

**ТОШКЕНТ ДАВЛАТ ТЕХНИКАУНИВЕРСИТЕТИ ВА
«ИЛМИЙ-ТЕХНИКА МАРКАЗИ» МЧЖ ҲУЗУРИДАГИ ИЛМИЙ
ДАРАЖАЛАР БЕРУВЧИ DSc 27.06.2017.Т.03.03 РАҚАМЛИ
ИЛМИЙ КЕНГАШ**

ТОШКЕНТ ДАВЛАТ ТЕХНИКА УНИВЕРСИТЕТИ

САЪДУЛЛАЕВ МАРДУЛЛО

**ЭЛЕКТРТЕХНИК ҚУРИЛМАЛАРНИ РЕАКТИВ ҚУВВАТИНИ
РОСТЛАШ ВА ЭЛЕКТР ДВИГАТЕЛЛАРНИ ИШГА ТУШИРУВЧИ
КОНТАКТСИЗ ВОСИТАЛАР**

05.05.01 – Энергетика тизимлари ва мажмуалари

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

Ташкент – 2019

**Техника фанлари бўйича фалсафа доктори (PhD) диссертацияси
автореферати мундарижаси**

**Оглавление автореферата диссертации доктора философии (PhD)
по техническим наукам**

**Content of the dissertation abstract of doctor of philosophy (PhD)
on technical sciences**

Саъдуллаев Мардулло

Электртехник қурилмаларни реактив қувватини ростлаш ва электр
двигателларни ишга туширувчи контактсиз воситалар 3

Саъдуллаев Мардулло

Бесконтактные средства регулирования реактивной мощности электро-
технических установок и пуска электродвигателей 21

Sa'dullayev Mardullo

Contactless facilities for regulation of reactive power of electrotechnical
installations and starting of electric motors 39

Эълон қилинган ишлар рўйхати

Список опубликованных работ

List of published works

43

.....

**ТОШКЕНТ ДАВЛАТ ТЕХНИКАУНИВЕРСИТЕТИ ВА
«ИЛМИЙ-ТЕХНИКА МАРКАЗИ» МЧЖ ҲУЗУРИДАГИ ИЛМИЙ
ДАРАЖАЛАР БЕРУВЧИ DSc 27.06.2017.Т.03.03 РАҚАМЛИ
ИЛМИЙ КЕНГАШ**

ТОШКЕНТ ДАВЛАТ ТЕХНИКА УНИВЕРСИТЕТИ

САЪДУЛЛАЕВ МАРДУЛЛО

**ЭЛЕКТРТЕХНИК ҚУРИЛМАЛАРНИ РЕАКТИВ ҚУВВАТИНИ
РОСТЛАШ ВА ЭЛЕКТР ДВИГАТЕЛЛАРНИ ИШГА ТУШИРУВЧИ
КОНТАКТСИЗ ВОСИТАЛАР**

05.05.01 – Энергетика тизимлари ва мажмуалари

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

Ташкент – 2019

Техника фанлари бўйича фалсафа доктори (PhD) диссертацияси мавзуси Ўзбекистон Республикаси Вазирлар Маҳкамаси ҳузуридаги Олий аттестация комиссиясида В2017.2.PhD/T244 рақам билан рўйхатга олинган.

Диссертация Тошкент давлат техника университетида бажарилган.

Диссертация автореферати уч тилда (ўзбек, рус, инглиз (резюме)) Илмий кенгаш веб-саҳифасида (www.tdtu.uz) ва “ZiyoNet” Ахборот таълим порталида (www.ziyounet.uz) жойлаштирилган.

