 15 международных симпозиумах, конгрессах и семинарах, в частности, на международных: «World Conference on Intelligent Systems for Industrial Automation» (WCIS) (Baku–2002, Tashkent–2012), «Проблемы энерго- и ресурсосбережения» (Ташкент, 2003), “Control of power system-04” (Словакия, (Slovak Rep., High Tatras, Strbske Pleso), 2004), «Инновация - 2004» (Ташкент, 2004), «Проблемы энерго- и ресурсосбережения на железной дороге» (Ташкент, 2005, 2009), “Инновационные технологии в управлении, образовании, промышленности “АСТИНТЕХ” (Россия, Астрахань, 2007, 2011), ИВИП (Ташкент, 2009), «Энергетика: Управление, качество и эффективность использования энергоресурсов» (Россия, Благовещенск 2003, 2011); и республиканских: «Современные проблемы энергетики» (Ташкент, 2006, 2011), «Актуальные вопросы современной техники и технологии» (Липецк, Россия, 2012-2014) и Республиканская ярмарка инновационных идей, технологии и проектов (Ташкент, 2008-2014).

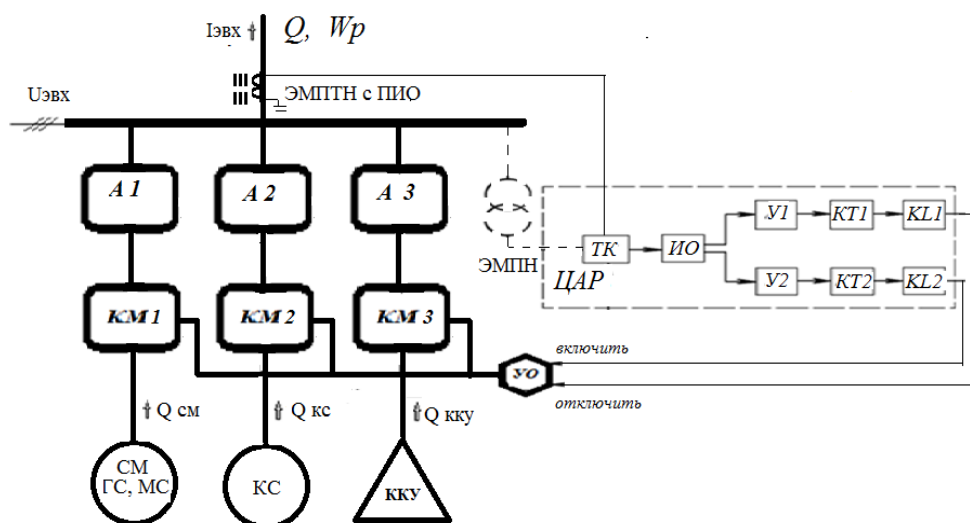
Опубликованность результатов. По теме диссертации опубликовано 84 научных труда, в том числе 2 монографии, 10 - в международных журналах и получено 4 патентов на изобретения РУз.

Структура и объем работы. Диссертация состоит из введения, шести глав, заключения, списка литературы, приложений и содержит 200 страниц текста, включает 49 рисунков и 12 таблиц.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ ДИССЕРТАЦИИ

Во введении обоснована актуальность и востребованность темы диссертации, сформулированы цель и задачи, выявлены объект и предмет исследования, определено соответствие исследования приоритетным направлениям развития науки и технологий Республики Узбекистан, изложены научная новизна и практические результаты, обоснована достоверность полученных результатов, раскрыты теоретическая и практическая значимость результатов, приведены материалы анализа элементов и устройств управления величинами и параметрами энергосистемы, а также сведения по опубликованным работам и структуре диссертации.

В первой главе диссертации исследованы вопросы преобразования первичного одно и трехфазного тока электрической сети энергосистем для комбинированного управления устройствами производства, передачи, распределения и потребления электроэнергии. Функциональная схема комбинированного управления источниками реактивной мощности энергосистем, функционирующая на основе сигнала от электромагнитных преобразователей тока в напряжение, разработанная в данной работе на основе проведенных исследований, представлена на рис.1.



$A1, A2, A3$ – автоматические выключатели, $KM1, KM2, KM3$ – коммутационные аппараты; TK – блок токовой компенсации; $ИО$ – измерительный орган; $У1, У2$ – усилители; $КТ1, КТ2$ – элементы выдержки по времени; $КЛ1, КЛ2$ – исполнительные органы; $УО$ – управляющий орган; $ЦАР$ – цифровой автоматический регулятор источника реактивной мощности; $СМ$ ($ГС, МС$) – синхронная машина (генератор – $ГС$ и мотор - $МС$), $КС$ – компенсатор синхронный, $ККУ$ – источник реактивной мощности – косинусная конденсаторная установка, $ЭМПТН$ с $ПИО$ и $ЭМПН$ – электромагнитные преобразователи тока и напряжения

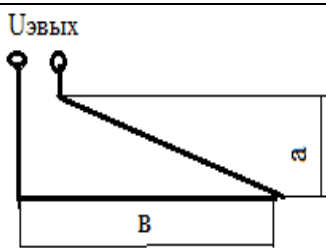
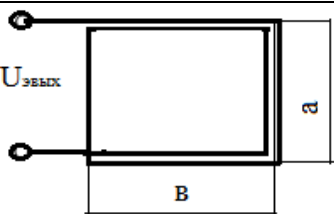
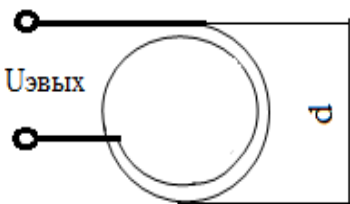
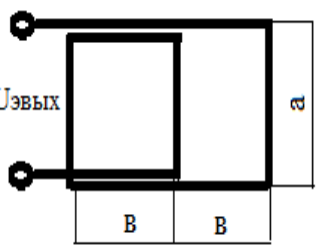
Рис.1. Функциональная схема системы комбинированного управления источниками реактивной мощности энергосистем

В работе применительно к электромагнитным преобразователям тока в напряжение с плоскими измерительными обмотками в табл. 1 приведены материалы классификации основных типов плоских измерительных обмоток и выражения для определения площади их сечения S .

Анализ условий работы электромагнитных преобразователей тока и требований показал, что в энергосистемах целесообразно применение электромагнитных преобразователей тока в напряжение с плоскими измерительными обмотками и необходима разработка принципов построения и конструкций преобразователей тока в напряжение, обеспечивающих учет несимметрии, унификацию выходных величин и обладающих расширенными функциональными возможностями для комбинированного управления источниками реактивной мощности энергосистем.

Таблица 1

Основные типы плоских измерительных обмоток

	Тип ПИО	Форма ПИО	Площадь сечения
1.	Треугольная		$S_{тр} = ab / 2$
2.	Прямоугольная		$S_{пр} = kab$
3.	Круглая		$S_k = k\pi d^2 / 4$
4.	Петлевая		$S_{п} = 2 ab$

Во второй главе диссертации исследованы магнитные цепи и системы преобразования электромагнитных преобразователей тока в напряжение с плоскими измерительными обмотками.

Входными величинами электромагнитных преобразователей тока в напряжение с плоскими измерительными обмотками служат: первичный переменный ток трехфазной электрической сети $I_{\text{вх}}$ величиной от 1 до 1000 А и первичное входное напряжение $U_{\text{вх}}$ величиной от 0,4 – 35 кВ, выходной сигнал $U_{\text{вых}}$ – вторичное выходное электрическое напряжение от плоских измерительных обмоток, которое принципиально зависит от распределения магнитного потока Φ вдоль пути магнитной системы преобразования, т.е. по длине магнитопровода, угла пересечения магнитного потока площади плоских измерительных обмоток и других факторов.

На основе графовой модели магнитной системы электромагнитных преобразователей тока в напряжение с плоскими измерительными обмотками, приведенной на рис.2 определяются величины, характеризующие узлы (F - м.д.с.) и участки преобразования (Π , $\Pi 0$, $\Pi 1$ – продольные, вертикальные и поперечные параметры).

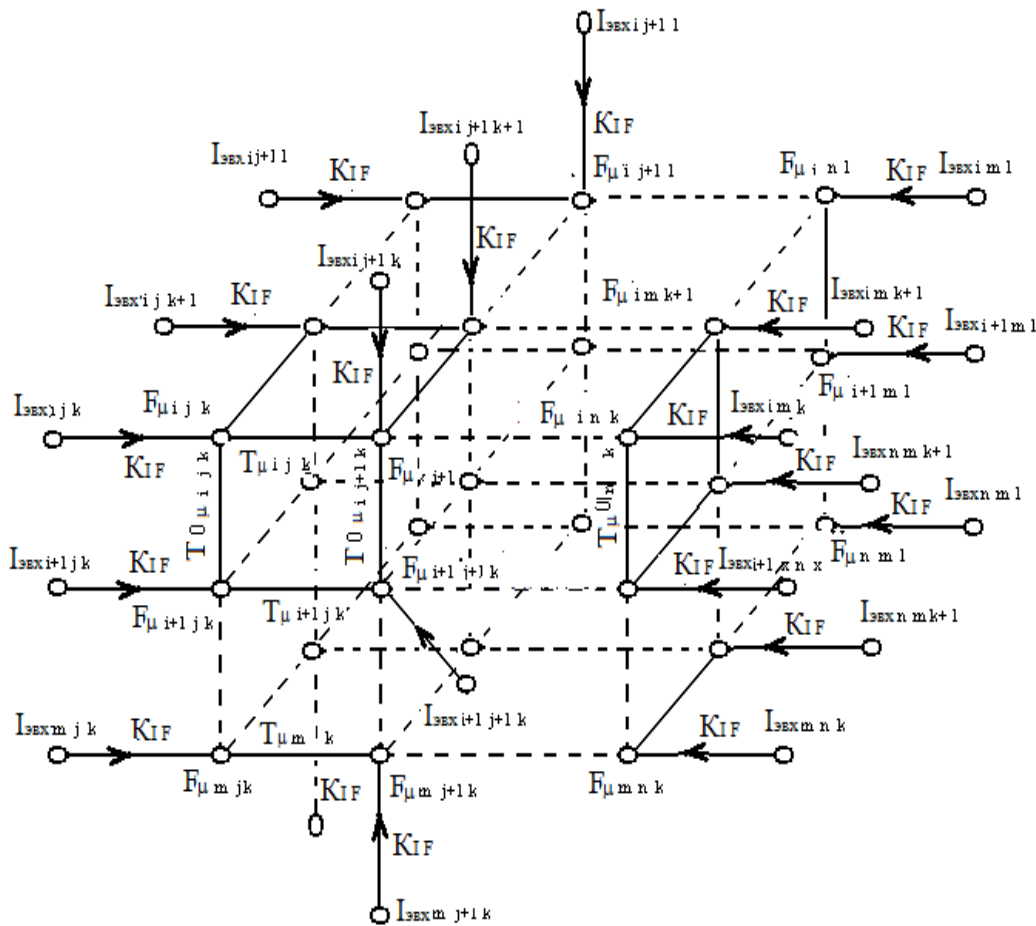


Рис.2. Графовая модель магнитной системы преобразования электромагнитных преобразователей тока в напряжение с плоскими измерительными обмотками

Для графовой модели распределенной магнитной системы электромагнитных преобразователей тока в напряжение с плоскими измерительными обмотками количество узлов для расчета м.д.с. и магнитных потоков имеет размеры: $i j k$, т.е. зависят от условий и точности характеристик преобразователя тока в напряжение, а размеры узлов i изменяются от 1 до n , j от 1 до m и k от 1 до l .

Для отдельных узлов графовой модели электромагнитных преобразователей тока в напряжение с плоскими измерительными обмотками составлены уравнения для определения узловых магнитодвижущих сил:

для узлов $i = 1, j = 1$ и $k = 1$ графовой модели электромагнитных преобразователей тока в напряжение с плоскими измерительными обмотками составляется уравнение для определения узловой магнитодвижущей силы:

$$F_{i,j,k} = \frac{K_{IF} I_{\text{вх } i,j,k} + \frac{F_{i,j+1,k}}{\Pi_{i,j+1,k}} + \frac{F_{i+1,j,k}}{\Pi 0_{i+1,j,k}} + \frac{F_{i,j,k+1}}{\Pi 1_{i,j,k+1}}}{\frac{1}{\Pi_{i,j+1,k}} + \frac{1}{\Pi 0_{i+1,j,k}} + \frac{1}{\Pi 1_{i,j,k+1}}};$$

для узлов $i = m, j = 1$ и $k = 1$:

$$F_{i,j,k} = \frac{K_{IF} I_{\text{вх } i,j,k} + \frac{F_{i-1,j,k}}{\Pi 0_{i-1,j,k}} + \frac{F_{i,j,k+1}}{\Pi 1_{i,j,k+1}} + \frac{F_{i,j+1,k}}{\Pi_{i,j+1,k}}}{\frac{1}{\Pi 0_{i-1,j,k}} + \frac{1}{\Pi 1_{i,j,k+1}} + \frac{1}{\Pi_{i,j+1,k}}};$$

для узлов $i = 1, j = 1$ и $k = l$:

$$F_{i,j,k} = \frac{K_{IF} I_{\text{вх } i,j,k} + \frac{F_{i-1,j,k}}{\Pi 0_{i-1,j,k}} + \frac{F_{i,j,k-1}}{\Pi 1_{i,j,k-1}} + \frac{F_{i,j+1,k}}{\Pi_{i,j+1,k}}}{\frac{1}{\Pi 0_{i-1,j,k}} + \frac{1}{\Pi 1_{i,j,k-1}} + \frac{1}{\Pi_{i,j+1,k}}};$$

для узлов $i = \text{от } 2 \text{ до } m - 1, j = \text{от } 2 \text{ до } n - 1$ и $k = \text{от } 2 \text{ до } l - 1$:

$$F_{i,j,k} = \frac{K_{IF} I_{\text{вх } i,j,k} + \frac{F_{i,j-1,k}}{\Pi_{i,j-1,k}} + \frac{F_{i,j+1,k}}{\Pi_{i,j+1,k}} + \frac{F_{i,j,k-1}}{\Pi 1_{i,j,k-1}} + \frac{F_{i,j,k+1}}{\Pi 1_{i,j,k+1}} + \frac{F_{i-1,j,k}}{\Pi 0_{i-1,j,k}} + \frac{F_{i+1,j,k}}{\Pi 0_{i+1,j,k}}}{\frac{1}{\Pi_{i,j-1,k}} + \frac{1}{\Pi_{i,j+1,k}} + \frac{1}{\Pi 1_{i,j,k-1}} + \frac{1}{\Pi 1_{i,j,k+1}} + \frac{1}{\Pi 0_{i-1,j,k}} + \frac{1}{\Pi 0_{i+1,j,k}}};$$

где $I_{\text{вх } i,j}$ - токи в проводниках трехфазной электрической сети ЭС, являющиеся величинами воздействия на участок преобразования электромагнитных преобразователей тока в напряжение с плоскими измерительными обмотками; K_{IF} - коэффициент связи между электрическими и магнитными цепями; Π - распределенные параметры магнитной цепи преобразования.

Динамическая графовая модель преобразования первичного тока электрической сети энергосистем во вторичное напряжение на основе электромагнитных преобразователей тока в напряжение с плоскими измерительными обмотками представлена на рис.3.

Математическое описание динамической характеристики электромагнитных преобразователей тока в напряжение с плоскими измерительными обмотками, полученное на основе графовой модели, имеет следующий вид:

$$U_{\text{вых}}(p) = K_{\phi \mu U} T(p)_{\mu} K_{I \Delta F \mu} T(p)_{\text{Эвх}} U_{\text{Эвх}}(p);$$

здесь:

$$T(p)_{\text{Эвх}} = \frac{pT_{\text{Эвх}} \Pi_{\text{Эвх}}}{1 + pT_{\text{Эвх}} \Pi_{\text{Эвх}} T_{\text{Эвх.ма}} \Pi_{\text{Эвх.та}}};$$

$$T(p)_{\mu} = \frac{pT_{\mu} \Pi_{\mu}}{1 + pT_{\mu} \Pi_{\mu} T_{\mu \text{та}} \Pi_{\mu \text{та}}};$$

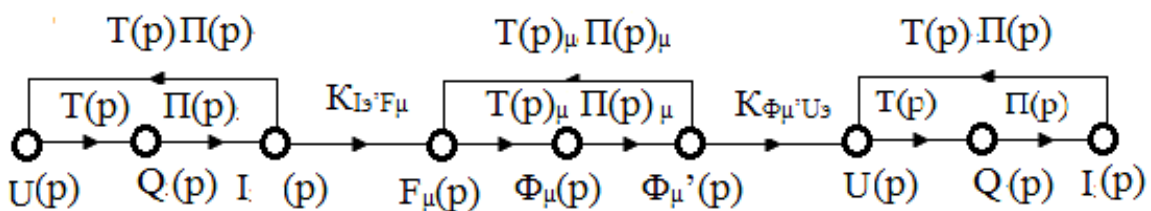


Рис. 3. Динамическая графовая модель электромагнитных преобразователей тока в напряжение с плоскими измерительными обмотками

При преобразовании первичного тока на входе $I_{\text{Эвх}}$ на основе расчета величин распределенной магнитной системы, согласно разработанной графовой модели участков преобразования, определены выражения для расчета напряжения $U_{\text{Эвх}}$ на выходе плоских измерительных обмоток с учетом распределения м.д.с. F , в узлах и магнитных потоков на продольных - Φ , поперечных - $\Phi 0$ и вертикальных - ΦI – участках. Распределение магнитных параметров $R, R0, -RI$, магнитных величин - м.д.с. F и магнитных потоков Φ в участках магнитной системы преобразования электромагнитных преобразователей тока в напряжение с плоскими измерительными обмотками определяется на основе узловых уравнений.

В **третьей главе** диссертации исследованы электромагнитные преобразователи тока в напряжение с плоскими измерительными обмотками как элемент системы комбинированного управления источниками реактивной мощности энергосистем. В комплексе программ MATLAB разработана модель исследования электромагнитных преобразователей тока в напряжение в системе комбинированного управления источниками реактивной мощности, которая представлена на рис.4.

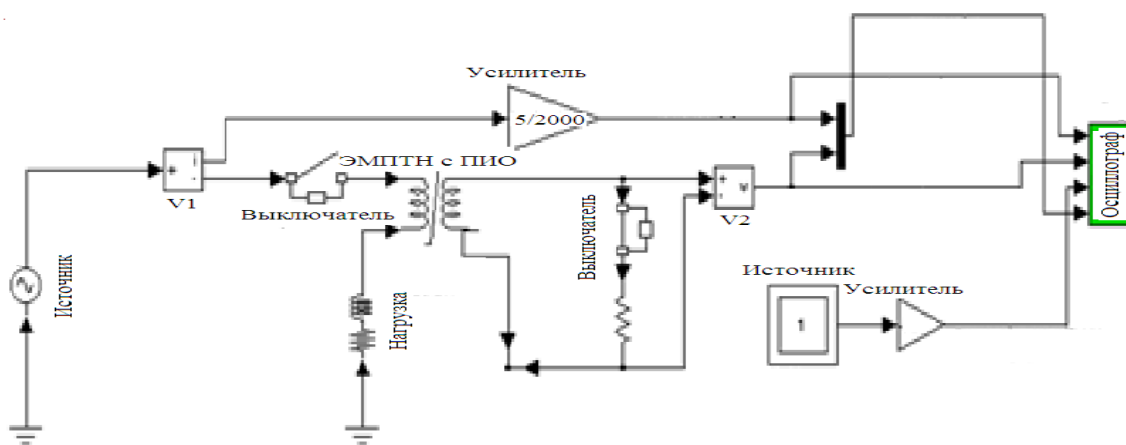
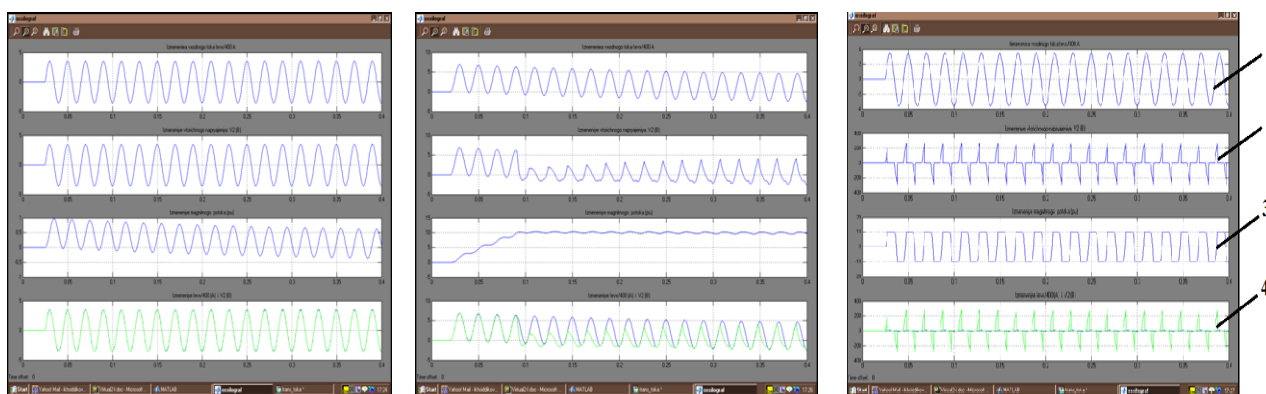


Рис. 4. Модель электромагнитных преобразователей тока в напряжение с плоскими измерительными обмотками в системе комбинированного управления в комплексе программ MATLAB

Структурная схема модели комбинированного управления источниками реактивной мощности энергосистем позволяет определить качественные характеристики переходных процессов систем управления и работу электромагнитных преобразователей тока в напряжение с плоскими измерительными обмотками в реальном масштабе времени.