Илмий раҳбар:

Бобожанов Махсуд Қаландарович
техника фанлари доктори, профессор

Расмий оппонентлар:

Мирзабаев Акрам Махкамович
“Қуёш энергияси институти” бош илмий ходими,
техника фанлари доктори

Холиддинов Илхомбек Хосилжонович
техника фанлари бўйича фалсафа доктори (PhD)

Етакчи ташкилот:

Тошкент темир йўл муҳандислари институти

Диссертация ҳимояси Тошкент давлат техника университети ва «Илмий-техника марказ» МЧЖ ҳузуридаги DSc.27.06.2017.T.03.03 рақамли Илмий кенгашнинг 2019 йил “___” _____ соат ___ даги мажлисида бўлиб ўтади. (Манзил: 100095, Тошкент ш., Университет кўчаси, 2-уй). Тел.: (99871) 246-46-00, факс.: (99871) 227-10-32; e-mail: tstu_info@tdtu.uz

Диссертация билан Тошкент давлат техника университетининг Ахборот-ресурс марказида танишиш мумкин (№ ___ рақами билан рўйхатга олинган). (Манзил: 100095, Тошкент, Университет кўчаси, 2-уй. Тел./ факс: (99871) 227-03-41).

Диссертация автореферати 2019 йил “___” _____ куни тарқатилди.
(2019 йил “___” _____ - рақамли реестр баённомаси).

Қ.Р.Аллаев

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

Н.Б.Пирматов

Илмий даражалар берувчи
илмий кенгаш илмий котиби, т.ф.д., профессор

И.М.Ибадуллаев

Илмий даражалар берувчи илмий
кенгаш қошидаги илмий семинарраиси,
т.ф.д., профессор

КИРИШ (фалсафа доктори (PhD)диссертацияси аннотацияси)

Диссертация мавзусининг долзарблиги ва зарурати. Жаҳонда энергетика соҳасини ривожлантиришга алоҳида эътибор қаратилиб, истеъмол қилиш жараёнида энергия ва ресурс тежамли иш режимларини яратишга қаратилган тадқиқотлар муҳим аҳамият касб этмоқда. Ривожланган мамлакатларда, жумладан АҚШ, Германия, Франция ва Япония каби давлатларда саноатнинг турли хил соҳаларида ишлаб чиқаришнинг самарадорлигини ошириш ва техник воситаларни автоматлаштириш ҳамда ишлаб чиқаришга янги технологияларни жорий этишни тадқиқ қилиш масалалари етакчи ўрин эгалламоқда¹. Шу жиҳатдан тармоқда етишмаётган реактив қувватни, истеъмол қилинаётган энергиянинг миқдори ва характериға боғлиқ ҳолда компенсация қурилмалари қувватини воситалар ёрдамида ростлаш долзарб вазифалардан бири ҳисобланади.

Жаҳонда реактив қувват регуляторлари ва контактсиз коммутацияловчи қурилмаларни ишлаб чиқиш, такомиллаштириш ва эксплуатацион хоссаларини ошириш борасида илмий тадқиқот ишлари олиб борилмоқда. Бу борада ҳар хил истеъмолчиларни, шунингдек конденсатор батареялари қувватини автоматик ростлаш, электр моторларни кучли режимда алоҳида улашда контактсиз коммутацияловчи қурилмаларни яратиш муҳим вазифалардан бири ҳисобланади. Шу билан бирга, динамик жараёнларни тадқиқ қилиш учун контактсиз қурилмалар моделини ишлаб чиқиш зарур ҳисобланади.

Республикамизда электр энергия исрофини камайтириш ва тармоқни ўтказувчанлик қобилятини оширишда янги технологияларни амалиётда қўллаш юзасидан кенг қамровли чора-тадбирлар амалга оширилмоқда. 2017-2021 йилларда Ўзбекистон Республикасини янада ривожлантириш бўйича Ҳаракатлар стратегиясида, жумладан «... иқтисодиётда энергия ва ресурслар сарфини камайтириш, ишлаб чиқаришга энергия тежайдиган технологияларни кенг жорий этиш, ...»² бўйича вазифалари белгиланган. Мазкур вазифаларни амалга ошириш учун, жумладан электр таъминоти тизимини ишлашини ва самарадорлигини яхшилайдиган конденсатор батареялари қувватини ф бурчаги ва кучланиш бўйича ростлайдиган ва электр моторларни оғир иқлим шароитида кучли режимда коммутацияловчи оддий тузилишга эга янги ишга туширувчиларни яратиш, тадқиқ қилиш, такомил-лаштириш ва ҳисоблаш дастурларини ишлаб чиқиш муҳим масалалардан бири ҳисобланади.

Ўзбекистон Республикаси Президентининг 2017 йил 7 февралдаги ПФ-4947-сон «Ўзбекистон Республикасини янада ривожлантириш бўйича Ҳаракатлар стратегияси тўғрисида»ги Фармони, Ўзбекистон Республикаси Президентининг 2015 йил 5 майдаги ПҚ-2343-сон «2015-2019 йилларда иқтисодиёт тармоқлари ва ижтимоий соҳада энергия сарфи ҳажмини қисқартириш, энергияни тежайдиган технологияларни жорий этиш чора-тадбирлари дастури тўғрисида», 2016 йил 13 июлдаги ПҚ-2559-сон «Электр энергетика

¹ <https://www.ceer.eu/documents/104400/-/-/484ca68c-2966-2bfa-f591-0f3a1eaf1f52>

² Ўзбекистон Республикаси Президентининг 2017 йил 7 февралдаги ПФ-4947-сон “Ўзбекистон Республикасини янада ривожлантириш бўйича Ҳаракатлар стратегияси тўғрисида”ги Фармони

соҳасида илмий-техникавий фаолиятни янада такомиллаштириш чора-тадбирлари тўғрисида», 2017 йил 26 майдаги ПҚ-3012-сон «2017-2021 йилларда қайта тикланувчи энергетикани янада ривожлантириш, иқтисодиёт тармоқлари ва ижтимоий соҳада энергия самарадорлигини ошириш чора-тадбирлари дастури тўғрисида»ги Қарорлари ва Ўзбекистон Республикасининг электр энергиясини назорат қилиш давлат инспекцияси бошлиғининг 2018 йил 26 июлдаги 10-сонли "Реактив қувват компенсациясини ўтказиш тартиби тўғрисидаги низомга ўзгартириш киритиш тўғрисида"ги буйруғи ҳамда мазкур фаолиятга тегишли меъёрий-ҳуқуқий ҳужжатларда белгиланган вазифаларини амалга оширишда ушбу диссертация тадқиқоти муайян даражада хизмат қилади.

Тадқиқотнинг республика фан ва технологиялари ривожланишининг устувор йўналишларига мослиги. Мазкур тадқиқот республика фан ва технологиялар ривожланишининг II. «Энергетика, энергия ва ресурстежамкорлик» устувор йўналиши доирасида бажарилган.

Муаммонинг ўрганилганлик даражаси. Реактив қувватни контактсиз автоматик ростлаш ва турли электр ускуналарни контактсиз коммутациялайдиган ускуналарни ишлаб чиқиш ва тадқиқ қилиш масалалари бўйича бир қатор чет эл олимлари: R.A.Hamilton, G.R.Lezan, В.П.Иляшов, Г.М.Рубашов, А.А.Поскробко, А.Г.Сосков, И.М.Туманов, Ю.Ф.Вагапов, шунингдек, Ўзбекистонлик олимлар, хусусан профессор Т.М.Қодировнинг илмий мактаби ва бошқалар шуғулланган.

Шу билан бирга илмий адабиётлар ва Интернет материалларини тадқиқоти компенсация қурилмаларини автоматик ростлаш ва электр моторларини контактсиз ишга тушириш муаммоларини етарлича ўрганилмаганидан далолат беради. Бундан ташқари ишлаб чиқилган қурилмалар мураккаб тузилишга эга. Бу эса ушбу қурилмаларни йиғишда, созишда ва хизмат кўрсатишда етарлича қийинчиликни юзага келтиради.

Диссертация тадқиқотининг диссертация бажарилган олий таълим муассасасининг илмий-тадқиқот ишлари режалари билан боғлиқлиги. Диссертация тадқиқоти Ислон Каримов номидаги Тошкент давлат техника университетининг илмий-тадқиқот ишлари режаси билан боғлиқ бўлиб, давлат бюджети томонидан молиялаштирилган ОТ-Атех-2018-357 «Контактсиз қурилмаларни қўллаш орқали электр таъминоти тизимини ишончлилиги ва энергия самарадорлигини ошириш» (2018-2020 йй.) амалий лойиҳаси доирасида бажарилган.