Результаты моделирования и исследования параметров, входных и выходных величин электромагнитных преобразователей тока в напряжение с плоскими измерительными обмотками в системе комбинированного управления источниками реактивной мощностью на основе комплекса программ MATLAB представлены на рис.5.



а)

б)

в)

Рис.5. Изменения входного (1 – первичный ток - $I_{1\text{BX}}$), промежуточных (2 – м.д.с. F_{μ} и 3- магнитного потока - Φ_{μ}) и выходного (4 – вторичное напряжение $U_{2\text{BX}}$) величин электромагнитных преобразователей тока в напряжение с плоскими измерительными обмотками при: нормальном (а), несимметричном (б) режимах и в режиме короткого замыкания (в)

В ходе анализа модели управления источниками реактивной мощности выявлено, что разработанная модель в реальном масштабе времени позволяет определить параметры и величины элементов электромагнитных преобразователей тока в напряжение с плоскими измерительными обмотками, удовлетворяющие требованиям энергосистем.

Из результатов видно, что моделирование и исследование на основе комплекса программ MATLAB, переходных процессов, т.е. изменение выходного напряжения электромагнитных преобразователей тока в напряжение с плоскими измерительными обмотками устанавливается через 0,044 с. после включения электрической нагрузки к токопроводам электрической сети энергосистем.

В четвертой главе диссертации исследованы основные характеристики электромагнитных преобразователей первичных токов во вторичное напряжение с плоскими измерительными обмотками.

Графики статических характеристик однофазных преобразователей тока в напряжение, определяются согласно выражению:

$$U_{\text{эвыха}} = 4,44 fW \Phi_{\text{тио макс А}} e^{-\frac{R_1 t}{L_1}} \pm \Phi_{\text{ост А}} e^{-\frac{R_1 t}{L_1}}.$$

Графики статических характеристик однофазных электромагнитных преобразователей тока в напряжение с плоскими измерительными обмотками представлены на рис.6 – 9.

Статические характеристики для вторичных напряжений фаз В и С трехфазной электрической сети энергосистем определяются аналогично:

$$U_{\text{эвыхв}} = 4,44 fW \Phi_{\text{макс В}} e^{-\frac{R_{II} t}{L_{II}}} \pm \Phi_{\text{ост В}} e^{-\frac{R_{II} t}{L_{II}}},$$

$$U_{\text{эвыхс}} = 4,44 fW \Phi_{\text{макс С}} e^{-\frac{R_{III} t}{L_{III}}} \pm \Phi_{\text{ост С}} e^{-\frac{R_{III} t}{L_{III}}}.$$

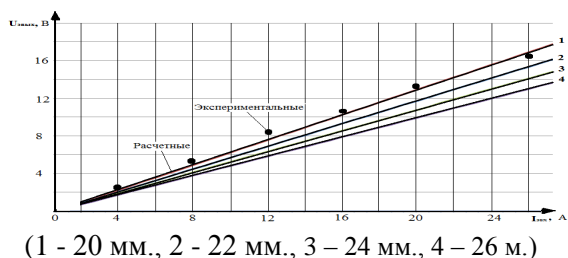


Рис.6. Статические характеристики (точка – эксперимент, линия – расчетные значения)

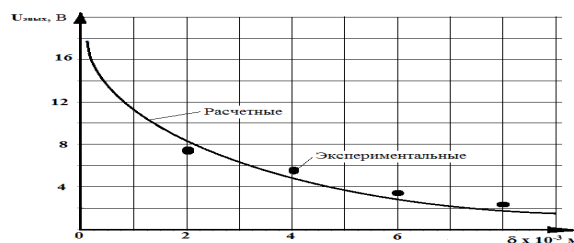


Рис.7. Зависимость выходного напряжения $U_{\text{эвых}}$ от различных значений воздушного зазора δ

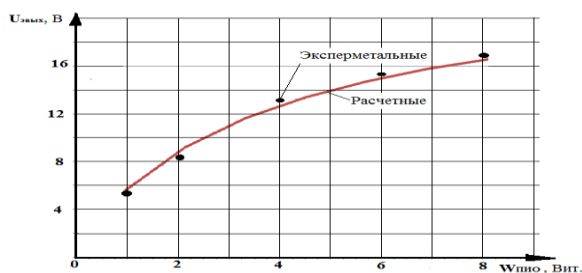


Рис.8. Зависимость выходного напряжения $U_{эвых}$ от различных значений числа витков – $W_{пшо}$

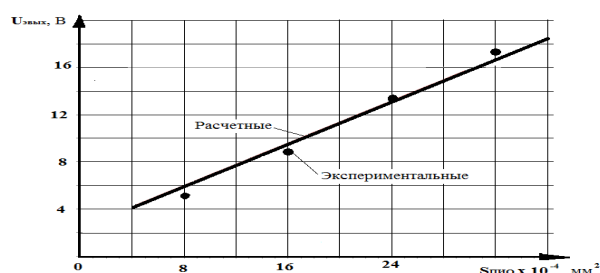


Рис.9. Зависимость выходного напряжения $U_{эвых}$ от различных значений площади сечения $S_{пшо}$

При увеличении воздушного зазора δ резко уменьшается величина выходного напряжения $U_{эвых}$, и это обстоятельство объясняется материалами теоретических (сплошные линии) и экспериментальных (точки) исследований, представленных на рис.7. Рациональные значения выходного напряжения обеспечиваются при величине воздушного зазора - δ равной $0,002 - 0,003$ м. и числе витков плоской измерительной обмотки - $W_{пшо}$ равном $3 - 4$, согласно материалам исследований, представленных на рис.8. Увеличение числа витков плоских измерительных обмоток способствует более плавному изменению величины выходного напряжения, а изменение площади сечения плоских измерительных обмоток обеспечивает линейное изменение выходной величины напряжения, согласно данным рис.9.

В работе исследованы процессы комбинированного управления на основе электромагнитных преобразователей тока в напряжение с плоскими измерительными обмотками источниками реактивной мощности - косинусных конденсаторных установок с реактивной мощностью $Q_{н ккв} = 50$ кВар, токами $I_{э вх A} = I_{э вх B} = I_{э вх C} = 76$ А, индуктивностями $L_{э I} = L_{э II} = L_{э III} = 10^{-3}$ Гн, емкостями $C_{э A} = C_{э B} = C_{э C} = 10^{-7}$ Ф, напряжениями $U_{э вх A} = U_{э вх B} = U_{э вх C} = 380$ В и полными сопротивлениями $Z_{э A} = Z_{э B} = Z_{э C} = 0,289$ Ом, которые создают максимальные магнитные потоки:

$$\Phi_{\text{макс } A} = \Phi_{\text{макс } B} = \Phi_{\text{макс } C} = \frac{U_{\text{макс}}}{W_1 \omega} = \frac{380}{1 \cdot 2 \cdot \pi \cdot 50} = 1,21 \text{ Вб}.$$

Графики изменения магнитных потоков во времени в магнитной системе, определяемые на основе формул (1-3), представляющие динамические режимы электромагнитных преобразователей тока в напряжение с плоскими измерительными обмотками трехфазных электрических сетей энергосистем, приведены на рис.10. Как видно из графиков, наибольшие броски магнитных потоков, значительно превышающие амплитудные значения установившихся потоков, наблюдаются при таких условиях включения электромагнитных преобразователей тока в напряжение, когда $\psi_I = \psi_{II} = \psi_{III} = 0$ и $\Phi_{остA}$, $\Phi_{остB}$, $\Phi_{остC}$ противоположны значениям установившихся потоков Φ_A , Φ_B и Φ_C .

Тогда магнитные потоки определяются из следующих выражений:

$$\Phi_A = \Phi_{\text{макс } A} [e^{-(R_I t / L_I)} - \cos(\omega t)] \pm \Phi_{\text{кодукс } A} e^{-(R_I t / L_I)}, \quad (1)$$

$$\Phi_B = \Phi_{\text{макс } B} [e^{-(R_{II} t / L_{II})} - \cos(\omega t + 120^\circ)] \pm \Phi_{\text{осм } B} e^{-(R_{II} t / L_{II})}, \quad (2)$$

$$\Phi_C = \Phi_{\text{макс } C} [e^{-(R_{III} t / L_{III})} - \cos(\omega t - 120^\circ)] \pm \Phi_{\text{осм } C} e^{-(R_{III} t / L_{III})}. \quad (3)$$

Превышения мгновенных значений магнитных потоков в переходном режиме при включении электрических нагрузок приводят к появлению бросков токов, которые могут во много раз превышать номинальные токи, протекающие через первичные обмотки электромагнитных преобразователей тока в напряжение с плоскими измерительными обмотками.

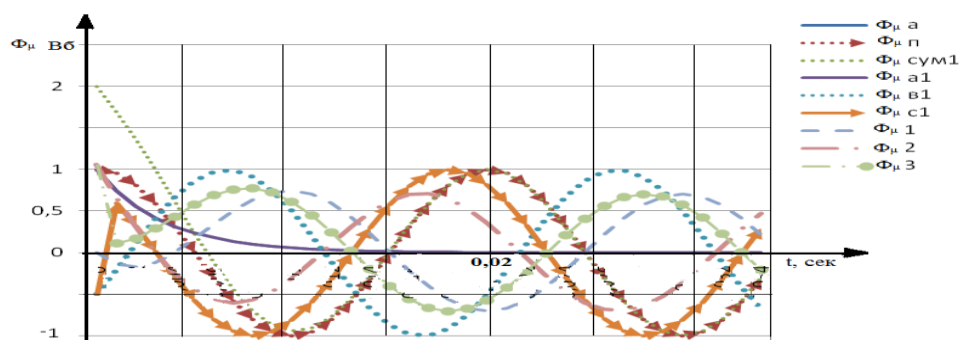


Рис.10. Изменение магнитных потоков в магнитной системе электромагнитных преобразователей тока в напряжение с плоскими измерительными обмотками при протекании токов по трехфазной электрической сети энергосистем

Установлено, что режим в распределенной магнитной системе электромагнитных преобразователей тока в напряжение с плоскими измерительными обмотками устанавливается через 0,03 – 0,05 с. после включения трехфазной электрической нагрузки к токопроводам электрической сети энергосистем.

Графовая модель и результаты исследования влияния температуры окружающей среды T_T на величину выходного напряжения $U_{\text{вых}}$ электромагнитных преобразователей тока в напряжение с плоскими измерительными обмотками приведены на рис.11. и 12.

Как показали результаты исследования, суммарная надёжность конструкции электромагнитных преобразователей тока в напряжение с плоскими измерительными обмотками составляет: $P = P_{\text{кат}} P_{\text{пар}} = 0,98 \cdot 0,98 = 0,96$; ($P_{\text{кат}}$ – катастрофическая надёжность и $P_{\text{пар}}$ – параметрическая надёжность), что вполне соответствует требованиям к системам комбинированного управления источниками реактивной мощности энергосистем.

Для электромагнитных преобразователей тока в напряжение с плоскими измерительными обмотками суммарная погрешность определяется на основе среднеквадратических погрешностей обмотки возбуждения, магнитопровода, плоской измерительной обмотки и измерительной схемы: $\delta_{ov} = 0,02$; $\delta_m = 0,01$; $\delta_{mno} = 0,01$; $\delta_{исх} = 0,05$.

Энтропийное значение погрешности для электромагнитных преобразователей тока в напряжение с плоскими измерительными обмотками определяется по формуле $\Delta_{ЭМПТН} = \kappa_3 \delta_\Sigma$, где δ_Σ - суммарное среднеквадратическое значение погрешности электромагнитных преобразователей тока в напряжение с плоскими измерительными обмотками равно $0,11$; κ_3 - энтропийный коэффициент, имеющий различные значения при различных законах распределения (для нормального закона распределения погрешности $\kappa_3 = 2,07$).

Расчетами установлено, что энтропийная погрешность электромагнитных преобразователей тока в напряжение с плоскими измерительными обмотками составляет $\Delta_{ЭМПТН} = 0,2$.

Экспериментальное подтверждение дало значение $\Delta_{эсп} = 0,21$.

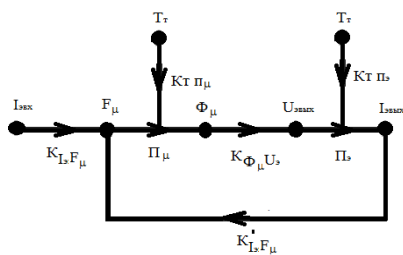


Рис.11. Графовая модель для исследования источников погрешностей

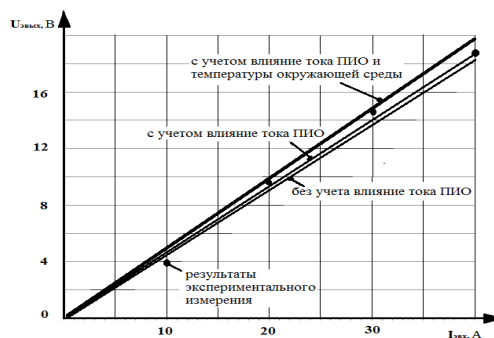


Рис.12. Влияние $I_{евых}$ и T_m на выходное напряжение $U_{евых}$

В пятой главе диссертации приведены алгоритмы структурного и параметрического проектирования (рис.13 и 14), которые обеспечивают рациональный выбор конструкции электромагнитных преобразователей тока в напряжение с плоскими измерительными обмотками.

Выбор оптимальной структуры преобразователей основан на разработке морфологических таблиц основных элементов и выбора на их основе оптимальных элементов, и в последующем - путем компоновки оптимальной конструкции электромагнитных преобразователей тока в напряжение с плоскими измерительными обмотками.

При выборе электромагнитных преобразователей тока в напряжение с плоскими измерительными обмотками по критерию "чувствительность" на основе разработанного алгоритма выбираются следующие составляющие морфологической таблицы 3: I.2. - II.3. - III.4.

Таблица 3

Морфологическая таблица устройств электромагнитного преобразователя

I. Форма обмотки возбуждения										
I.1. Одножильная			I.2. Многожильная			I.3. Прямоугольная - шинопровод				
	5	1		1	1		4	1		
	1	2		3	2		2	2		
	5	3		3	3		3	3		
	1	4		3	4		2	4		
	1	5		3	5		2	5		
	5	6		3	6		4	6		
	1	7		3	7		2	7		
	5	8		3	8		4	8		
	5	9		4	9		2	9		
	1	10		3	10		2	10		
I.4. Прямоугольная			I.5. Многослойная			Показатели качества				
	2	1		3	1	чувствительность		1		
	5	2		4	2	цена		2		
	4	3		1	3	надежность		3		
	5	4		4	4	погрешность		4		
	5	5		4	5	нелинейность		5		
	4	6		2	6	диапазон по ipu		6		
	4	7		5	7	потери в стали		7		
	2	8		1	8	быстродействие		8		
	3	9		1	9	экологичность		9		
	4	10		5	10	вес		10		
II. Форма магнитопровода										
II.1. Звездообразная			II.2. Стержневая			II.3. Круглая				
	3	1		5	1		1	1		
	1	2		2	2		5	2		
	4	3		5	3		1	3		
	1	4		2	4		4	4		
	1	5		2	5		3	5		
	1	6		2	6		3	6		
	5	7		4	7		4	7		
	1	8		2	8		3	8		
	1	9		2	9		5	9		
	1	10		2	10		3	10		
II.4. Треугольная			II.5. Прямоугольная			Показатели качества				
	2	1		4	1	чувствительность		1		
	3	2		4	2	цена		2		
	3	3		2	3	надежность		3		
	4	4		5	4	погрешность		4		
	4	5		5	5	нелинейность		5		
	5	6		4	6	диапазон по ipu		6		
	5	7		3	7	потери в стали		7		
	4	8		5	8	быстродействие		8		
	3	9		4	9	экологичность		9		
	4	10		5	10	вес		10		
III. Форма плоской измерительной обмотки										
III.1. Прямоугольная			III.2. Треугольная			III.3. Круглая				
	4	1		5	1		3	1		
	3	2		1	2		2	2		
	4	3		5	3		3	3		
	4	4		5	4		3	4		
	3	5		5	5		4	5		
	1	6		3	6		2	6		
	3	7		1	7		2	7		
	4	8		5	8		3	8		
	4	9		5	9		3	9		
	3	10		5	10		4	10		
III.4. Дифф.прямоугольная			III.5. Дифф.треугольная			Показатели качества				
	1	1		2	1	чувствительность		1		
	5	2		4	2	цена		2		
	1	3		2	3	надежность		3		
	1	4		2	4	погрешность		4		
	1	5		2	5	нелинейность		5		
	4	6		5	6	диапазон по ipu		6		
	5	7		4	7	потери в стали		7		
	1	8		2	8	быстродействие		8		
	1	9		2	9	экологичность		9		
	1	10		2	10	вес		10		