Тадқиқотнинг мақсади конденсатор батареялари қувватини автоматик ростлаш ва электр моторларини ишга тушириш учун содда конструкцияли контактсиз қурилмаларни ишлаб чиқиш ва тадқиқот қилишдан иборат.

Тадқиқотнинг вазифалари:

конденсатор батареялари қувватини автоматик ростлаш ва электр моторларини ишга тушириш учун оддий тузилишли контактсиз қурилмаларни ишлаб чиқиш зарурлигини асослаш;

конденсатор батареялари қувватини автоматик ростлаш қурилмалари-ни такомиллаштириш учун электрон кучланиш релесини яратиш;

ϕ бурчак ва кучланиш функцияси бўйича ишлайдиган контактсиз қурилмани ишлаб чиқиш ва тадқиқ қилиш;

конденсатор батареялари қувватини ростлаш ва электр моторларини ишга тушириш учун янги контактсиз қурилмаларни тажрибада тадқиқ қилиш.

Тадқиқотнинг объекти конденсатор батареялари қувватини автоматик ростлаш ва электр қурилмаларни ишга тушириш учун контактсиз қурилмалар кўриб чиқилди.

Тадқиқотнинг предмети контактсиз қурилма учун ϕ бурчагининг ўзгариши бўйича ишловчи бир- ва икки тиристорли реле ва электрон кучланиш релеси ташкил этади.

Тадқиқотнинг усуллари. Тадқиқот жараёнида ток трансформаторини иккиламчи кучланиши импульсини назарий асосда ҳисоблаш, характеристикаларини аналитик усулда: бўлакли-чизикли аппроксимация ва Эйлер тенгламаларидан, тажрибавий тадқиқот усуллари қўлланилди.

Тадқиқотнинг илмий янгилиги қуйидагилардан иборат:

конденсатор батареялари қувватини ϕ бурчак функциясида автоматик ростлаш учун икки тиристорли контактсиз қурилманинг янги схемаси ишлаб чиқилган;

конденсатор батареялари қувватини кучланиш бўйича автоматик контактсиз ростлаш қурилмани ишлатиш учун янги электрон реле ишлаб чиқилган;

бир вақтнинг ўзида ϕ бурчак функцияси ва кучланиш бўйича конденсатор батареялари қувватини автоматик ростлаш учун комбинациялашган қурилманинг янги схемаси ишлаб чиқилган;

MATLAB дастурини қўллаб динамик характеристикаларни тадқиқ қилиш мақсадида контактсиз ишга туширувчи ва конденсатор батареялари қувватини ϕ бурчак функциясида ростлаш учун модел ишлаб чиқилган.

Тадқиқотнинг амалий натижаси қуйидагилардан иборат:

конденсатор батареялари қувватини ϕ бурчак функцияси бўйича автоматик ростлаш учун икки тиристорли контактсиз қурилма тайёрланди ва тажриба нусхаси синовдан ўтказилди;

конденсатор батареялари қувватини ϕ бурчак функцияси ва кучланиш бўйича автоматик ростлаш учун бирлаштирилган қурилма тайёрланди ва тажриба нусхаси синовдан ўтказилди.

Тадқиқот натижаларининг ишончлилиги. Назарий ва тажриба тадқиқотларни якунида уларнинг ўзаро мослиги, амалиётга қўлланиши, шунингдек, назарий тадқиқот натижаларини экспериментал ўлчовларга тўғри келиши асосланади.

Тадқиқот натижаларининг илмий ва амалий аҳамияти:

Тадқиқот натижаларини илмий аҳамияти ф бурчак функциясида конденсатор батареяларини автоматик ростлаш регуляторларини ишлашини таъминлаш учун бўлакли-линияли аппроксимацияни қўллаб, тенгламани Эйлер усулида ечиб, актив, актив-индуктив ва актив-сиғимли юкламаларида импульс кучланиши ва тиристорни очилиш бурчагини аниқлаш билан изоҳланади.

Тадқиқотнинг амалий аҳамияти ишлаб чиқилган бир вақтнинг ўзида ф бурчак ва кучланиш бўйича конденсатор батареялари қувватини автоматик ростловчи бирлаштирилган контактсиз қурилмани қўллаб, қувват коэффициенти 0,98 ораликда таъминланади, шунингдек соддалаштирилган конструкцияли ишга туширувчи жорий қилиниб, электр моторларни ишга туширишда, тўхтатишда ишончли коммутация таъминланди.

Тадқиқот натижаларининг амалиётга тадбиқ қилиниши: Конденсатор батареялари қувват регуляторларини такомиллаштириш бўйича олинган илмий натижалари асосида:

янги электрон кучланиш релесига Ўзбекистон Республикаси Интеллектуал мулк агентлиги томонидан ихтиро учун патент олинган. Конденсатор батареялари қувват регуляторларини такомиллаштириш учун ишлаб чиқилган кучланиш релеси ишлатиш натижасида 0,98 ораликда юқори қийматда қувват коэффициенти таъминланади (№ IAP 04003 – 2009 й.).

Навбахор ва Қизилтепа пахта тозалаш корхоналарида истеъмол қилинаётган реактив қувватни ростлаш учун ф бурчаги ва кучланиш бўйича ишлайдиган конденсатор батареялари қувватини автоматик ростлайдиган қурилма жорий қилинган (“Ўзпахтасаноат” АЖнинг 2019 йил 5 ноябрдаги 0318/7077-сон маълумотномаси). Натижада янги қурилмани жорий этиш орқали бир йилда 65 млн сўм иқтисодий самарадорлик ёки 12% электр энергияни иқтисод қилиш имкони яратилган.

Тадқиқот натижаларининг апробацияси. Тадқиқот натижалари, жумладан 10 та халқаро ва 10 та республика илмий-амалий анжуманларида муҳокамадан ўтказилган.

Тадқиқот натижаларининг эълон қилиниши. Диссертация мавзуси бўйича жами 45 та илмий иш чоп этилган, шулардан, Ўзбекистон Республикаси Олий аттестация комиссиясининг докторлик диссертациялари асосий илмий натижаларини чоп этиш тавсия этилган илмий нашрларда 13 та мақолалар, жумладан 9 та республика ва 4 та чет эл илмий журналларда нашр этилган, шунингдек ихтиро учун 1 та патент олинган.

Диссертациянинг ҳажми ва тузилиши. Диссертация таркиби кириш, тўртта боб, хулоса, фойдаланилган адабиётлар рўйхати ва иловалардан иборат. Диссертациянинг ҳажми 88 бетни ташкил этади.

ДИССЕРТАЦИЯНИНГ АСОСИЙ МАЗМУНИ

Кириш қисмида диссертация тадқиқотининг долзарблиги ва зарурати асосланган, тадқиқотнинг мақсад ва вазифалари, объекти ва предмети тавсифланган, Ўзбекистон Республикасида фан ва технологияларнинг тараққиётини устувор йўналишларига мослиги, тадқиқотнинг илмий янгилиги ва амалий натижалари баён қилинган, шунингдек, олинган натижаларнинг илмий ва амалий аҳамияти очиб берилган, тадқиқот натижалари амалиётга жорий қилинган, чоп этилган илмий ишлар ва диссертациянинг тузилиши бўйича маълумотлар келтирилган.

Диссертациянинг «**Реактив қувват компенсацияси ва электр моторларни ишга тушириш учун контактсиз қурилмалар бўйича илмий адабиётлар ва интернет материалларини кўриб чиқиш**» деб номланган биринчи бобида энерготизим ишлаб чиқариш бўлимларида реактив қувватни компенсациялаш қурилмалари бўйича адабиётлар кўриб чиқилган. Охирги йилларда бундай зарурият тармоқ кучланиши қийматини керакли даражада ушлаб туриш ва ўрта кучланишли тақсимлаш тармоқларида исрофни камайтириш учун юзага келди.