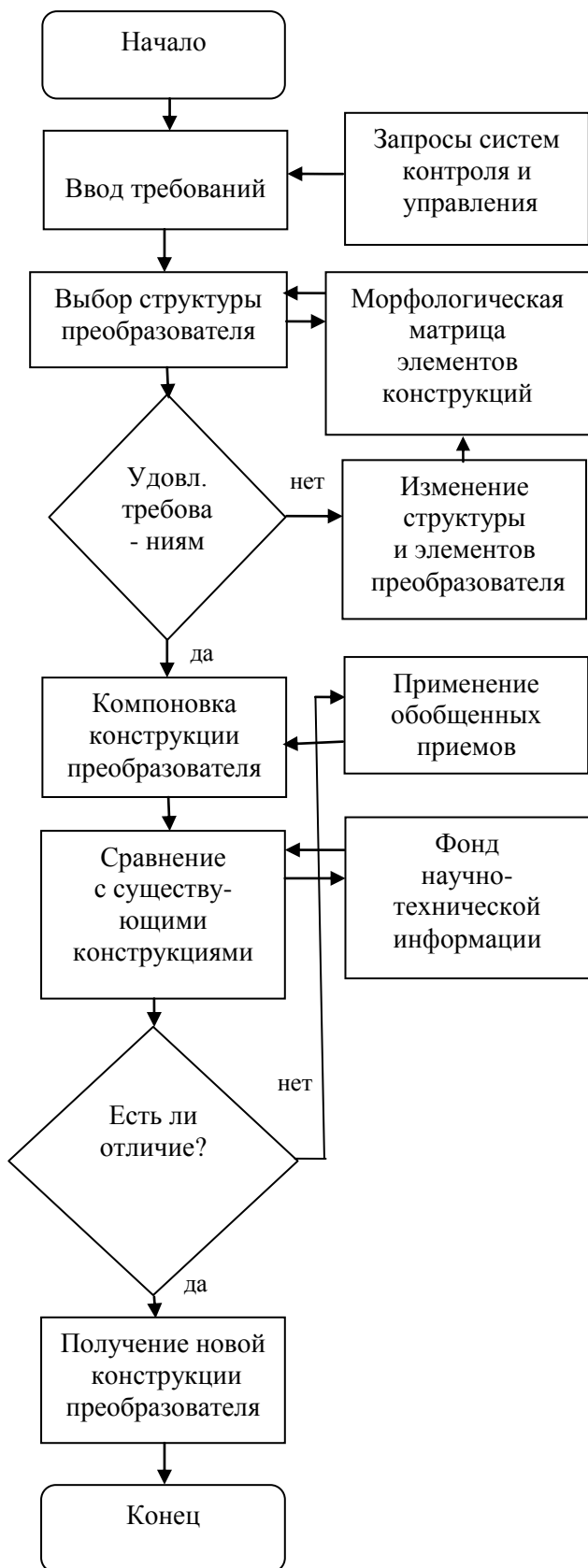


Рис.13. Блок-схема алгоритма выбора структуры

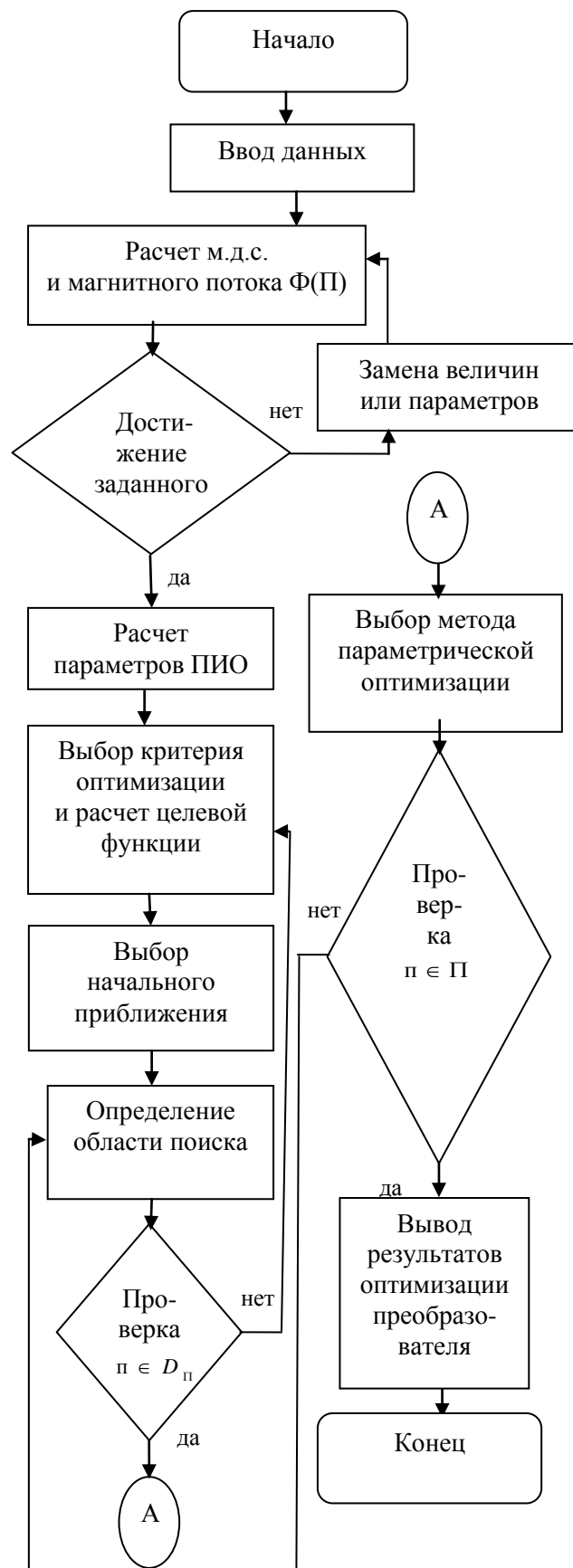
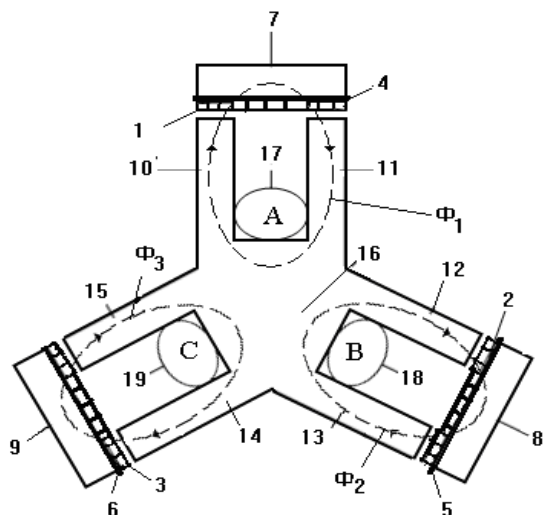


Рис.14. Блок-схема алгоритма оптимизации параметров

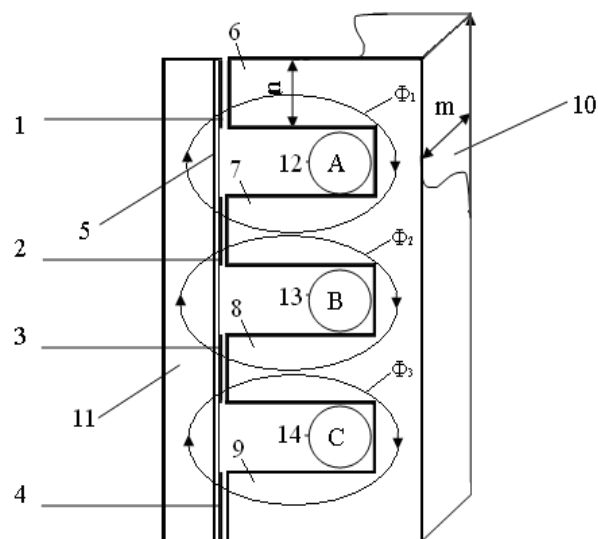
В **шестой главе** диссертации приведены материалы по разработке и практическому внедрению конструктивных элементов систем комбинированного управления источниками реактивной мощности энергосистем на базе электромагнитных преобразователей тока в напряжение с плоскими измерительными обмотками.

Конструкции электромагнитных преобразователей тока в напряжение с плоскими измерительными обмотками для комбинированного управления источниками реактивной мощности энергосистем приведены на рис. 15 и 16.



1, 2, и 3 – ПИО, 4, 5 и 6 – изоляционные пластинки; 7, 8 и 9 – дополнительные сердечники; 10 и 11, 12 и 13, 14 и 15 – пары параллельных стержней; 16 – основание магнитопровода; 17, 18 и 19 – первичные обмотки

Рис.15 Электромагнитный преобразователь тока в напряжение с плоскими измерительными обмотками с трехлучевым магнитопроводом (Патент РУз №04185)



1, 2, 3 и 4 – ПИО; 5 - изоляционная пластинка; 6, 7, 8 и 9 - четыре стержня; 10-общее основание; 11-сердечник; 12 (фаза А), 13 (фаза В) и 14 (фаза С) обмотки.

Рис.16. Электромагнитный преобразователь тока в напряжение с плоскими измерительными обмотками с четырехстержневым магнитопроводом (Патент РУз №04475)

Принципиальная схема комбинированного управления источниками реактивной мощности энергосистем на основе электромагнитных преобразователей тока в напряжение с плоскими измерительными обмотками приведена на рис. 17.

Технические данные разработанных электромагнитных преобразователей тока в напряжение с плоскими измерительными обмотками для управления реактивной мощностью энергосистем приведены в табл.4.

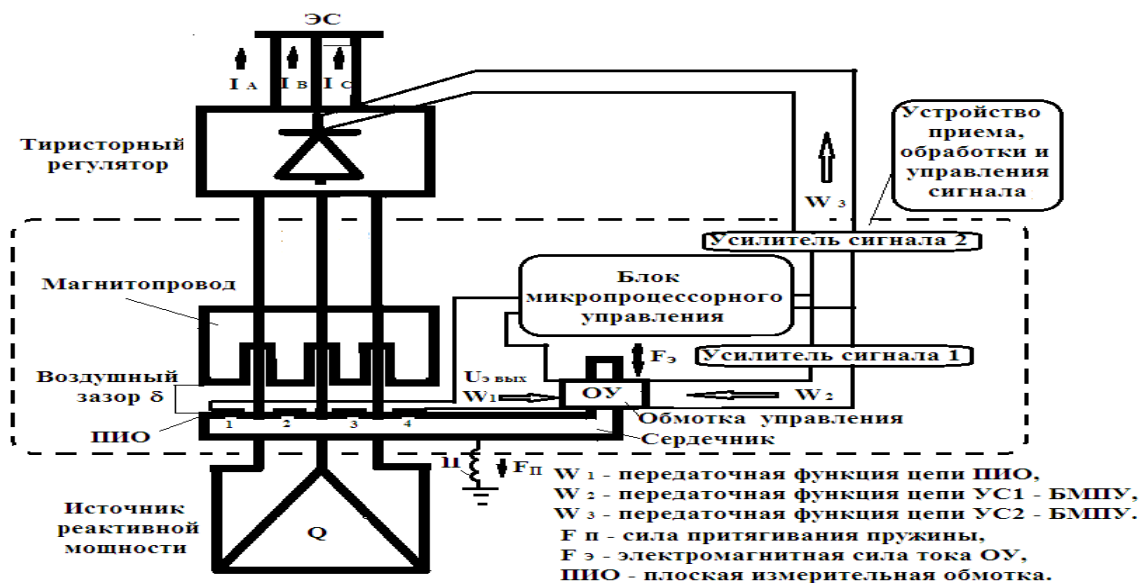


Рис.17. Принципиальная схема комбинированного управления источниками реактивной мощности энергосистем на основе электромагнитных преобразователей тока в напряжение с плоскими измерительными обмотками

Таблица 4

Технические данные электромагнитных преобразователей тока в напряжение с плоскими измерительными обмотками

Но- мер вх. узла	Первичный ток		Выход- ное напр. $U_{\text{вых}}$, (В)	Коэф. преоб- разова- ния $K_{\text{н}}$	Соп- ротивл ение $R_{\text{н}}$ ($m\Omega$)	Индук- тивность L_p , (μH)	Рекомендуемые соединения выводов элемента преобразования – ПНО
	$I_{\text{п}}$ (А)	$I_{\text{мак}}$ (А)					
1	25	36	25	1/1000	0,3	0,023	Вход: 5 4 3 2 1 Выход: 6 7 8 9 10
2	12	18	24	2/1000	1,1	0,09	Вход: 5 4 3 2 1 Выход: 6 7 8 9 10
3	8	12	24	3/1000	2,5	0,21	Вход: 5 4 3 2 1 Выход: 6 7 8 9 10
4	6	9	24	4/1000	4,4	0,37	Вход: 5 4 3 2 1 Выход: 6 7 8 9 10
5	5	7	25	5/1000	6,3	0,58	Вход: 5 4 3 2 1 Выход: 6 7 8 9 10

Схемы соединения и результаты исследования электромагнитных преобразователей тока в напряжение с плоскими измерительными обмотками для контроля и управления динамическими источниками реактивной мощности энергосистемы приведены на рис. 18. а), б), и в).

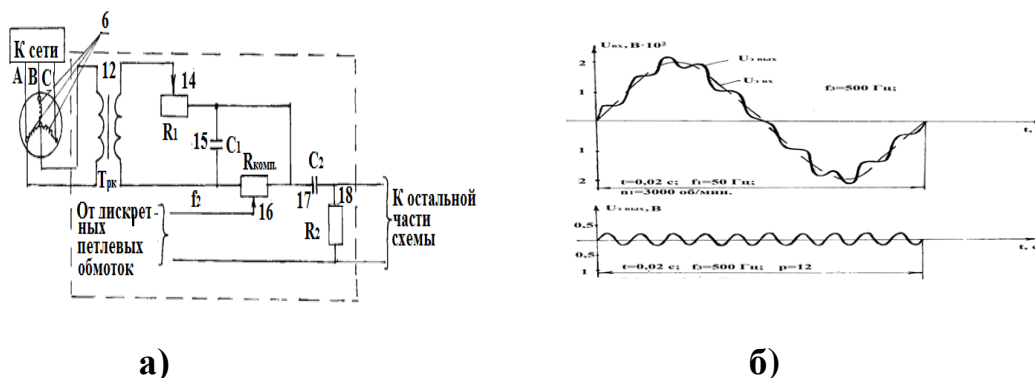


Рис.18. Схема комбинированного управления скоростью вращения (а) и выходные характеристики (б)

Исследованиями установлено, что частота переменного тока электрической сети энергосистем и скорость вращения ротора динамических источников реактивной мощности на основе электромагнитных преобразователей тока в напряжение с плоскими измерительными обмотками может быть зафиксирована с точностью до фазы (90^0).

В заключении диссертации подведены итоги исследования, сформулированы основные выводы и предложены практические рекомендации.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В диссертации для осуществления комбинированного управления трехфазным током электрических сетей и реактивной мощностью ЭС на основе теоретических и экспериментальных исследований разработаны принципы построения электромагнитных преобразователей тока в напряжение с плоскими измерительными обмотками, соответствующие математические модели, алгоритмы исследования и проектирования, а также методика расчета, что позволило решить проблему разработки и конструирования эффективных электромагнитных преобразователей одно- и многофазного первичного тока во вторичное напряжение.

В итоге получены следующие основные результаты:

1. Обоснована технология применения электромагнитных преобразователей тока в напряжение с плоскими измерительными обмотками при комбинированном управлении устройствами производства, передачи, распределения и потребления реактивной мощности и электрической энергии.

2. Разработан рациональный математический аппарат на основе графовых моделей: алгоритмы, модели и методы для исследования законов распределения магнитодвижущихся сил и магнитных потоков в магнитных системах электромагнитных преобразователей с плоскими измерительными обмотками с целью получения исходных величин и параметров для формирования их основных характеристик.

3. Внедрен комплекс конструкций электромагнитных преобразователей с плоскими измерительными обмотками одно- и трехфазного тока во вторичное напряжение, учитывающие несимметрии при управлении по фазам токов электрической сети на основе статических, динамических и метрологических характеристик преобразователя.

4. Рациональные значения выходного напряжения $U_{\text{вых}}$ от плоской измерительной обмотки обеспечиваются при величине воздушного зазора - δ равном - $0,002 - 0,003$ м и числе витков плоской измерительной обмотки - $W_{\text{нш}}$ равном - $3 - 4$. Надежность электромагнитных преобразователей тока в напряжение с плоскими измерительными обмотками составила $0,96$.

5. Определены влияния источники погрешностей электромагнитных преобразователей тока в напряжение с плоскими измерительными обмотками, осуществлена классификация источников погрешностей.

6. Показано, что при изменении температуры окружающей среды на 10°C погрешность преобразования увеличивается на $0,03$ %, а при неточности изготовления плоской измерительной обмотки - на $0,07$ %.

7. Энтропийная погрешность преобразователей тока в напряжение не превышает $0,2\%$, а экспериментальное значение погрешности электромагнитных преобразователей тока в напряжение с плоскими измерительными обмотками составило $0,21\%$.

8. Внедренные конструкции электромагнитных преобразователей одно- и трехфазного первичного тока во вторичное напряжение электрической сети энергосистем при комбинированном управлении источниками реактивной мощности соответствуют требованиям рациональных энерго- и ресурсосберегающих систем, учитывают несимметрии при контроле и управлении по величине и фазе токов трехфазной электрической сети, обеспечивают адекватность показателей качества и изменения первичных и вторичных величин.

9. Применение автоматически регулируемых источников реактивной мощности в электрических сетях и электроустановках с установленной мощностью 50 кВт и напряжением до 500 кВ позволило повысить производительность срока службы электрооборудования и электроприемников и энерго- и ресурсосберегающий режим за счет обеспечения стандартного напряжения элементов и устройств управления $57,5$ В вместо $61,81$ В, превышающий на $4,31$ В ($7,5\%$) по фазному напряжению и на $\sqrt{3} \cdot 7,5\% = 12,9\%$ по линейному напряжению питания системы управления.

10. Электромагнитные преобразователи тока в напряжение, внедренные в электрических сетях системы электроснабжения более 20 предприятий за счет повышения точности и автоматизации управления источниками реактивной мощности позволили уменьшить технологический расход электроэнергии на $11,26\%$ при нормативном значении $13,29\%$ (обеспечил уменьшение технологического расхода электроэнергии на $1,13$ млрд. кВт · час) за счет повышения класса точности элементов и устройств комбинированного управления реактивной мощности энергосистем от $1,0$ до $0,5$.

**SCIENTIFIC COUNCIL 16.07.2013.T/FM.29.01 AT TASHKENT
UNIVERSITY OF INFORMATION TECHNOLOGIES AND NATIONAL
UNIVERSITY OF UZBEKISTAN ON AWARD OF SCIENTIFIC DEGREE
OF DOCTOR OF SCIENCES**

TASHKENT UNIVERSITY OF INFORMATION TECHNOLOGIES

SIDDIKOV ILKHOMJON

**THE ELECTROMAGNETIC TRANSDUCERS CURRENT TO
VOLTAGE WITH FLAT MEASURING WINDINGS FOR
COMBINED CONTROL OF REACTIVE POWER
OF THE ENERGY SYSTEMS**

**05.01.06 – Elements and devices of the computing facilities and control systems
(technical sciences)**

ABSTRACT OF THE DOCTORAL DISSERTATION

Tashkent – 2015

The subject of doctoral dissertation is registered Supreme Attestation Commission at the Cabinet of Ministers of Republic of Uzbekistan in number 30.09.2014/B2014.5.T301.

Doctoral dissertation is carried out at Tashkent State Technical University and Tashkent University of Information Technologies.

The full text of doctoral dissertation is placed on web-page of Scientific Council on award of the scientific degree of doctor of sciences 16.07.2013. T/FM.29.01 at the Tashkent University of Information Technologies and National University of Uzbekistan to the address www.tuit.uz.

Abstract of dissertation in three languages (Uzbek, Russian and English) is placed on the web-page to address www.tuit.uz and Information-educational portal «ZIYONET» to the address www.ziyonet.uz.

**Scientific
consultant:**

Azimov Rakhmat
doctor of technical sciences, professor

**Official
opponents:**

Ganiev Salim
doctor of technical sciences, professor

Abdukayumov Abdurashid
doctor of technical sciences, professor

Muratov Hakim
doctor of technical sciences, professor

**Leading
organization:**

The Tashkent Institute of Engineers of Railway Transports

Defense of the dissertation will take place in «___» March 2015 at 10⁰⁰ o'clock at a meeting of the scientific council 16.07.2013.T/FM.29.01 at the Tashkent University of Information Technologies and National University of Uzbekistan. (Address: 100202, Tashkent, Amir Temur str. 108. Ph.: (99871) 238-64-43; fax: (99871) 238-65-52; e-mail: tuit@tuit.uz).

Doctoral dissertation could be reviewed in Information-resource center of the Tashkent University of Information Technologies (registration number № 57). (Address: 100202, Tashkent, Amir Temur str., 108. Ph.: (99871) 238-65-44).

Abstract of dissertation sent out on «___» February 2015 y.
(Dispatching protocol № 02 on «___» February 2015 y.)

X.K.Aripov

Chairman of scientific council on award of scientific degree, doctor of physics-mathematics sciences, Professor

M.S.Yakubov

Scientific secretary of scientific council,
doctor of technical sciences, Professor

M.M.Musaev

Chairman of scientific seminar under
scientific council, doctor of technical sciences, Professor

SUMMARY OF THE DOCTORAL DISSERTATION

Topicality and demand of the theme of dissertation. During control of the processes of production, transmission, distribution and consumption of power energy determining importance is accuracy, sensitivity, linearity and commonality parameters of the elements end devices of control systems with primary facilities of transformation of current, because inaccuracy of the control of power and parameters will accompany with significant negative economical damage. The development of the complex approach, providing energy and resource saving on base of efficiently control sources of reactive power, expansion of the functional possibilities, simplification of designs, reduction of weight and volume factors, improvement of the technologies of fabrication, provision of the remote measuring processes, transformation of the current based on the usage of the modern primary measuring transducers is actual problem of the control devices and elements of energy system. Herewith, the primary measuring current transducers, being the main section information-measuring and controlling systems, completely define the technical and economical factors of energy system.

Development and application of the modern current transducers follows principle and requirements of the standards of system instrument and facilities of automations (GOST CIS 13109-97, EN-50160, MEK 1000-3x 61000-2x and etc.), the mains from which are follows:

block-module principle of construction, providing versatility of the transducers of current, when using the rational minimum of constructive elements and devices of modern technologies;

a restriction of the primary transducers of current, norm of modules, when ensuring their information, energetic, metrological, constructive and structured compatibility on the base of consequent unifications and standardizations.

At present employment of the electromagnetic transducers of three-phase current with unified output value, expansion of the spectrum converted electric values is limited, because of the insufficient development of the methods of calculation and research of portioned magnetic systems of the transducers. The classical methods of research of the magnetic circuits do not provide necessary accuracy due to the asymmetries of the three-phase primary currents of electric network, which do not possess the sufficient generality, covering herewith only main varieties of the circuits of electric and magnetic nature. The magnetic systems of the transformation with non linear parameters and features of the primary current of electric network of energy system during calculations has been taken as a object with concentrated parameters.

Besides, classical single-phase transformers of the current to current have complex transducing part, weight and volume of the factors labour-consuming when designing and usages in combined control system, do not provide the commonality of the output value under joint work with microprocessors and electronics technology information systems. They do not take into account the nature of magnetic flow, created by current of the three-phase electric network of energy system.

This research work is oriented on practical realization of the Resolutions of the Cabinet Minister of the Republics of Uzbekistan number 245 from 22 of the September, 2008 - «Rules of the use of electric and heat energy» and in number 295 from 1 of the November, 2013 «About additional measure on improvement of the activity GSC «Uzbekenergo» and strengthening of the discipline calculation for consumed electric energy».

Coming there of decisions of the enumerated problems requires undertaking the special researchs and developments, in accordance with making the methods and algorithm, capable to realize checking of validity of information on value and parameter to electric energy of three-phase electric network ES based on modern elements and devices of the checking and combined control. Given circumstance conditions need for the development and introduction of reliable, unified, exact electromagnetic transducers of the current to voltage, taking into account nonsymmetry of current to three-phase electric network, differing from them in size and on phase, than is explained urgency there are research.

Correspondance of the research with the priority directions of development of science and technologies of the Republic of Uzbekistan.

The dissertation is carried out according to priority directions of development of science and technology: PPI-3.«Energy, energy–resource saving, transport, machine- and devices», STP-17–«Working out of modern information systems, means of intellectual control and training, scientific, technical and software products providing wide development and introduction of information and telecommunication technologies».

Review of international scientific researches on dissertation topic.

Research on development element and device of the checking and combined control value three-phase current of the electric networks of the power systems with provision for particularities, concluding difference and on value and phase intensive are and reached certain successes scientist countries such as USA (Advantech, General Electric, SeaTech), Great Britain (HAWK, Festo, Rockwell Automation), Rossiya (Elektroshit, Elektroapparat), Germany (Siemens, GE Fanuc), Japan (Sony, Iconics), Koreas (Mitshubishi), Kitay (Chint), Danmark (MOX, ABB), Holland (Honeywell, Wonderware) and others.

In specified scientific centre develop technologies of the improvement of the primary measuring transducers of the current, methods of the transformation of the primary current in secondary signal and element based on the circuits and systems of the transformation device checking and control. Inaccuracy of the transformation of the factors to electric powers transducers specified scientific centre bring about irrational use the sources to electric powers, reception capacity transformer and line power transmission, reserve to powers on power station, obstruct checking and control state of working power systems and bring about financial loss as beside producers and supplier, so and beside consumers of the electric powers. Poor accuracy of the analysed device is conditioned beside defect existing systems of the transformation of the current since measuring complexes were created earlier, as well as and on type designs at present, designed as far back as XX century, in which

were not provided decisions for provision of pinpoint accuracy transducer current and commonalities of the output signal from primary measuring transducers.

Research extent of the issue. The Complex analysis of the elements and control system of source of reactive power and their mode, principle of their buildings, is indicative of insufficient research of problems in the field of electromagnetic transformation current and combined control of source of reactive power of energy system.

Given topic have been researched by many foreign leading research scientists such as H.Schaumburg, E.Ritchie, E. Krontiris, R.Hanitch, I.Rampias, E.Stathakis, B.S.Sotskov, K.M.Polivanov, L.F.Kulikovskiy, L.A.Ostrovskiy, V.P.Milovzorov, E.P.Osadchiy, M.F.Zaripov, M.M.Belov, A.A.Preobrazhenskiy, N.E.Konyuhov, E.S.Levschina, P.V.Novickiy, M.A.Urakseev and others.

The issue is also being studying by domestic scientists such as N.R.Yusupbekov, T.H.Nasyrov, H.Z.Igamberdiev, R.K.Azimov, K.R.Allaev, A.A.Abdukayumov, M.I.Ibodullaev, YU.G.Shipulin, A.A.KHalikov, S.F. Amirov, A.M.Plahtiev, P.M.Matyakubova and others.

However shaping the priority methods of the construction and studies of the electromagnetic transducers of the primary current in secondary voltage, providing adequacy of the value of the output voltage to primary current, algorithm of of three-phase current in system of multifunction control reactive power systems require undertaking comprehensive research. This circumstance is connected with greater inaccuracy at transformation of the values primary current power systems, which bring about irrational use the sources to electric powers, obstruct checking and control mode their work, bring about excessive financial loss, both beside producers, and consumers of electric powers.

The Main factor of the appearances of inaccuracy of transducers of the current are: nonsymmetry of current and voltages in size and phase, swings of the frequency, change the temperature surrounding ambiances, appearance of the harmonicas current and voltages of electric network, vibratory loads when functioning the transducers and others.

The System analysis of the electromagnetic transducers of the primary current has allowed also to install that classical designs of the transducers of the current managerial system by reactive power - a transformers of the current provide on output current by value 5 A under nominaty of primary, have: restriction on range of the converted current; significant inaccuracy; complex and non-technological to designs; the greater size; the mass; specific consumption of materials and cost. Under nominaty of input current, require the matching element - an additional transformer for unification of the joint work with modern microprocessors and controlling personal computer.

The Existing electromagnetic transducers of the current when governing source to reactive power of the power systems do not provide necessary accuracy given about current of the three-phase electric network because of: single-phase performance of the magnetic systems of the transformation; nonsymmetry of converted three-phase current; nonlinearity of features of the saturation of the magnetic systems and non-commonality importances of the output values.

The Fact just cited limited using the classical electromagnetic transducers of the current in corresponding to managerial system of the values and parameter of the electric networks. So development, study and practical introducing the electromagnetic transducers with flat measuring winding primary one and three-phase current in secondary voltage with extended functional possibility and unified output value, taking into account nonsymmetry of three-phase current and creation on their base of the systems of multifunction control reactive power is a decision of the problem of the improvement and developments existing technologies of the checking and control value and parameter of electric powers is important and actual problem of the energy system.

Connection of dissertational research with the thematic plan of scientific-research works is reflected in following projects: International project TACIS - TEMPUS European community: EC T JEP-10328-97-«Energy management training in Uzbekistan» (1997-2001 yy.), EC T JEP-10845- 99-«Long Distanse training in Uzbekistan» (1999 - 2003 yy.) and in state scientific projects: P-18.17-«Development financial - a technological model of optimum control energy system Republics Uzbekistan in condition liberal market of electric powers» (2003–2005 yy.), A-12-073 – «Development algorithm and methods for increasing the accuracy of the given telemetry and estimation of the working condition of the main electric networks power systems of the Republic Uzbekistan» (2006 –2008 yy.), ITD - 3-123-"Minimization of the losses at transmission of the electric powers of main electric networks of the Republic Uzbekistan optimization of the reactive powers sources and turn ratio transformer" (2012–2014yy.), IOT - 2013-2-28 «Introduction in industrial enterprise energy saving automatic regulator of reactive power» (2013–2014yy.).

Purpose of research the development of theories and designing the electromagnetic transducers one and multyphases primary current to secondary voltage with flat measuring windings for multifunction control source of reactive power and creation of their base of energy and resource saving in energy systems.

To achieve this goal the following **tasks of research** is:

development of the technologies transformation of primary current to secondary voltage on base of the electromagnetic transducers of the current with flat measuring winding and device for receiving, processing and control for systems of multifunction control reactive power of energy systems;

development of the rational mathematical device, including algorithms, models and methods for rresearch of the laws of the distribution magnetic field power and magnetic flow in magnetic system of the electromagnetic transducers with flat measuring winding to achieve the source values and parameter for shaping their main features;

development of the algorithm, models and methods of the calculation parameter and values of the main features: steady-state and dynamic; accuracy; the simultaneities of the transformation signal about current of the three-phase electric network; the economy; the informatics; energy saving and minimum consumption to electric powers under joint work with semiconductor element when governing the reactive power of energy systems;

development of algorithm and models of the calculation of the influence of the sources of inaccuracy of the electromagnetic transducers of the current in voltage with flat measuring winding, realization categorization sources of inaccuracy;

development of algorithm and methods rational structured and parametric syntheses, rationalizations and designing on base criterion: linearities of the steady-state features, maximum sensitivity and reliability;

development and introducing of the complex design electromagnetic transducers one and three-phase current to voltage with flat measuring winding in system of multifunction control source of reactive power, corresponding of principle of the building rational energy - and resource saving systems, taking into account of nonsymmetry during of checking and control on value and phase current of three-phase electric network of the energy systems.

Objectives of research are class of the electromagnetic transducers of the current to voltage with flat measuring winding for combined control source of reactive power energy systems, possessing raised by accuracy, linearity of the steady-state feature and unified output value.

Subject of research-a principles of the building of the electromagnetic transducers of the current in voltage with flat measuring winding; the mathematical models and algorithms of the research of the magnetic systems of the transformation; the main features and new designs of the electromagnetic transducers of the three-phase current in voltage with flat measuring winding with extended functional possibility of the transformation current to three-phase electric network of energy systems.

Methods of research. In process of the research by applying analytical and experimental methods: methods to theories of electric and magnetic circuits, methods of graph models; the theory of the autocontrol; the theory of the measuring transducers; mathematical modeling; the theory of inaccuracy and reliability.

Scientific novelty of dissertational research consists in the following:

designed of technology of translation of primary current to voltage on base of the electromagnetic converters of the current with flat measuring winding and device for acceptance, processing and control of systems of multifunction control reactive power of energy systems;

designed of graph models, allowing graphically, effectively and with high formalization of research of problems of multifunction control reactive power of energy systems on base of the electromagnetic converters with flat measuring winding, as well as certain principles of their building, magnetic systems of the transformation, the main features and sources of inaccuracy;

designed of algorithms and methods of the building of the features of the electromagnetic converters with flat measuring winding: steady-state under lumpy and nonlinear parameter of the magnetic systems; dynamic under symmetrical and asymmetrical electric load;

designed of algorithms and models of the calculation of the influence of the sources of inaccuracy of the electromagnetic converters of the current to voltage

with flat measuring winding, is realized by categorization of the sources of inaccuracy;

designed of algorithms and methods rational structured and parametric designing on base of the criterion: linearities of the steady-state features, accuracy, sensitivity and reliability;

designed methods of the building design electromagnetic converters one- and three-phase primary current in secondary voltage of the electric network of the power systems under multifunction control source to reactive power, being up to quality rational energo- and resource saving systems, taking into account nonsymmetry when checking and control in size and phase current to three-phase electric network, providing adequacy of the factors quality and change primary and secondary values.

Practical results of research consist in the following:

applied development algorithm, program and transducers for control and calculating of the processes of energy consumption;

using automatically controlled of the sources of reactive power in electric sets and power devices with installed power 50 kVt and voltage till 500 kV, allowed increasing of capacity power equipment and электроприемников and energy- and resource saving regime of electron elements of control voltage 61,8 V instead 57,5 V for 4,31 V (7,5%) more voltage of one phases line and on $1,73 * 7,5\% = 12,9\%$ on linear voltage of the electric network of the power supply of control system;

introduced electromagnetic converters of the current to voltage in electric sets of the systems of power supply more than 20 enterprises shows of accuracy and automations of control source of reactive power, have allowed to reduce the loss to electric powers on 11,26% under normative importance 13,29% (have provided the reduction of the technological consumption to electric powers on 1,13 mlrd. kVtx hour) of account due to increasing of the class of accuracy of elements control system of reactive power of the power systems from 1,0 to 0,5;

realized categorization of the sources of inaccuracy of the electromagnetic converters of the current in voltage with flat measuring winding;

designed and introduced complex design of electromagnetic converters one and three-phase primary current in secondary voltage of multifunction control source to reactive power, corresponding to principle of the building rational energy and resource saving systems, taking into account nonsymmetry, control of phase current if electric network, providing adequacy of the factors quality and change primary and secondary values.

Reliability of obtained results is proved by mathematical research of offered models, comparative analysis of the obtained formulas and calculations with real and experimental data on the basis of the standard criteria. For estimation of result researchs on their logical noncorrect is tested efficiency of the functioning of the primary measuring transducers, is organized benchmark analysis to efficiency of the electromagnetic transducers of the current to voltage with flat measuring winding on criteria as the linearities of the output feature, accuracy, large functional possibilities.

Theoretical and practical value of results of the research.

Scientific value result of the research consists in development principle transformations of the three-phase current to voltage with flat measuring winding, methods of modeling for transformation element research of the current in voltage, decisions of the scientific problems of the creation and introduction high effective combined control of source of reactive power on the base of reliable, exact electromagnetic transducers of the three-phase current to voltage with unified output signal.

Practical value of result work is concluded in development of the electromagnetic transducers of the three-phase current in voltage with flat measuring winding with extended functional possibility for combined control asymmetrical state of working three-phase electric networks and control source of reactive power of energy systems.

Realization of results. The Main results of the dissertation, according to the acts are employed in more than 20 enterprises of GSK Uzbekenergo. The Total economical effect from introducing the electromagnetic transducers of the three-phase current to voltage with flat measuring winding in combined control system of source reactive power consist 1,7 mlrd. sum per year due to energy and resource saving end minimization for 15 % of power losses during power transportation of the power line (reference of Government Stock Company «Uzbekenergo» about introduction for № MX-01-21/5413 from 17.11.2014, № MX-01-21/321 from 27.01.2015 and № MX-01-21/474 from 05.02.2015).

Approbation of work. Results of research are approbated in more than 30 scientifically-practical conferences, including 15 international symposiums, congresses and seminars, as: «World Conference on Intelligent Systems for Industrial Automation» (WCIS) (Baku-2002, Tashkent-2012), «Problems of energy- and resource saving» (Tashkent, 2003), «Control of power system-04» (Slovak Rep., High Tatras, Strbske Pleso), 2004), International scientific and practical conference «Innovation-2004» (Tashkent, 2004), «Problems of energy- and resource saving in railway transport» (Tashkent, 2005, 2009), «Innovation technology in management, education and industry “ASINTEX» (Rossiya, Astrakhan, 2007, 2011), IVIP (Tashkent, 2009), «Energy: Management, quality and and effectivity of use of the energy resources» (Rossiya, Blagoveshensk 2003, 2011), «Activity problems of energy» (Tashkent, 2006, 2011), «Actually problems of technics and technologies» (Lipesk, Rossiya, 2012, 2013 and 2014), and also at annual Republican Fairs of innovation ideas, technologies and projects (Tashkent 2008-2014).

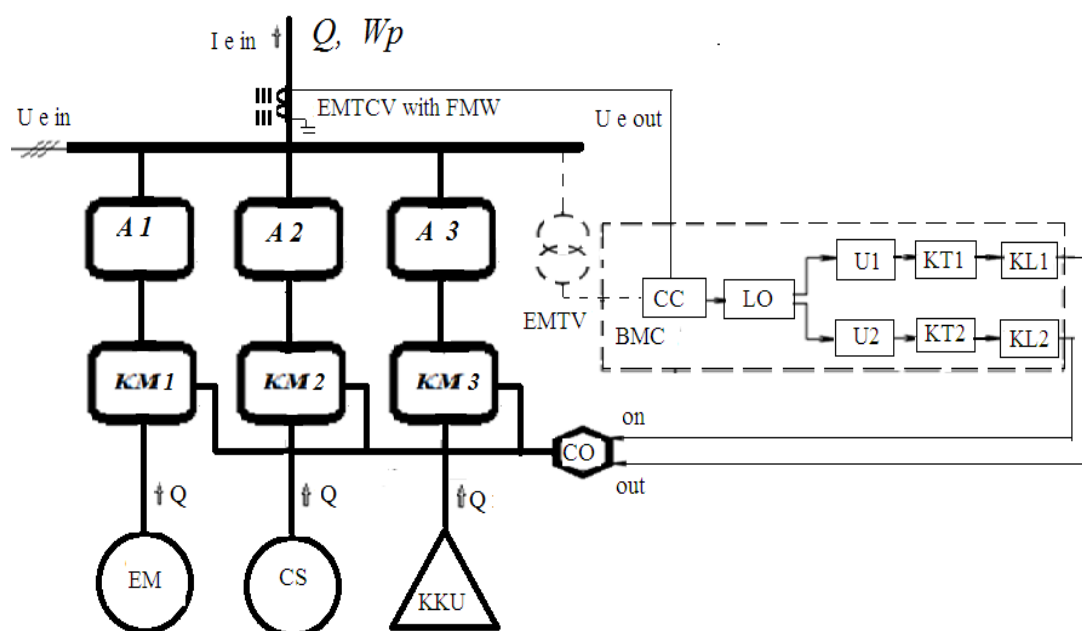
Publication of results. It is published 84 scientific works, including 10 scientific papers in the international journals on a dissertation theme and received 4 patents for inventions of RUz.

Structure and volume of dissertation. The dissertation consists of Introduction, six Chapters, Conclusion, References and appendix, contains 200 pages of the text, 49 figures and 12 tables.

MAIN CONTENTS of DISSERTATION

In introduction the urgency and demand of the theme of dissertation is proved, the purpose and problems, and also object and an object of research are formulated, conformity of research to priority directions of development of science and technologies in the Republic of Uzbekistan is stated, scientific novelty and practical results of research are stated, reliability of obtained results is proved, the theoretical and practical importance of obtained results is reveals, the list of introductions in practice of research results, data on published works and dissertation structure are given.

In the first chapter of the dissertation explored questions transformations primary one and three-phase current of electric network of energy system for combined autocontrol system of devices of production, transmissions, distribution and consumptions to reactive electric power (fig.1.). Such systems of multifunction control are introduced in more than 20 enterprises, being consumer of electric powers of GSC Uzbekenergo.



$A1, A2, A3$ - an automatic breakers, $KM1, KM2, KM3$ – an commutation devices;
 CC - a block of current compensation; LO – logical organ; $U1, U2$ - an amplifiers;
 $KT1, KT2$ - an elements of the endurance on time; $K11, K12$ - an executive organs;
 CO - a control organ – BMC – bloc of microprocessors ontrol -a digital automatic regulator of the source of reactive power; EM - a synchronous machine (the generator, motor and synchronous compensator), KKU - a source of reactive power - cosinus capacitors installation, $EMTCV$ with FMW and $EMCV$ - an electromagnetic transducers of the current to voltage with flat measuring windings.