Конденсатор батареяси қувватини ростловчи автоматик қурилмани ишлаш принципи ва конструкцияси ҳамда электр моторлар коммутацияси учун контактсиз ишга туширувчиларни таҳлили, бундай қурилмаларни бошқариш тизимини соддалаштириш билан такомиллаштириш зарурлигини кўрсатди, чунки мавжуд қурилмалар жуда кўп ҳар хил элементларни ишлатилгани туфайли мураккаб схемага эга, бу эса схеманинг қимматлашишига олиб келади.

“Конденсатор батареяси қувватини автоматик ростлаш ва электр моторларни ишга тушириш учун схемалар ишлаб чиқиш” деб номланган иккинчи бобида қуйидаги принциплар бўйича ишловчи конденсатор батареялари қувват регуляторлари кўриб чиқилди:

1. Юклама токи ва тармоқ кучланиши орасидаги бурчак ўзгариши (φ бурчагининг фарқи бўйича ростлаш);

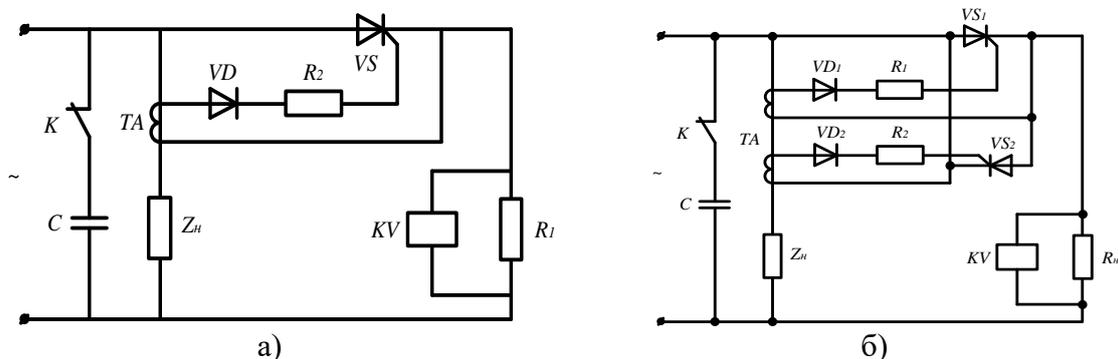
2. Юкламадаги кучланишнинг ўзгариши (юкламадаги кучланишни қиймати бўйича ростлаш);

3. Бир вақтнинг ўзида юклама кучланишининг ўзгариши ва юклама токи ва тармоқ кучланиши орасидаги фаза бурчагининг силжиши.

Фаза силжиш бурчаги φ бўйича ишлайдиган регуляторлар учун юклама токини нолдан ўтишини қайд қилиш қурилмаси асосий элемент ҳисобланади. 1-а,б расмларда келтирилган бир тиристорли ва икки тиристорли реактив қувват регуляторларида тиристорни бошқариш импульсини шакллантириш учун фаза бурчаги φ ни ҳар бир ўзгариш ҳолатига мослаштирилмаган сигнални ишлаб чиқарадиган импульсли ток трансформатори ишлатилади.

1.а-расмда актив-индуктив юкламани ошишида тиристорни фаза очилиш бурчаги катталашади, бу эса резистор R_1 да кучланишни пасайишига олиб келади ва тегишли равишда KV релеси ўзини нормал ёпиқ контакти билан конденсатор батареясини улашга сигнал беради.

Юклама камайганда тиристорни очииш бурчаги φ кичраеди ва R_1 да кучланиш катталашади. Бу эса KV да ўрнатилган кучланишни ошишини юзага келтиради ва KV релесини ишлашига ва конденсатор батареясини тармоқдан узишга сигнал беришга олиб келади.