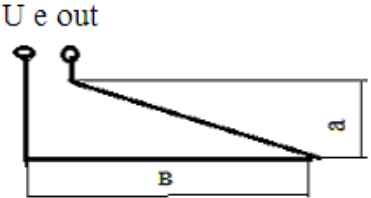
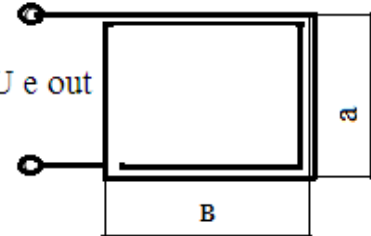
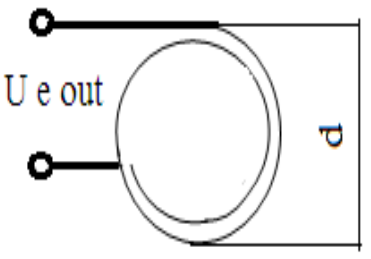
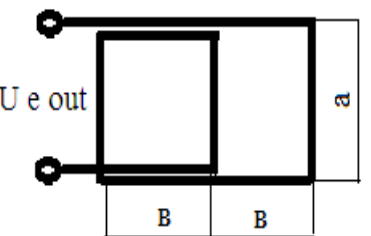
Fig.1. Functional scheme of the combined autocontrol sources of reactive power of energy system

In dissertation, with reference of electromagnetic transducer of the current to voltage, are classified main forms of the flat measuring windings and motivated formulas for determination area sections S different flat measuring windings (tabl.1).

On base of the analysis of the main correlations of the output voltages electromagnetic transducer of the current to voltage with flat measuring windings is installed that the most further research must be directed on development of new principle transformations and construction of ning sensitivity transducers current to three-phase electric network, providing account nonsymmetry, unification of the output values and possessing extended functional possibility for combined autocontrol of sources of reactive power of energy system.

Table 1

Principle of design of flat measuring windings for the current to voltage electromagnetic transducers

N	Type of flat measuring windings	Form of flat measuring windings	Area of the section
1.	Triangulare		$S_{tr} = ab / 2$
2.	Square-wave		$S_{sq} = kab$
3.	Round		$S_r = k\pi D^2 / 4$
4.	Petlevaya		$S_p = 2 ab$

The Analysis of the conditions of the functioning the transducers of the current and requirements have shown that in energy system it is advisable to use the electromagnetic transducers of the current and voltages with flat measuring windings and development principle transformations and design electromagnetic transducers of the current and voltages with flat measuring windings three-phase electric network, providing account nonsymmetry, unification of the output values and possessing extended functional possibility for multifunction control source to reactive power of energy system.

In the second chapter of the dissertation are explored principles of the building of the magnetic circuits of the electromagnetic transducers of the current in voltage. Analysed and explored principles of the building of the magnetic circuits of the electromagnetic transducers of the current to voltage.

The input value of electromagnetic transducers of the current and voltages with flat measuring windings serves: primary alternating current to three-phase electric network $I_{e in}$ value from 1 before 1000 A and primary voltage $U_{e in}$ value from 0,4 - 35 sq, but output signal $U_{e out}$ - a secondary output electric voltage from flat measuring windings, which in principal depends on uniformities of the sharing the magnetic flow F along way of the magnetic system of the transformation i.e. on length magnetic core, corner of the crossing the magnetic flow area of flat measuring windings.

The Portioned magnetic system of the electromagnetic transducers of the current to voltage with flat measuring windings is presented in the manner of graph of the models. On base graph to models (fig.2) of the magnetic system of transducers of the current and voltages with flat measuring windings are defined values, characterizing nodes (F- magnetomotive power) and area of the transformation (P, P0, P1 - longitudinal, vertical and transverse parameters).

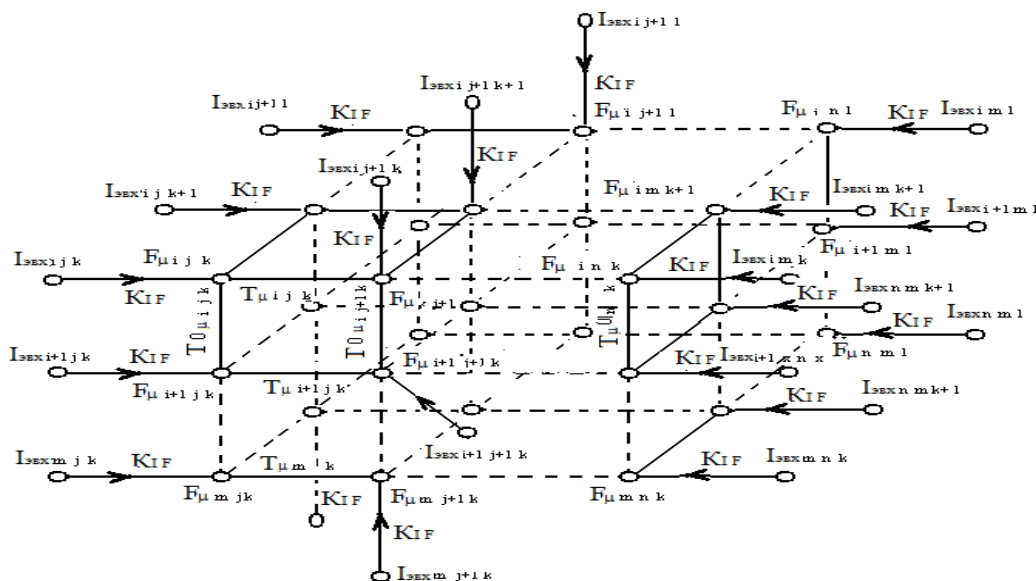


Fig.2. Ggraphs model of the magnetic system of electromagnetic transducers of current to voltage

For a graph models of the portioned magnetic system (fig.2.) of the electromagnetic transducers of the current and voltages with flat measuring windings, amount of nodes for calculation m.d.s. and magnetic flow has a sizes: i, j, k i.e. dependson conditions and accuracy of the features of the trnsduser of current to voltage, sizes of the nodes i change from 1 till n , j from 1 till m and k to from 1 till 1.

For points graph models of the electromagnetic transducers of the current to voltage with flat measuring windings (fig.2) is formed equations for determination node of magnetomoiving power:

for points $i = 1, j = 1$ and $k = 1$ graph models of the electromagnetic transducers of the current to voltage with flat measuring windings is formed equation for determination of magnetomoiving power:

$$F_{i,j,k} = \frac{K_{IF} I_{\text{BX } i,j,k} + \frac{F_{i,j+1,k}}{\Pi_{i,j+1,k}} + \frac{F_{i+1,j,k}}{\Pi 0_{i+1,j,k}} + \frac{F_{\mu i,j,k+1}}{\Pi 1_{i,j,k+1}}}{\frac{1}{\Pi_{i,j+1,k}} + \frac{1}{\Pi 0_{i+1,j,k}} + \frac{1}{\Pi 1_{i,j,k+1}}};$$

for points $i = m, j = 1$ and $k = 1$:

$$F_{i,j,k} = \frac{K_{IF} I_{\text{BX } i,j,k} + \frac{F_{i-1,j,k}}{\Pi 0_{i-1,j,k}} + \frac{F_{i,j,k+1}}{\Pi 1_{i,j,k+1}} + \frac{F_{i,j+1,k}}{\Pi_{i,j+1,k}}}{\frac{1}{\Pi 0_{i-1,j,k}} + \frac{1}{\Pi 1_{i,j,k+1}} + \frac{1}{\Pi_{i,j+1,k}}};$$

for points $i = 1, j = 1$ and $k = l$:

$$F_{i,j,k} = \frac{K_{IF} I_{\text{BX } i,j,k} + \frac{F_{i-1,j,k}}{\Pi 0_{i-1,j,k}} + \frac{F_{i,j,k-1}}{\Pi 1_{i,j,k-1}} + \frac{F_{i,j+1,k}}{\Pi_{i,j+1,k}}}{\frac{1}{\Pi 0_{i-1,j,k}} + \frac{1}{\Pi 1_{i,j,k+1}} + \frac{1}{\Pi_{i,j+1,k}}};$$

for points $i =$ from 2 till $m - 1$, $j =$ from 2 till $n - 1$ and $k =$ from 2 till $- 1$:

$$F_{i,j,k} = \frac{K_{IF} I_{\text{BX } i,j,k} + \frac{F_{i,j-1,k}}{\Pi_{i,j-1,k}} + \frac{F_{i,j+1,k}}{\Pi_{i,j+1,k}} + \frac{F_{i,j,k-1}}{\Pi 1_{i,j,k-1}} + \frac{F_{i,j,k+1}}{\Pi 1_{i,j,k+1}} + \frac{F_{i-1,j,k}}{\Pi 0_{i-1,j,k}} + \frac{F_{i+1,j,k}}{\Pi 0_{i+1,j,k}}}{\frac{1}{\Pi_{i,j-1,k}} + \frac{1}{\Pi_{i,j+1,k}} + \frac{1}{\Pi 1_{i,j,k-1}} + \frac{1}{\Pi 1_{i,j,k+1}} + \frac{1}{\Pi 0_{i-1,j,k}} + \frac{1}{\Pi 0_{i+1,j,k}}};$$

where: $I_{\text{BX } i,j}$ - an current in conductor of the three-phase electric network of energy system, being value - an influences on area of the transformation of the electromagnetic transducers of the current to voltage; K_{IF} - a factor relationship between electric and magnetic circuit; Π - a portioned parameters magnetic circuit.

The Mathematical description of the dynamic characteristics of electromagnetic transducers of current to voltage got on base of dinamic graphs model have a following type:

$$U_{out}(P) = K_{F\mu U_e} T(p)_\mu K_{IeF\mu} T(p)_{eout} U_{eout}(P);$$

where:

$$T(p)_{eout} = \frac{pT_{eout} \Pi_{eout}}{1 + pT_{eout} \Pi_{eout} T_{eoutta} \Pi_{eoutta}};$$

$$T(p)_\mu = \frac{pT_\mu \Pi_\mu}{1 + pT_\mu \Pi_\mu T_{\mu ta} \Pi_{\mu ta}};$$

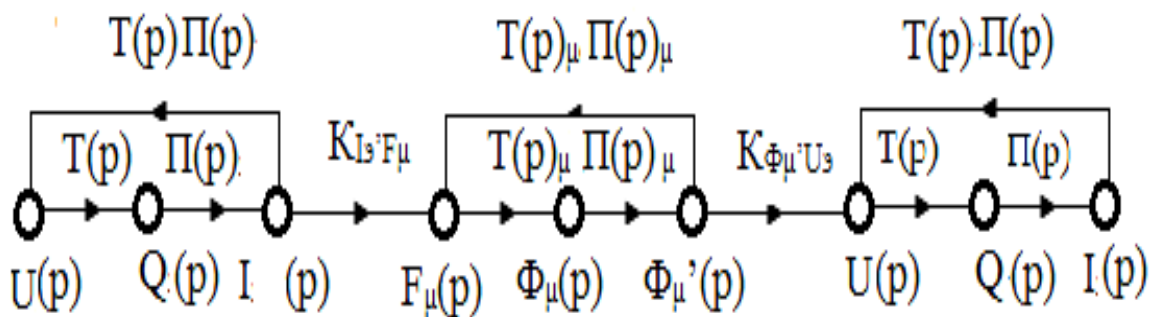


Fig. 3. The Dinamic graphs model of the electromagnetic transducers current to voltage

The dynamic graphs model of the transformation of the primary current in voltage of the electric network of energy system on base of the electromagnetic transducers of the current to voltage is presented in fig.3.

At transformation of the primary current on base of the calculation of the values of the portioned magnetic system at the input, according to designed graphic models area transformations, is determined expressions for calculation of the voltage $U_{e out}$ on output of flat measurire windings with provision for distribution m.m.p. F , in nodes and magnetic flow on longitudinal - F , transverse - $F0$ and vertical - $F1$ - an area. Distribution magnetic parameter $R, R0, -R1$, magnetic values - m.m.p. F and magnetic flow F in area of the magnetic system of the transformation of the electromagnetic transducers of the current to voltage are defined on base of the node equations.

In the third chapter of the dissertation are explored metods of designs of the transducers of the current to voltage as element of combined autocontrol of sources of reactive power of energy system.

The results of modeling and research parameters, input and output values of the electromagnetic transducers of the current to voltage in combined autocontrol system of sources of reactive power on base of the complex of the programs MATLAB is presented in fig. 5.

In the course of analysis of the models of management source to reactive power was determined that designed model in real scale of time allows to define the parameters and values element of the electromagnetic transducers of the current to voltage, meeting the requirements energy system.

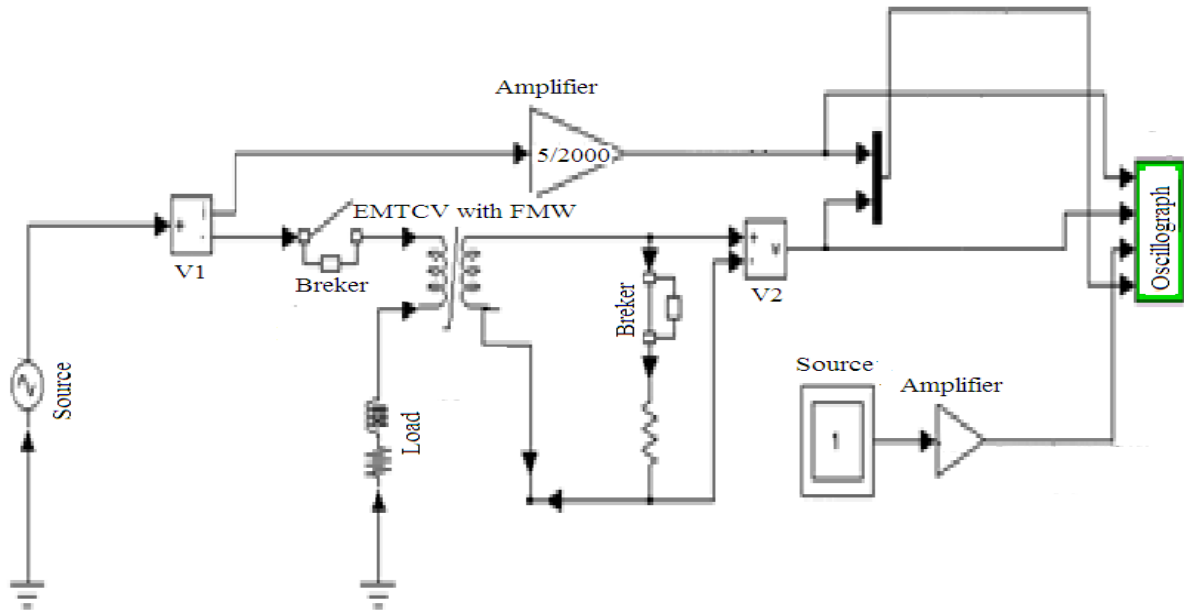
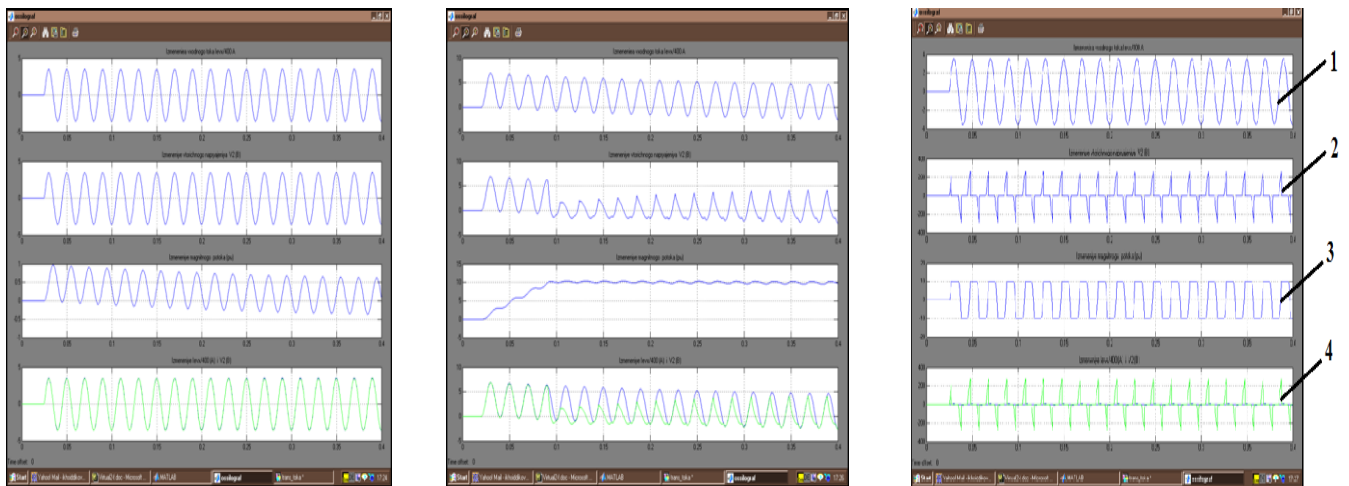


Fig. 4. Model of the research of the electromagnetic transducers of the current to voltage with flat measure windings in complex program MATLAB



a)

b)

c)

Fig.5. Graphics of input (1 - a primary current - $I_{e in}$), intermediate (2 - m.m.p. F_1 and 3- magnetic flow - F_2) and output (4 - a secondary voltage $U_{e out}$) of the values of the electromagnetic transducers of the current to voltage under: normal (a), asymmetrical (b) mode and in mode of the short circuit (c) in electric networks of energy system

As can be seen from the results of modeling and research based on the complex programs MATLAB, connecting processes i.e. change the output voltage of the electromagnetic transducers of the current to voltage are fixed through 0,044 s. after enabling the electric load in current wire of the electric network of energy system.

In the fourth chapter of the dissertation explored main features of the electromagnetic transducers primary current in secondary voltage with flat measuring winding.

The graphs of the steady-state features single-phase of the electromagnetic transducers of the current to voltage, got according to equation are presented on fig.6 - 9:

$$U_{eout} = 4,44 fWF_{pio \max A} e^{-\frac{R_1 t}{L_1}} \pm F_{rem A} e^{-\frac{R_1 t}{L_1}}$$

Similar formulas for building of the steady-state features for secondary voltages of the phases B and C three-phase electric network:

$$U_{eout} = 4,44 fWF_{\max B} e^{-\frac{R_{II} t}{L_{II}}} \pm F_{rem B} e^{-\frac{R_{II} t}{L_{II}}},$$

$$U_{eout} = 4,44 fWF_{\max C} e^{-\frac{R_{III} t}{L_{III}}} \pm F_{rem C} e^{-\frac{R_{III} t}{L_{III}}}.$$

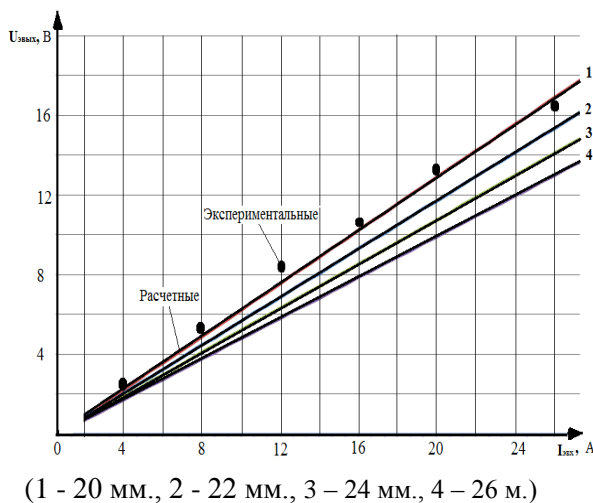


Fig.6 Steady-state features of output voltage under different FMW under importances of the air clearance (points - an experiment, line – a design values)

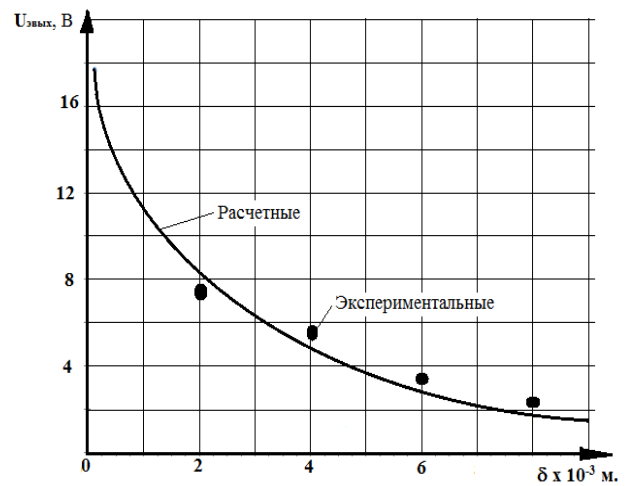


Fig.7. Dependency of the U_{eout} with different importances

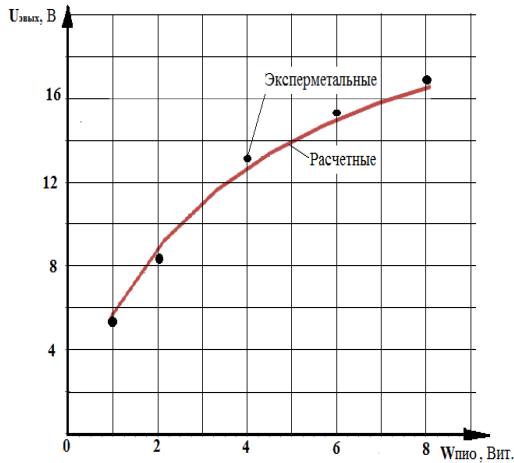


Fig.8. Dependency of the output voltage $U_{e\ out}$ under different importances of the number whorl - W_{FMW} .