1-расм. а) бир тиристорли; б) икки тиристорли силжиш бурчаги φ бўйича конденсатор батареяси қувватини автоматик ростлаш схемаси

Тармоқнинг синусоида кучланиши $u = U_m \sin \omega t$ да активиндуктив юкламада ток қуйидаги қонун асосида ўзгаради:

$$i = I_m \sin(\omega t + \varphi),$$

бу ерда, φ бурчакнинг қиймати юкламани актив R_n ва индуктив X_n қаршиликлари нисбатига боғлиқ ҳолда ўзгаради,

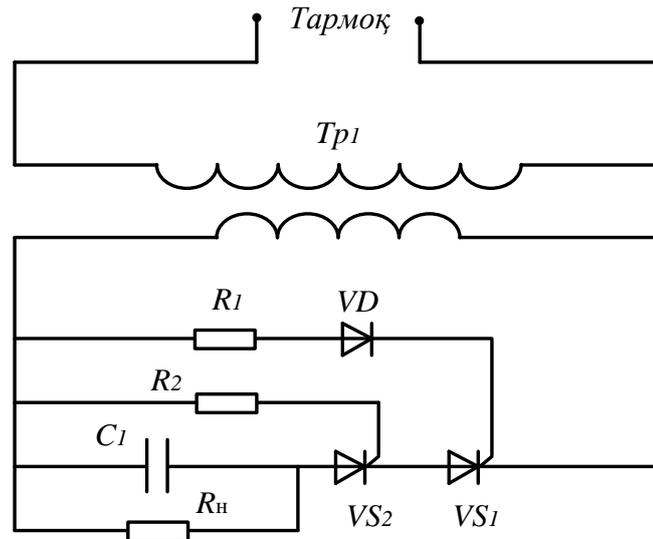
$$\varphi = \arctg \frac{X_n}{R_n}$$

Ушбу регулятор Навоий шаҳри Пахта тозалаш заводларида синовдан ўтказилган. Унинг ишлашдаги самарадорлиги трансформаторнинг юқори 10 кВ кучланиш томонида регулятор уланмасдан олдин ва ундан кейин ҳисоблагичнинг кўрсаткичларини таққослаш орқали баҳоланади. Бунинг учун ҳисоблагич кўрсаткичлари бўйича қувват учбурчаги тузилди, сўнгра регулятор уланишдан олдин ва кейинги силжиш бурчагини фарқи аниқланди.

Асбоблар кўрсаткичлари ва ҳисобий маълумотлар асосида ток ва кучланишни силжиш бурчаги регулятор бўлмаганида $\varphi = 60^\circ$ ни ташкил этди. Регулятор уланганидан сўнг, ҳисобий маълумот кўрсаткичлари бўйича тузилган қувват учбурчагидан кўринадикки, линияли ток ва кучланиш орасидаги фаза силжиши 50° гача камаяди.

Юқорида кўрсатилган иккинчи принципга асосан конденсатор батареяларини автоматик ростлайдиган бир фазали РМ қурилмаси (2-расм) ишлаб чиқилди. Ушбу қурилмага ихтиро учун Ўзбекистон Республикасининг IAP 04003 патенти олинди.

Ушбу схема кучланиш релеси режимида ишлайди. $U_c < U_{tr}$ қийматларида бошқариш кучланиши VS_2 га, сўнгра секинлик билан очилиш вақти ўзгармайдиган стабилитрон VS_1 га берилади. Бу бир вақтнинг ўзида тиристорлар VS_1 ва VS_2 очилишига олиб келади. Шундай қилиб, вақт релесини даврий қайта уланиши R_1 ни қийматига боғлиқ бўлган (стабилитронни ишга тушиш кучланиши) уланиш вақти билан аниқланади.



2-расм. Кучланиш релесининг принципиал схемаси

Ишлаб чиқилган кучланиш релесини қўллаб, уч фазали занжирларда конденсатор батареясини улаш ва узиш учун тиристорли қурилма схемаси яратилди ва синовдан ўтказилди (3-расм). Ушбу схемада уч фазали конденсатор батареясини кучланиш функциясида коммутацияси ишга тушириши ҳар хил кучланишга созланган шундай икки реле ёрдамида амалга оширилади.

Учинчи принципга асосан яратилган реактив қувват регуляторлари бир вақтнинг ўзида силжиш бурчаги ϕ нинг қиймати ва юкламадаги кучланиш бўйича ишлайди. Улардан фойдаланиш тизим ишончлилигини оширади, электр аппаратларнинг ишлаш сифати яхшиланади ва вазн-ўлчам кўрсаткичлари камаяди.