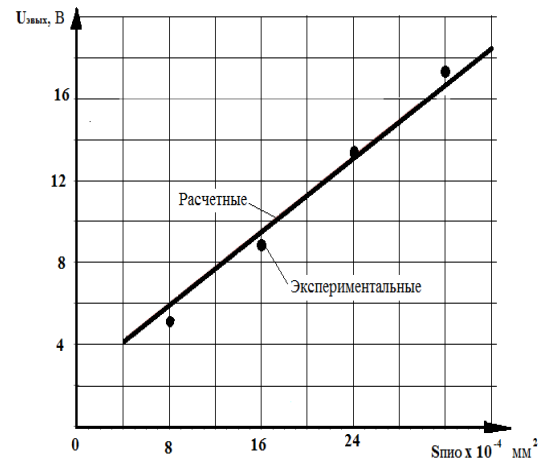


Fig.9 Dependency of the output voltage $U_{e\ out}$ under different importances area sections

As can be seen from fig.7, when increase the air clearance, sharply decreases the value of the output voltage $U_{e\ out}$. The Best values of the output voltage are provided at value of the air clearance equal $0,002 - 0,003\ m$. and count whorl W_{FMW} equal $3 - 4$ (fig.8). Increase the number whorl of the electromagnetic transducers of the current to voltage (fig.9) promotes more fluent change the value of the output voltage, change area sections of flat measure winding provides linear change the output value of the voltage (fig.9).

In dissertation explored processes of combined zautocontrol on base of the electromagnetic transducers of the current to voltage with flat measure windings of sources of reactive power - an cosines of the capacitor installation (CCU) reactive power $Q_{II\ Утуктинфа} = 50\ кВАр$, current $I_{e\ in\ A} = I_{e\ in\ B} = I_{e\ in\ C} = 76\ A$, $L_{eI} = L_{eII} = L_{eIII} = 10^{-3}\ Гн$, $C_{eA} = C_{eB} = C_{eC} = 10^{-7}\ F$, voltage $U_{e\ in\ A} = U_{e\ in\ B} = U_{e\ in\ C} = 380\ B$, impedances $Z_{eA} = Z_{eB} = Z_{eC} = 0,289\ Ом$, which create maximum magnetic flows

$$\Phi_{\max A} = \Phi_{\max B} = \Phi_{\max C} = \frac{U_{\max}}{W_1 \omega} = \frac{380}{1 \cdot 2 \cdot \pi \cdot 50} = 1,721\ Вб$$

The graphs model of the change magnetic flow in magnetic system, defined base molded (1-3), presenting dynamic modes of the electromagnetic transducers of the current to voltage with flat measure winding three-phase electric networks of energy system given in fig.10. As can be seen from the graph, the highest magnetic flow throw, vastly exceeding amplitude of importance formed flow, exist when enabling of the electromagnetic transducers of the current to voltage with flat measure windings, when $\psi I = \psi II = \psi III = 0$ and Φ_{remA} , Φ_{remB} , Φ_{remC} opposite instant importances flow formed condition F_A , F_B and F_C .

When

$$\Phi_A = \Phi_{\max A} [e^{-(R/L)_I} - \cos(\omega t)] \pm \Phi_{\text{rem A}} e^{-(R/L)_I}, \quad (1)$$

$$\Phi_B = \Phi_{\max B} [e^{-(R/L)_{II}} - \cos(\omega t + 120^\circ)] \pm \Phi_{\text{rem B}} e^{-(R/L)_{II}}, \quad (2)$$

$$\Phi_C = \Phi_{\max C} [e^{-(R/L)_{III}} - \cos(\omega t - 120^\circ)] \pm \Phi_{\text{rem C}} e^{-(R/L)_{III}}. \quad (3)$$

The Excess of instant importances magnetic flow in connecting mode when enabling the electric loads bring about appearance dash current, which can in over and over again exceed the nominal current, running through primary windings of the electromagnetic transducers of the current to voltage with flat measure winding.

It is Installed that mode in portioned magnetic system of the electromagnetic transducers of the current to voltage with flat measure winding is fixed through 0,044 s. after enabling the three-phase electric load to currentwire of the electric network of energy system.

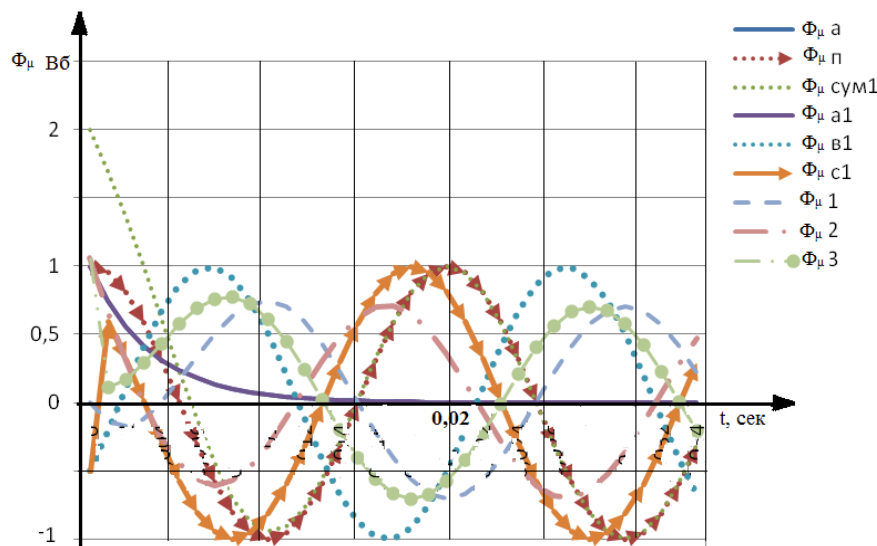


Fig.10. Grafics of magnetic flows in magnetic system of the electromagnetic transducers of the current to voltage with flat measure winding during flow primary current on three-phases electrical networks of energy systems

The graphic model and results of the research of the influence of the temperature surrounding ambiances of current transformer on value of the output voltage U_{out} of the electromagnetic transducers of the current to voltage with flat measure winding are presented on fig.11. and 12.

What have shown the results of the research, total reliability of the design of electromagnetic transducers of the current to voltage with flat measure winding forms: $R = R_{\text{cat}} R_{\text{par}} = 0,98 \cdot 0,98 = 0,96$, where: R_{cat} - catastrophic reliability, R_{par} - parametric reliability fully corresponds to the requirements of combined autocontrol systems of source of reactive power of energy systems.

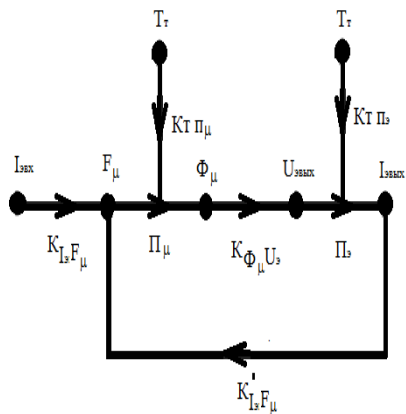


Fig.11. Graph model for research of the sources of inaccuracy output voltage U_{eout}

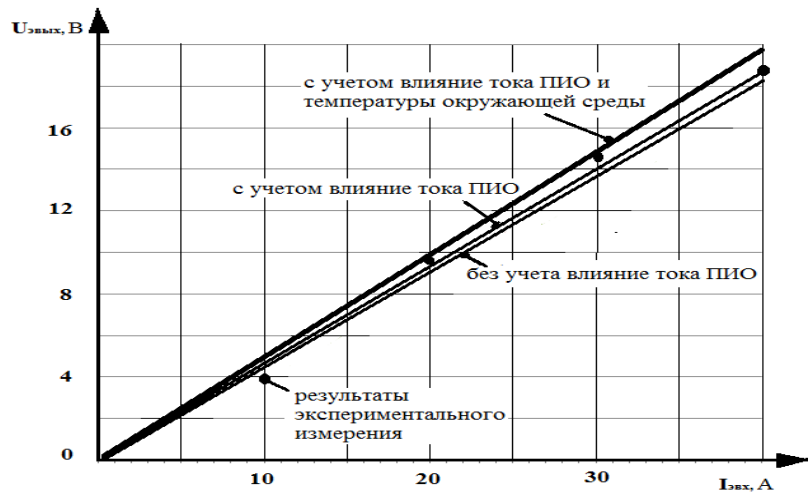


Fig.12. Graphics of I_{eout} and T_m from influence I_{eout} and T_m on voltage U_{eout}

For the electromagnetic transducers of the current to voltage with flat measure winding total errors is defined based on fairsquare error windings excitement, magnetwire, flat measuring windings and measuring scheme: $\delta_{prim.win} = 0,02$; $\delta_m = 0,01$; $\delta_{fmw} = 0,01$; $\delta_{source} = 0,05$.

The entropy importance of inaccuracy for the electromagnetic transducers of the current to voltage with flat measure winding is defined on formula for $\delta_{trans} = k_e \delta_{\Sigma}$, where: δ_{Σ} - total importance of inaccuracy of the electromagnetic transducers of the current to voltage with flat measure winding, equal 0,11; k_e - entropy factors, having different importances under different law of the distribution (for normal law of the distribution of inaccuracy $k_e = 2,07$). The Calculation is installed that entropy inaccuracy of the electromagnetic transducers of the current to voltage with flat measure winding forms $\delta_{trans} = 0,11$. The experimental dates of evidence $\delta_{exp} = 0,21$.

In the fifth chapter of the dissertation explored bases structured and parametric designing of the electromagnetic transducers of the current to voltage with flat measure winding.


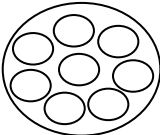
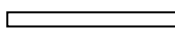
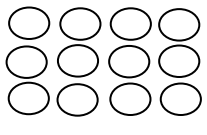

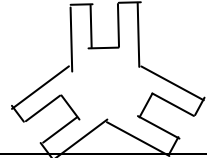
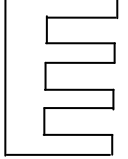
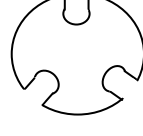
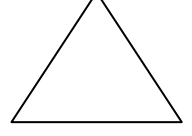
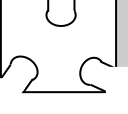
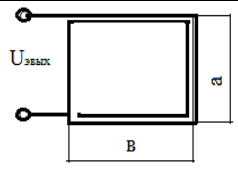
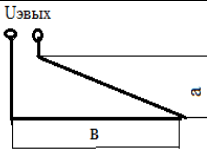
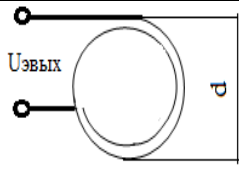
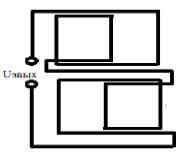
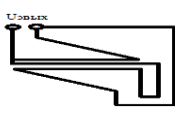
Designing of the electromagnetic transducers of the current to voltage with flat measure winding consists of two stages: choice of the optimum structure and choice optimum parameter transducer.

The Choice of the optimum structure of the transducers is founded on development of the morphological tables main element and choice on their base optimum element, and in the following by arrangements to optimum design of the electromagnetic transducers of the current to voltage with flat measure winding.

After choice of the optimum design reasonable this design to compare to several analogues and prototype to achieve the patent for designed design. For example, at choice of the electromagnetic transducers of the current to voltage with flat measure winding on criterion "sensitivity" on base of the designed algorithm are chosen following forming morphological tabl.3: I.2. - II.3. - III.4.

Table 3

Morfological matrix of main elements of the electromagnetic transducers of the current to voltage

I. The forms of primary windings									
I.1. Odnoshilinaya			I.2. Mnogozhilinaya			I.3. Square-wave - a bus-duct			
	5 1 5 1 1 5 1 5 5 1	1 2 3 4 5 6 7 8 9 10		1 3 3 3 3 3 3 3 4 3	1 2 3 4 5 6 7 8 9 10		4 2 3 2 2 4 2 4 2 2	1 2 3 4 5 6 7 8 9 10	
I.4. Square-wave			I.5. Laminated			Factor of quality			
	2 5 4 5 4 4 2 3 4	1 2 3 4 5 6 7 8 9 10		3 4 1 4 4 2 5 1 1 5	1 2 3 4 5 6 7 8 9 10	чувствительность	1	цена	2
						надежность	3	погрешность	4
						нелинейность	5	диапазон по i_{in}	6
						потери в стали	7	быстродействие	8
						экологичность	9	вес	10
II. The Form of magnetic core									
II.1. Stras form			II.2. Pivotal			II.3. Round			
	3 1 4 1 1 1 5 1 1 1	1 2 3 4 5 6 7 8 9 10		5 2 5 2 2 2 4 2 2 2	1 2 3 4 5 6 7 8 9 10		1 5 1 4 3 3 4 3 5 9	1 2 3 4 5 6 7 8 9 10	
II.4. Triangular			II.5. Square-wave			Factor of quality			
	2 3 3 4 4 5 5 4 3 4	1 2 3 4 5 6 7 8 9 10		4 4 2 5 5 4 3 5 4 5	1 2 3 4 5 6 7 8 9 10	чувствительность	1	цена	2
						надежность	3	погрешность	4
						нелинейность	5	диапазон по i_{in}	6
						потери в стали	7	быстродействие	8
						экологичность	9	вес	10
III. The form of flat measuring windings									
III.1. Square-wave			III.2. Triangular			III.3. Round			
	4 3 4 4 3 1 3 4 4 3	1 2 3 4 5 6 7 8 9 10		5 1 1 5 5 5 3 1 5 5 5	1 2 3 4 5 6 7 8 9 10		3 2 3 3 4 2 2 3 3 4	1 2 3 4 5 6 7 8 9 10	
III.4. Diff. Square-wave			III.5. Diff. treugolinaya			Factor of quality			
	1 5 1 1 1 4 5 1 1 1	1 2 3 4 5 6 7 8 9 10		2 4 2 2 2 5 4 2 2 2	1 2 3 4 5 6 7 8 9 10	чувствительность	1	цена	2
						надежность	3	погрешность	4
						нелинейность	5	диапазон по i_{in}	6
						потери в стали	7	быстродействие	8
						экологичность	9	вес	10

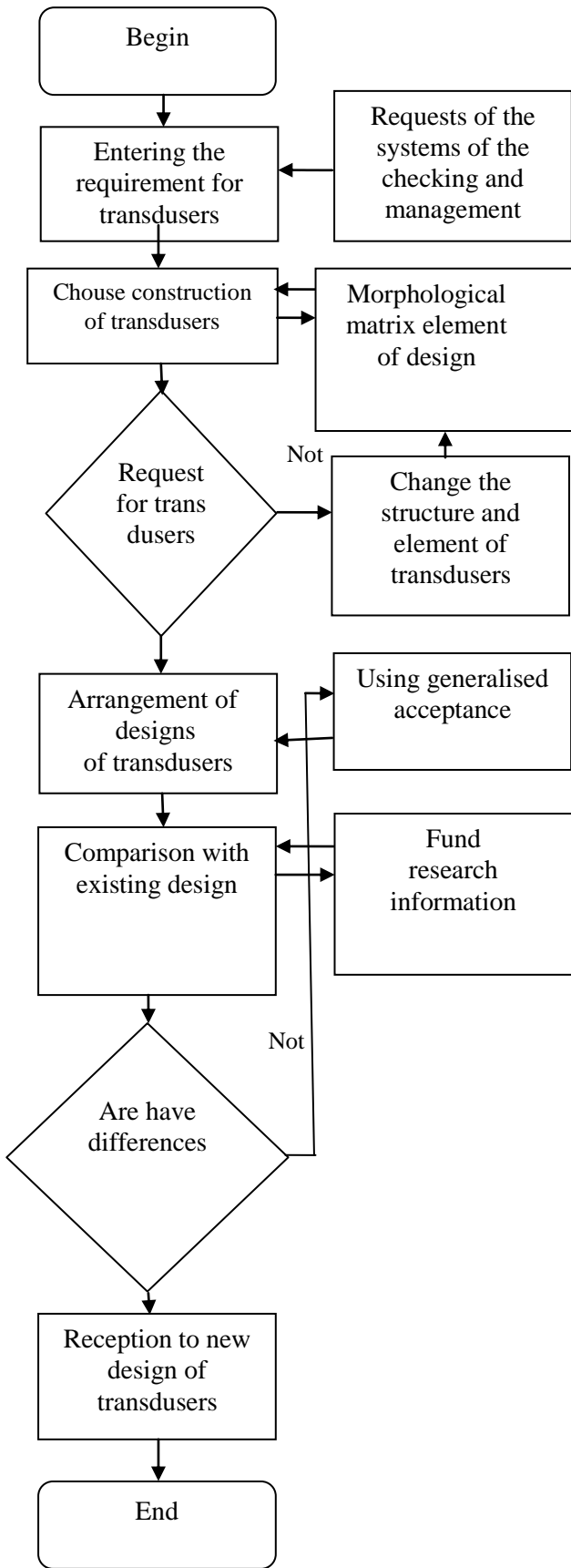


Fig.13 The Block diagram of the algorithm of the choice of the structure

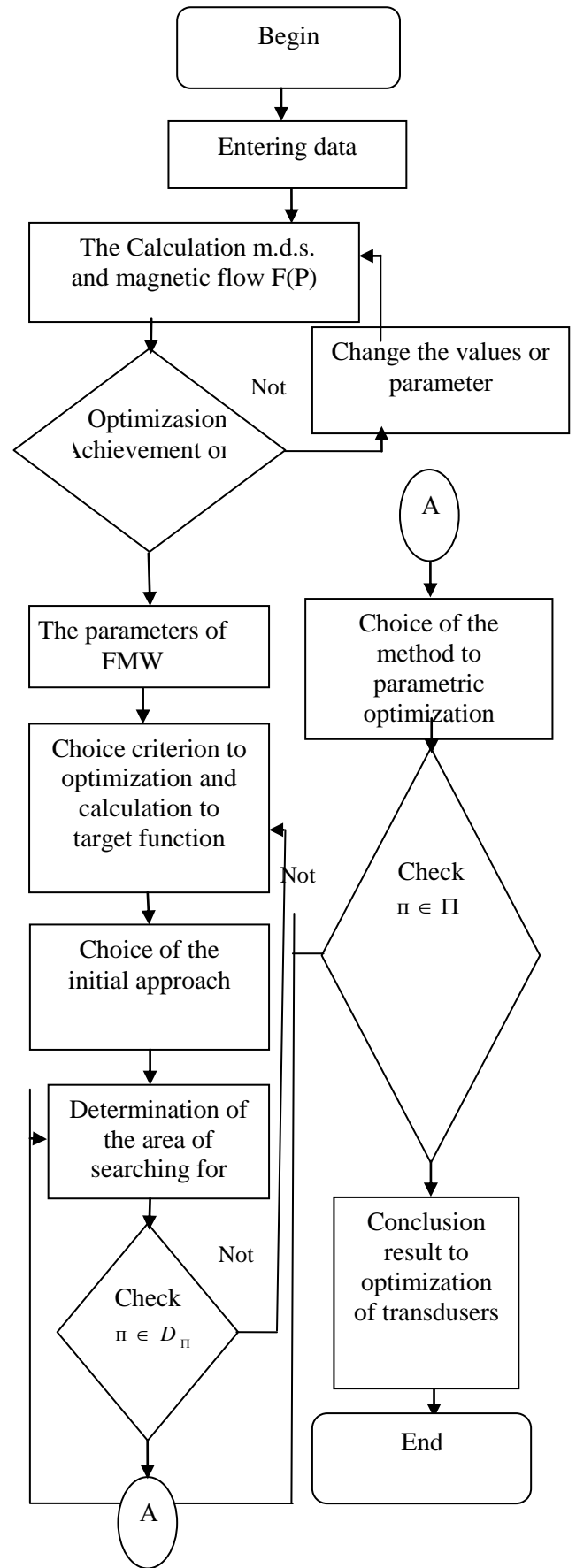


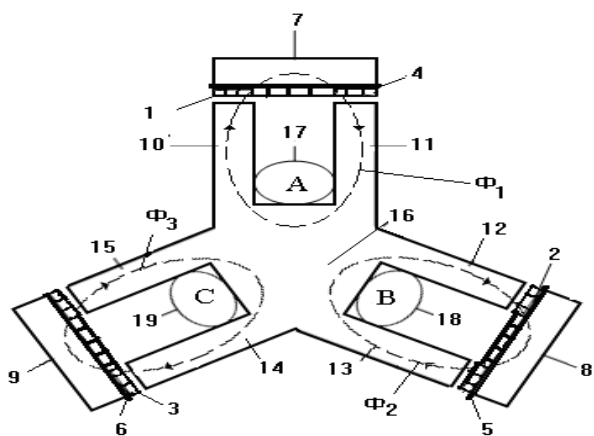
Fig.14 The Block diagram of algorithm of the optimization the parameter

In the sixth chapter of the dissertation given materials of development and creation on the base of the electromagnetic transducers of the current to voltage with flat measure winding combined autocontrol systems of source of reactive power of energy system. The Designs of the electromagnetic transducers of the current to voltage with flat measure winding for multifunction control of sources of reactive power of energy system are on fig. 15 and 16. The technical data of electromagnetic transducers of the current to voltages with flat measuring winding for reactive power course of energy system given in tabl.4.

Prinsiple schemes of the electromagnetic transducers of the current to voltage with flat measure winding for combined autocontrol of source of reactive power of energy system given in fig. 17. Designs designed schemes of the combined autocontrol of source of reactive power on base of the electromagnetic transducers of the current to voltage with flat measure winding practically notinertion, provide pinpoint accuracy and unification out signal universal when using in combined autocontrol system of steady-state and dynamic source of reactive power of energy system, consume the small power, have not a rolling parts, differ high reliability.

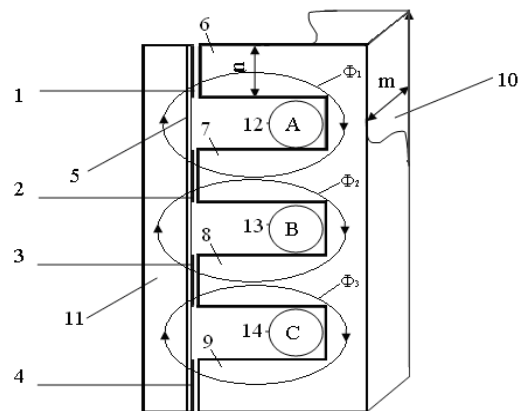
The results of research is installed that frequency of alternating current of electric network of energy system and velocity of the rotation of the rotor of the dynamic sources of reactive power on the base of the electromagnetic transducers of the current to voltage with flat measure winding can be fixed accurate phases (900).

If take into account that when turning through zero importance signs $\cos \alpha 0$ and δ they are changed on opposite, that possible install that signs of the amplitude out voltages from of the electromagnetic transducers of the current to voltage with flat measure winding remain without change.



1, 2, and 3 – FMW, 4, 5 and 6 – insulation plastins, 7,8 and 9 – additional Cores, 10 and 11, 12 and 13, 14 and 15 – pairs if parallel cterjens,16– base of core, 17, 18 and 19- primary windings

Fig.15 The Electromagnetic transducers of the current to voltage with flat measure winding with three magnetic cores (Patent RUZ №04185)



1, 2, 3 and 4 - FMW, 5 – insulation Plastins, 6, 7, 8 and 9 - four Cores, пары 10 – base of core, 11 - core, 12 (phaza A), 13 (phaza B) and 14 (phaza C) – primary windings

Fig.16. The Electromagnetic transducers of the current to voltage with flat measure winding and four magnetic cores (Patent RUZ №04475)

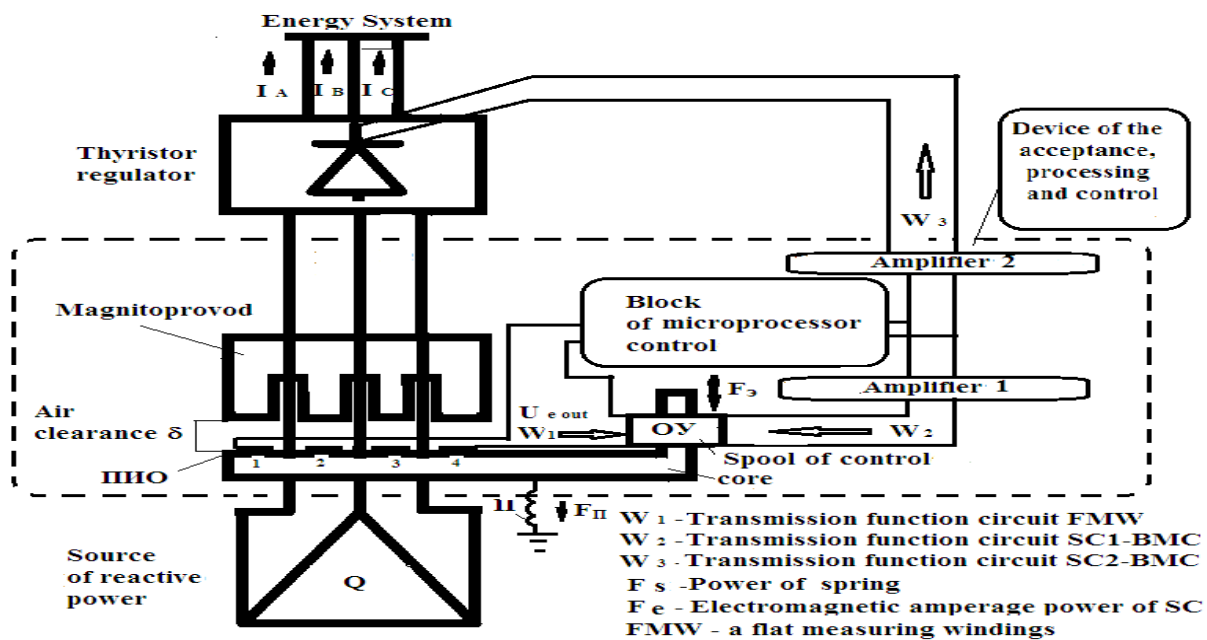


Fig.17. Principle schemes of the electromagnetic transducers of the current to voltage with flat measure winding for combined autocontrol of source of reactive power of energy system

Table 4

The technical data of the electromagnetic transducers of current to voltages with flat measuring winding

Number of input point	Primary current		Output voltage U _{out} (V)	Coeff. of transmission K _T	Resist- tance R (mΩ)	Inductance Lp (μH)	Advisable join conclusion element of the transformation - FMW
	I _p (A)	I _{max} (A)					
1	25	36	25	1/1000	0.3	0,023	In 5 4 3 2 1 Out 6 7 8 9 10
2	12	18	24	2/1000	1,1	0,09	In 5 4 3 2 1 Out 6 7 8 9 10
3	8	12	24	3/1000	2,5	0,21	In 5 4 3 2 1 Out 6 7 8 9 10
4	6	9	24	4/1000	4,4	0,37	In 5 4 3 2 1 Out 6 7 8 9 10
5	5	7	25	5/1000	6,3	0,58	In 5 4 3 2 1 Out 6 7 8 9 10

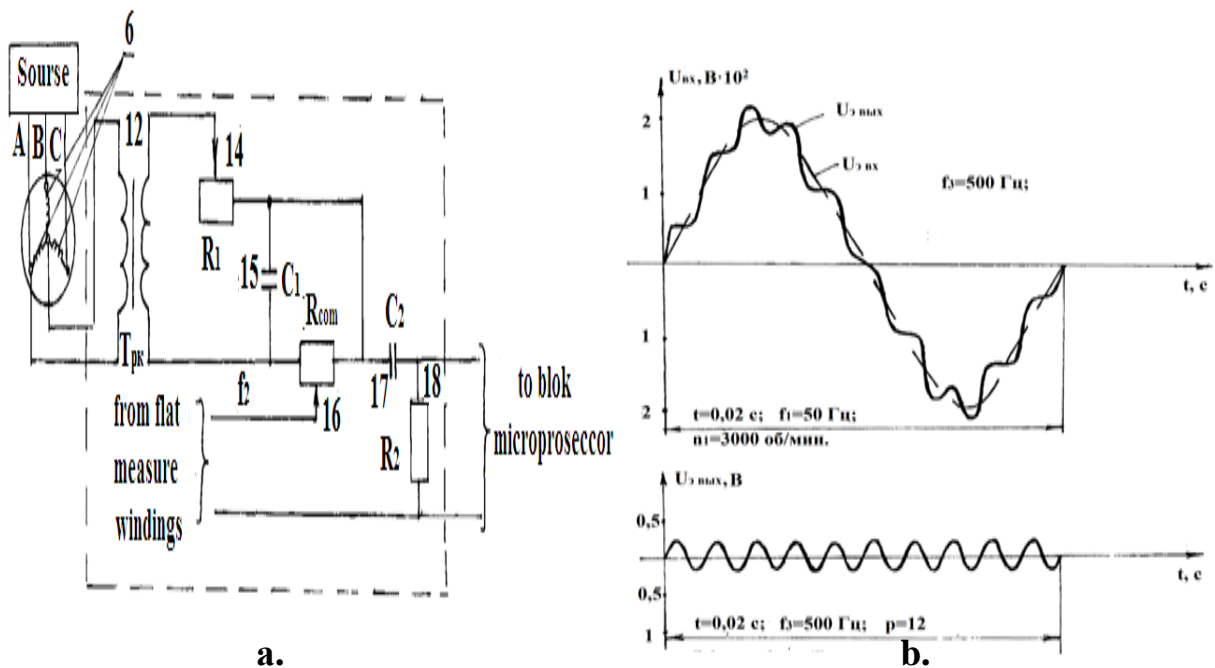


Fig.18. The Scheme of the combined autocontrol of velocity rotations (a), scheme of the filter (b) and out values (c) of the electromagnetic transducers of the current to voltage with flat measure windings.

In conclusion of the dissertation summary of the research, are worded main findings and are offered practical recommendations.

CONCLUSION

In dissertation for combined control of values and parameters of three-phase current of electric networks and reactive power ES, based on theoretical and experimental research is designed: principles of the building of the electromagnetic transducers of the current to voltage with flat measuring winding; the corresponding to mathematical models; the algorithms of the research and designing; as well as methods of the calculation that has allowed to solve a problem development and construction efficient electromagnetic transducers one- and poliphase primary current topsecondary voltage.

Are they in total received following main results:

1. Motivated that using flat measuring windings in electromagnetic transducer of the current to voltage as detector element, provides the reception unified out signal with parameter: voltage - 20 V, current - 100 mA and allows develop new in electromagnetic transducer of the current to voltage whith flat measuring windings, being up to quality combined autocontrol system of reactive power of energy systems.

2. Installed that value out voltages U_{out} depends on degree of perpendicularity and uniformities of the crossing the magnetic flow area flat measuring windings, optimal resistances and conductivities complex portioned area and structures of the magnetic system of the transformation of the electromagnetic transducer of the current to voltage.

3. The Best values out voltages U_{eout} are provided at value of the air clearance - δ equal - 0,002 - 0,003 m and numbers whorl flat measuring windings - W_{FMW} equal - 3 - 4.

4. Designed graphic model, allowing analyse the principles of the building; distribution magnetic flow in hinge magnitwire; the main features, as well as the sources of error electromagnetic trunduser of the current to voltage whith flat measuring windings.

5. It Is Installed that influence of the secondary current I_{eout} flat measuring windings of the current to voltage transducers of the forms 0,017 % from normalized importances in primary current I_{ein} . When change a temperature surrounding ambiences, inaccuracy of the transformation increases 0,03 %, wrong fabrication form flat measuring windings - 0,07 %.

6. Accounting entropy inaccuracy of the transducers of the current to voltage does not exceed 0,2%, but experimental importance of inaccuracy electromagnetic trunduser of the current to voltage whith flat measuring windings forms 0,21%.

7. The Calculation is installed that total reliability combined autocontrol system source of reactive power of the power systems on the base of electromagnetic trunduser of the current to voltage whith flat measuring windings forms the best value, equal 0,96.

8. Designed methods of the building design electromagnetic converters one- and three-phase primary current in secondary voltage of the electric network of the power systems under multifunction control source to reactive power, being up to quality rational energo- and resourece saving systems, taking into account nonsymetry when checking and control in size and phase current to three-phase electric network, providing adequacy of the factors quality and change primary and secondary values.

9. Used automatically controlled of the sources of reactive power in electric sets and power devices with installed power 50 kVt and voltage till 500 kV, allowed increasing of capacitypower ecuipment and электроприемников and energy- and resource saving rejime of electron elements of control voltage 61,8 V instead 57,5 V for 4,31 V (7,5%) more voltage of one phases line and on $1,73 * 7,5\% = 12,9\%$ on linear voltage of the power supply of control system.

10. Employed electromagnetic converters of the current to voltage in electric sets of the systems of power supply more than 20 enterprises shows of accuracy and automations of control source of reactive power, have allowed to reduce the loss to electric powers on 11,26% under normative importance 13,29% (have provided the reduction of the technological consuption to electric powers on 1,13 mlrd. kVtx hour)of account due to increasing of the class of accuracy of elements controle system of reactive power of the power systems from 1,0 to 0,5.

ЭЪЛОН ҚИЛИНГАН ИШЛАР РЎЙХАТИ

Список опубликованных работ

List of published works

I бўлим (I часть; I part)

1. Сиддиков И.Х., Насритдинов Ф.Ж. Исследование принципов построения электромагнитных элементов электроавтоматики и защиты систем электроснабжения на основе графовой модели // Журнал «Беруний юлдузлари». - ТГТУ, Ташкент, 2001. - №1. – с. 87-89.
2. Сиддиков И.Х. Исследование основных характеристик и принципов построения электромеханических преобразователей электроавтоматики на основе графовой модели // Журнал «Вестник ТашГТУ». – Ташкент, 2001. - №1. – с. 11-17.
3. Пихтиенко В.А., Сиддиков И.Х. Исследование основных характеристик электромеханических преобразователей на основе информационно - энергетической модели // Журнал «Беруний юлдузлари». - ТГТУ, Ташкент: 2001. - № 1. - с. 82-86.
4. Сиддиков И.Х., Азимов А.Р., Ахмедов Т. Моделирование и исследование устройств контроля электромеханических систем на основе информационно-энергетической модели // Журнал «Вестник ТашГТУ». – Ташкент, 2002. - №2. – С. 47-54.
5. Siddikov I.Kh., Abdulaev A.Kh., Bobojanov M.K. Perfection and development of sensor controls and measuring transducers on a basis of information-energetics model//WCIS - 2002. Collection of the works. II – World conf. 4-5 June 2002 y. b-Quadrat Verlag, Azerbaijan State Oil Academy, Azerbaijan, Baku, 2002. - p.p. 310 -315.
6. Сиддиков И.Х., Хакимов М.Х., Шоисматов С.Э., Юлдашева О.Х., Газиев Б.А. Энергоинформационная модель устройств контроля параметров автоматизированных систем// Журнал «Вестник ТашГТУ». –Ташкент, 2003. - №1.– с.66-70.
7. Сиддиков И.Х. Исследование источников погрешностей элементов учета, измерения и релейной защиты электроэнергетической системы // Журнал «Вестник ТашГТУ». – Ташкент, Спец. выпуск, 2005. – с. 265-268.
8. Сиддиков И.Х., Кенжаев Ж. Виртуальный стенд для исследования погрешностей трансформаторов тока // Журнал «Техника юлдузлари». - ТГТУ, Ташкент, 2005. - № 4. – с. 40-43.
9. Сиддиков И.Х., Хакимов М.Х., Назаров Ф.Д., Сиддиков О.И., Даминов Х.М. Исследование датчика преобразования несимметричности трехфазного тока в напряжение // Журнал «Проблемы энерго и ресурсосбережения». - ТГТУ, Ташкент, 2009. - № 3-4 - с. 77-82.
10. Маматкулов А.Н., Сиддиков И.Х. Принципы построения преобразователей тока в напряжение с расширенными функциональными возможностями // Журнал «Вестник ТашГТУ». – Ташкент, 2010. - № 3. –с. 73-76.

11. Курбанова М.Ж., Сиддиков И.Х. Преобразователи тока с расширенными функциональными возможностями // Журнал «Проблемы энерго и ресурсосбережения». - ТГТУ, Ташкент, 2010. - № 3-4 - с. 133-135.
12. Сиддиков И.Х., Назаров Ф.Д. Моделирование и исследование электромагнитных преобразователей тока системы автоматического регулирования источников реактивной мощности // Журнал «Проблемы энерго и ресурсосбережения». - ТГТУ, Ташкент, 2011. - №3-4. – с. 61-66.
13. Сиддиков И.Х., Назаров Ф.Д. Исследование характеристик электромагнитных преобразователей тока систем управления реактивной мощностью// Журнал «Химическая технология. Контроль и управление». Ташкент, 2012. - №2, – с. 46-51.
14. Siddikov I.Kh., Khakimov M.Kh., Anarbaev M.A. Research of the Electromagnetic transducers of the primary current to secondary voltage // Межд. научн. Журнал «Наука, образование, техника», Кыргызско–Узбекский университет, Ош, 2012. - №3,4 (41-42), – с. 55-58.
15. Siddikov I.Kh., Iskandarov Z.E. Neuro-Fuzzy automatic control system process of the stretchings of the tape//WCIS - 2012. Collection of the works. VII – World conf. 25-27 November 2012 y. b-Quadrat Verlag, Uzbekistan, Tashkent, 2012. - p.p. 303 -306.
16. Сиддиков И.Х. Электромагнитные преобразователи тока в напряжение с плоскими измерительными обмотками. Монография. - ТГТУ, Ташкент, 2012. – 106 с.
17. Siddikov I.Kh., Khakimov M.Kh., Anarbaev M., Bedritskiy I.M., Research of the electromagnetic transducers of the primary current to secondary voltage // Science and Education. Materials of the II International Research and practice conference. Vol. I, Publishing office of «Vela Verlag Waldkraiburg», Munich, Germany, December, 18-19, 2012. – p.p. 222-225.
18. Siddikov I.Kh. Elektr energiya istemolini nazorat qilish. (Контроль потреблением электроэнергии). –Tashkent, «ILM ZIYO», 2012.-96 с.
19. Сиддиков И.Х., Анарбаев М.А., Хужамов Э.Н., Бекназаров К.Б., Нажматдинов К.М. Исследование погрешностей электромагнитных преобразователей тока с плоскими измерительными обмотками. // НТЖ «Химическая технология. Контроль и управление». Ташкент, 2013. - № 1, – с. 36-40.
20. Салиев Э.А., Саттаров С.А., Сиддиков И.Х., М.Х.Хакимов, Мустафакулов А.А., Сиддиков О.И., Анарбаев М.А. Автоматизированный учет – условия повышения эффективности использования энергоресурсов // Журнал «Проблемы энерго и ресурсосбережения». - ТГТУ, Ташкент, 2013. - №1-2. – с.158-164.
21. Сиддиков И.Х. Разработка и внедрение энергосберегающих автоматических регуляторов реактивной мощности. // Журнал «Вестник ТашГТУ». – Ташкент, 2013. Спец. выпуск. – с. 66-71.
22. Сиддиков И.Х., Анарбоев М.А., Мирзоев Н.Н., Маматкулов А.Н. Элементы управление статическими и динамическими источниками реактивной мощности // Журнал «Проблемы энерго и ресурсосбережения». -

ТГТУ, Ташкент, 2013. – Спец. выпуск. - №3-4. – с. 183-187.

23. Аллаев К.Р., Сиддигов И.Х. и др. Elektr stansiyalari va podstansiyalarining elektr qismi. (Электрическая часть электростанции и подстанции). - Ташкент, Чулпон, 2014.– 302 с.

24. Сиддигов И.Х., Хакимов М.Х., Холиддинов И.Х., Саттаров Х.А., Каюмов М.А. Управление источниками реактивной мощности на основе учета несимметричности составляющих токов трехфазной электрической сети с применением электромагнитных преобразователей тока в напряжение с плоскими измерительными обмотками // Журнал «Проблемы энерго и ресурсосбережения». - ТГТУ, Ташкент, 2014. - №1-2. – с. 58-62.

25. Салиев Э.А., Саттаров С.А., Сиддигов И.Х., Хакимов М.Х., Мустафакулов А.А., Сиддигов О.И., Анарбаев М.А., Григорьев Ю.А. Автоматизированный учет – условие повышения эффективности использования энергоресурсов // Журнал «Проблемы энерго и ресурсосбережения». - ТГТУ, Ташкент, 2014. - №1-2. – с.164-169.

26. Сиддигов И.Х., Холиддинов И.Х., Хасанов М.Ю., Каюмов М.А. О методике расчета сверхнормативного технологического расхода электроэнергии в электрических сетях и разработка мероприятий по их уменьшению // Журнал «Проблемы энерго и ресурсосбережения». - ТГТУ, Ташкент, 2014. - №1-2. – с. 190-195.

27. Сиддигов И.Х., Салиев А.Г., Сиддигов Ж.И., Саимбетов З.Ж. Алгоритмы структурного и параметрического проектирования электромагнитных преобразователей. // НТЖ «Химическая технология. Контроль и управление». Ташкент, 2014. - №2, – С.42-45.

28. Сиддигов И.Х., Кодиров Ф.М., Мирзаева М.Б. Исследование несинусоидальных режимов электрических сетей устройств связи и телекоммуникации // НТЖ «Химическая технология. Контроль и управление». Ташкент, 2014. - №6, – С.46-53.

Патентлар (патенты; patents)

29. Амиров С.Ф., Азимов Р.К., Сиддигов И.Х., Хакимов М.Х., Хушбоков Б., Саттаров Х. Патент РУз. №04185. Преобразователь несимметричности трехфазного тока в напряжение. // Агенство по интеллектуальной собственности РУз. Бюл. – 2010.- №6.

30. Амиров С.Ф., Азимов Р.К., Сиддигов И.Х., Хакимов М.Х., Хушбоков Б.Х., Назаров Ф.Д., Рустамов Д. Патент РУз. № 04475. Преобразователь тока в напряжение. // Агенство по интеллектуальной собственности РУз. Бюл. – 2012. №2.

31. Азимов Р.К., Сиддигов И.Х., Хакимов М.Х., Мухаммадиев С.М., Назаров Ф.Д., Хонназаров И.М., Маматкулов А.Н. Патент РУз. № 04562. Преобразователь тока в напряжение. // Агенство по интеллектуальной собственности РУз. Бюл. – 2012. №8.

32. Азимов Р.К., Сиддигов И.Х., Курбанова М.Ж., Анарбаев М.А., Сиддигов О.И., Маматкулов А.Н. Патент РУз. № 04907. Преобразователь тока в напряжение. // Агенство по интеллектуальной собственности РУз. Бюл. – 2014. №6.

33. Сиддиков И.Х., Азимов А.Р., Хужамов Э.Н., Бекназаров К.Б., Анарбаев М.А., Сиддиков О.И., Маматкулов А.Н. Решение о выдаче Патента РУз. №IAP 2013 0164. Преобразователь несимметричности трехфазного тока в напряжение. // Агенство по интеллектуальной собственности РУз. 29.04.2013.

34. Аллаев К.Р., Сиддиков И.Х., Холиддинов И.Х., Абдуманнонов А.А., Хасанов М.Ю. Алгоритм расчета сверхнормативного технологического расхода электроэнергии // Агенство по интеллектуальной собственности РУз. Свидетельство № 0226, 18.12.2014 г.

II бўлим (II часть; II part)

35. Мирзаакбаров С.Т., Сиддиков И.Х. Структурно - параметрический метод анализа электромеханических систем // Тез. докл. I – Всесоюзн. конф. 4 -5 ноября 1982. –Ташкент, 1982. – с. 167.

36. Сиддиков И.Х., Абдуразакова А.К. Обобщённый конструкторский приём синтеза преобразователей перемещений и скорости подвижных частей коммутационных аппаратов // Тез. докл. Всесоюзн. конф. 10 ноября 1983. – М., 1983. - с. 74.

37. Азимов Р.К., Сиддиков И.Х., Аъзамов А.А., Ханбабаев А. Эвристический метод синтеза измерительных преобразователей // Тез. докл. I – Всесоюзн. конф. 26–27 октября 1987. – Волгоград, 1987. – с. 157-162.

38. Азимов Р.К., Сиддиков И.Х., Шипулин Ю.Г., Усманиев Д., Салимова М. Анализ и синтез электромагнитных датчиков на основе графовых моделей // Тез. докл. I – Всесоюзн. конф. 2–5 сентября 1987. – Ташкент, 1987. – с. 150-154.

39. Азимов Р.К., Сиддиков И.Х., Шипулин Ю.Г. Синтез неоднородных и нелинейных распределенных магнитных цепей на ЭВМ // Тез. докл. III – Всесоюзн. конф. 4–7 декабря 1987. – Ташкент, 1987. – с. 225-229.

40. Сиддиков И.Х. Моделирование и расчет на ЭВМ основных характеристик неоднородных электромагнитных цепей // Тез. докл. Респ. конф. 10–11 декабря 1988. – Ташкент: 1988. – с. 110-114.

41. Азимов Р.К., Сиддиков И.Х., Колмыков С.П., Шипулин Ю.Г., Алланиязов Х. А.С. 1317273. Преобразователь линейных перемещений. // Б.И. - 1987. - №22.

42. Азимов Р.К., Сиддиков И.Х. А.С. 1462107. Поплавковый преобразователь расхода жидкости. // Б.И. -1989. -№8.

43. Азимов Р.К., Шипулин Ю.Г., Усманиев Д.Х., Сиддиков И.Х., Салимова М.С. А.С.1467388. Оптоэлектронный датчик угловых перемещений. // Б.И. -1989. - №11.

44. Азимов Р.К., Сиддиков И.Х., Шипулин Ю.Г., Исамитдинов А.М., Мирзаева В.Р., Крикунова Т.В. А.С. 1551983. Двухкоординатный преобразователь угловых перемещений. // Б.И. -1990. - №11.

45. Азимов Р.К., Сиддиков И.Х., Шипулин Ю.Г., Исамитдинов А.М., Усманиев Д.Х. А.С. 1573340. Двухкоординатный преобразователь угловых перемещений. // Б.И. -1990. -№23.

46. Азимов Р.К., Каримов Х.Г., Сиддиков И.Х. Комплекс программ анализа структур цепей и принципов построения преобразователей с распределенными параметрами «ASPRP» // Фонд алгоритмов и программ (ФАП). Рег. N50890001127 – М.: – 1989. – 231 с.

47. Сиддиков И.Х. Ясси ўлчов чулгамли электрмагнит ўзгартгичларни узгартириш асоси ва улчов хусусиятларини граф моделлари асосида текшириш // Тез. докл. Респ. конф. 11–12 декабрь 1991. – Ташкент, 1991. – б.б. 115-119.

48. Сиддиков И.Х., Хакимов М.Х. Проектирование электромеханических преобразователей систем управления собственных нужд ТЭС // Автоматизация - 97: Материалы Межд. научно- технической конф. 18 – 20 декабря 1997. – Ташкент: 1997. – с. 167-171.

49. Сиддиков И.Х. Автоматическое управление потреблением электроэнергии. - Ташкент: Узэнергосозлаш, 1998. – 21 с.

50. Siddikov I.Kh. Benefits for the teaching staff of the Tashkent State Technical University deriving from their visits in Europe // Energy management. Workshop to the memory of prof. T.Papathecodosiou, 26 April 2001. TEI-A. - Greece, Athens: 2001. - p. 120 -123.

51. Сиддиков И.Х., Косимова Д. Исследование характеристик электромеханических устройств релейной защиты и автоматики // Тез. докл. Респ. конф. 1 – часть, 7-8 апреля 2001, -Ташкент, 2001. – с. 19.

52. Пихтиенко В.А., Сиддиков И.Х. Расчет основных характеристик электромеханических устройства релейной защиты и автоматики на основе информационно-энергетической модели // Тез. докл. Респ. конф. 3 -часть, ТашГТУ. 17-18 апреля 2001. –Ташкент, 2001.- с. 41-42.

53. Сиддиков И.Х. Энергоинформационные модели электромеханических преобразователей // Техника фанлари ва XXI аср глобал муаммолари. Тез. докл. Респ. конф. 2 – часть, 7-8 мая 2001. –Ташкент, 2001. – с. 3-4.

54. Сиддиков И.Х. Информационно-энергетические модели электромеханических преобразователей // Технические науки и глобальные проблемы XXI века. Сб. докл. ТашГТУ 2-часть. –Ташкент, 2001. – с. 3-4.

55. Krontiris E., Hanitch R., Paralika M., Rampias I., Stathais E., Nabe A., Kadirov T.M., Khashimov A.A., Karimov Kh.G., Sitdikov R.A., Shaislamov A.Sh., Yusupov B., Gayibov T.Sh., Siddikov I.Kh., Tulaganov M.M., Badalov A.A. Energy Management Training in Uzbekistan // The final report of the Project EC T JER-10328 – 97. TU - Berlin (Germany), TEI -Athens (Athens, Greece), TashGTU (Tashkent, Uzbekistan), 1997-2001. – 234 p.

56. Сиддиков И.Х., Бабаходжаев Т.Р., Гафуров Ж.Ф. Энергоинформационные модели устройств автоматизации // Тез. докл. Международной конф. 4 – часть, 3-4 мая 2003, Россия, Амурская обл., г. Благовещенск, 2003. – с. 103-105.

57. Сиддиков И.Х., Курбанова М.Ж. Моделирование и исследование электромагнитных систем // Фан ва техника тараккиетида ёшлар. Тез. докл. Респ. конф. 4 – часть, 12 мая 2003. –Ташкент, 2003. – с. 28-29.

58. Сиддиков И.Х., Юлдашева О.Х. Энергоинформационная модель автоматизированных систем // Фан ва техника тараккиетида ёшлар. Тез. докл. Респ. конф. 4 – часть, 12 мая 2003. –Ташкент, 2003. – б.б. 40-41.
59. Сиддиков И.Х., Шамсиев Б.Х. Исследование характеристик элементов релейной защиты и автоматики//Фан ва техника тараккиетида ёшлар. Тез. докл. Респ. конф. 4 – часть, 12 мая 2003.–Ташкент, 2003.– с. 42-43.
60. Schaumburg H., Ritchie E., Khamdamov R.,Kh., Adilov A.A., Bistrov D.D., Zakirov T.Z., Abdullaev A.Kh., Musaev M.N., Siddikov I.Kh., Kayumov Sh.Sh., Mazgarov B.A., Kim M.O. Long Distance Training in Uzbekistan // The final report of the Project EC T JEP-10845-99. TUNH – Gamburg – Harburg (Germany), AAU – Aalborg (Denmark), TashGTU (Tashkent, Uzbekistan), 1999 – 2004. – 342 p.
61. Сиддиков И.Х., Хакимов М.Х., Назаров Ф.Д. Разработка и исследование преобразователей тока для систем учета электрической энергии // Высокие технологии развитие высшего технического образования в XXI веке. Тез. докл. II–Межд. конф. 27-28 апреля 2004.–Ташкент,2004.–с. 258-259.
62. Сиддиков И.Х., Газиёв Б.А., Шербеков Д.А. Анализ измерительных преобразователей тока // Высокие технологии развития высшего технического образования в XXI веке. Тез. докл. II - Международной конф. 27-28 апреля 2004. –Ташкент, 2004. – с. 266.
63. Сиддиков И.Х., Хакимов М.Х., Назаров Ф.Д. Потери мощности на трансформаторах тока и напряжения // Инновация – 2004: Тез. докл. межд. конф. 21-23 октября 2004. –Ташкент, 2004.– с. 158.
64. Siddikov I.Kh., Nazarov F.D., Gafurov J.F., Gaziev B.A., Khakimov M.Kh. Energy management and energy audit in energy sector of Republic Uzbekistan //Control of power system – 04: Thesis’s VI – int. conf. June 16-18 2004. - Slovak Rep., High Taras, Strbske Pleso, 2004. – p.p. 230-235.
65. Шарипов У.Б., Гайиёв Т.Ш., Сиддиков И.Х., Эшмурадов Ш.С. Разработка финансово-технологической модели рационального управления энергетической системой Республики Узбекистан в условиях либерального рынка электроэнергии // Научный отчет по теме П-18.17. – Ташкент, ТашГТУ, 2005. -168 с.
66. Сиддиков И.Х. Виртуальный лабораторный стенд для исследования характеристик трансформаторов тока // «Ресурсосберегающие технологии на железнодорожном транспорте». Тез. докл. Респ. науч. конф. 6-7 декабря 2005. –Ташкент, –с. 699-703.
67. Сиддиков И.Х. Анализ и расчет технологических потерь электроэнергии // «Интеграции науки, образования и производства». Тез. докл. Респ. конф. 21-23 декабря 2005. -Ташкент, - с. 264-267.
68. Сиддиков И.Х., Бабоходжаев Т.Р., Сиддиков О.И. Исследование преобразователей тока с плоскими измерительными обмотками. // «Современное состояние и перспективы развития энергетики». Тез докл. Межд. конф. 18-20 декабря 2006.- Ташкент, - с.171-173.
69. Сиддиков И.Х., Хакимов М.Х., Рустамов Т.Э. Анализ составляющих технологических потерь электроэнергии // «Современное

состояние и перспективы развития энергетики». Тез. докл. Межд. конф. 18-20 декабря 2006. –Ташкент, - с.186-188.

70. Сиддиков И.Х. Автоматика электрических станции и электроэнергетических систем. – ТашГТУ, -Ташкент, 2007.–35 с.

71. Сиддиков И.Х., Хакимов М.Х., Сиддиков О.И. Исследование элементов и устройств релейной защиты и автоматики, соответствующих принципам ресурсосбережения//АСТИНТЕХ– 2007. Тез.докл. Всероссийской конф. 18-20 апреля 2007. -Астрахан, Россия, 2007. – с. 62-63.

72. Правила устройства электроустановок (ПУЭ) (Официальное издание) /Гуломов Б.Х., Салиев А.Г., Ташпулатов Б.Т., Тешабаев Б.М., Кадыров Т.М., Каримов Х.Г., Камалов Т.С., Халиков С.С., Саидходжаев А.Г., Гайибов Т.Ш., Сиддиков И.Х., Усманов Э.Г., Бурхонходжаев О.М., Таслимов А.Д., Рисмухаммедов Д.А., Сайфуллаева Л.И. Ташкент: ГИ Узгосэнергонадзор. - 2007. – 732 с.

73. Эшмуродов Ш.С., Шарипов У.Б., Гайибов Т.Ш., Сиддиков И.Х., Бобоназаров Б.Б.// Разработка алгоритмов и методики повышения точности данных телеизмерений и оценка рабочего состояния основных электрических сетей электроэнергетической системы Республики Узбекистан // Научный отчет по теме А-12-073. – Ташкент: ТашГТУ, 2008.- 158 с.

74. Сиддиков И.Х., Турдибеков К.Х. Исследование датчика преобразования несимметричности трехфазного тока в напряжение для электрифицированной железной дороги // «Проблемы энерго и ресурсосбережения в железной дороге». Тез. докл. Межд. конф. 2–3 декабрь 2009. –Ташкент, 2009. – с. 91.

75. Сиддиков И.Х., Назаров Ф.Д., Анарбаев М., Хонтураев И. Принципы построения преобразователей тока с расширенными функциональными возможностями // «Опыт внедрения энергосберегающих технологии». Тез. докл. Респ. конф. с участием зарубежных представителей. 8 апреля 2010. –Ташкент, 2010. – с.95.

76. Сиддиков И.Х., Бабоходжаев Т.Р. Внедрение преобразователей тока в напряжение с расширенными функциональными возможностями для систем управления // «Энергетика: Управление, качество и эффективность использования энергоресурсов». Тез.докл. 6 – Всероссийской научно-технической конф. 25-27 мая 2011.–Благовещенск,2011.– с. 123-124.

77. Сиддиков И.Х., Бабаходжаев Т.Р., Сиддиков О.И. Управления устройствам защиты и автоматики источников реактивной мощности и энергии // «Современные проблемы энергетики». Тез. докл. Межд. Конф. Том II, 16 декабря 2011. Ташкент, 2011. – с. 64-66.

78. Сиддиков И.Х., Назаров Ф.Д., Даминов Х., Нажматдинов К.М., Маматкулов А., Хужамов Э. Электромагнитные преобразователи тока в напряжение трехфазной электрической сети. // «Актуальные вопросы современной техники и технологии». Тез. докл. VI – Межд. Конф. 28 января 2012. – Липецк, Россия: -2012. – с. 90-94.

79. Сиддиков И.Х., Ахмедов Т.Б., Анорбоев М.А., Хакимов М.Х., Талипова С.Б., Сиддиков О.И., Нажматдинов К.М. Оценка погрешности

электромагнитных преобразователей первичного тока во вторичное напряжение. // «Актуальные вопросы современной техники и технологии». Тез. докл. X – Юбилейная Межд. Конф. 26 января 2013. – Липецк, Россия: - 2013. – с. 124-127.

80. Сиддиков И.Х., Хакимов М.Х., Григорьев Ю.А., Анамбаев М.А., Нажматдинов К.М. Энергосбережение на основе автоматического регулирования реактивной мощности энергосистем. // «Энергетика: Управление, качество и эффективность использования энергоресурсов». Тез. докл. 7 – Всероссийской научно-технической конф. 25-27 мая 2013.– Благовещенск, 2013.– с. 231-234.

81. Сиддиков И.Х., Ибрагимов Р.И., Шамсуддинов Х.Ф., Ахмедов Т.Б. Исследование источников погрешностей электромагнитных преобразователей тока во вторичное напряжение. // «Энергетика: Управление, качество и эффективность использования энергоресурсов». Тез. докл. 7 – Всероссийской научно-технической конф. 25-27 мая 2013.– Благовещенск, 2013.– с. 466-468.

82. Сиддиков И.Х., Анорбоев М.А., Нажматдинов К.М., Холиддинов И.Х., Мирзоев Н.Н., Григорьев Ю.А. Талипова С.Б. Основы структурного проектирования электромагнитных преобразователей первичного тока во вторичное напряжение на основе плоской измерительной обмотки. // «Актуальные вопросы современной техники и технологии». Тез. докл. XIV – Межд. Конф. 24 января 2014. – Липецк, Россия: -2014. – с. 44-51.

83. Сиддиков И.Х., Керимзатов З.Т., Нажматдинов К.М., Танирбергенов М.Б., Сейтимбетов Р.Ж., Сейтимбетов А.С., Узаков Б.А., Торамбетов К.С., Нажматдинов К.К. Параметрическое проектирование электромагнитных преобразователей первичного тока во вторичное напряжение // «Актуальные вопросы современной техники и технологии». Тез. докл. XIV – Межд. Конф. 24 января 2014. – Липецк, Россия: -2014. – с. 52-58.

84. Саттаров С.А., Сиддиков И.Х., Хасанов М.Ю., Каюмов М.А., Сиддиков Ж.И., Маматкулов А.Н., Тошев Т., Каримов И. Исследование цифровой системы регулирования в программном пакете MATLAB. // «Актуальные вопросы современной техники и технологии». Тез. докл. XIV – Межд. Конф. 25 мая 2014. – Липецк, Россия: -2014. – с. 37-41.