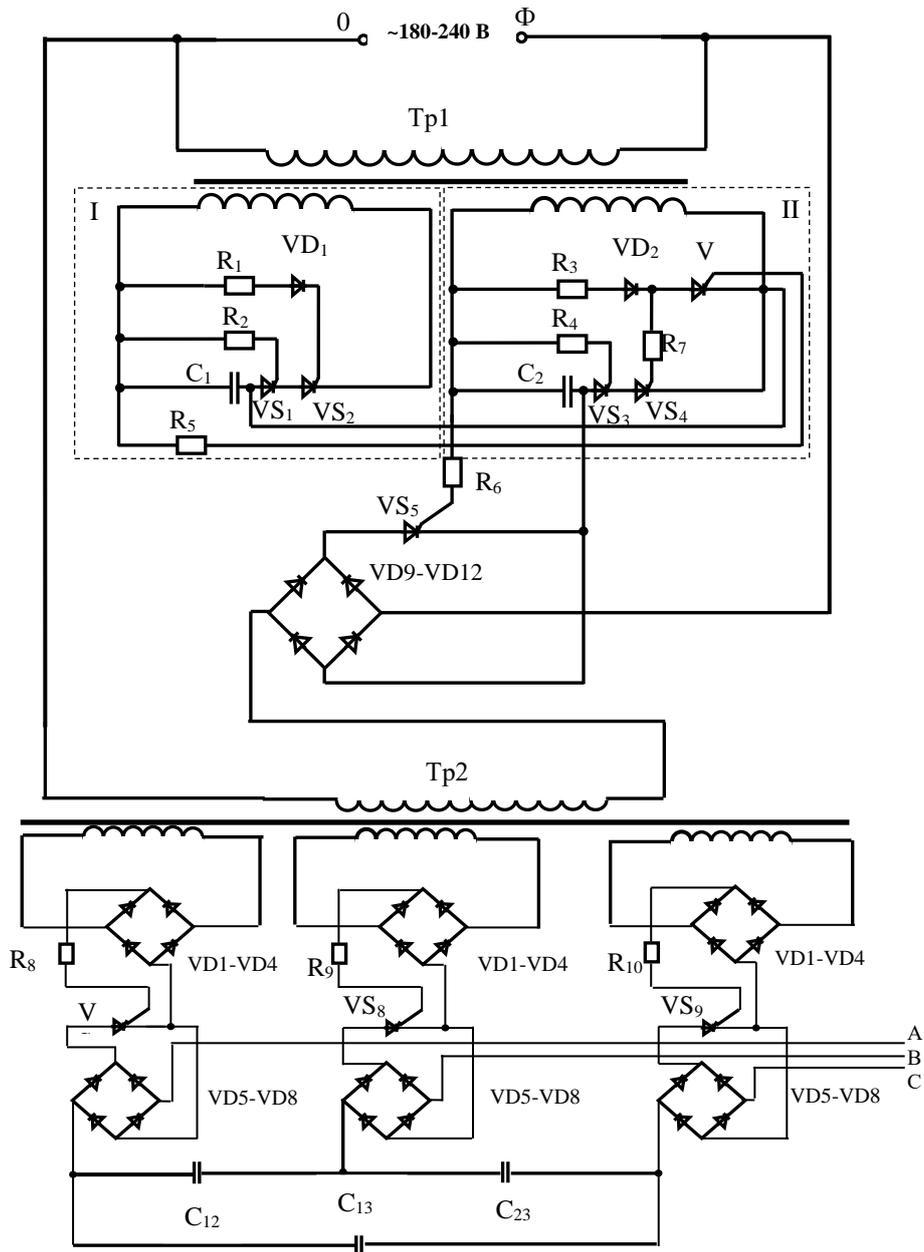
Ушбу афзалликларни ҳисобга олиб қўрилаётган ишда комбинациялашган имкониятли қурилманинг схемаси ишлаб чиқилди ва таҳлил қилинди.

Қўрилаётган қурилманинг тажриба нусхаси ТошДТУ “Электр таъминоти” кафедраси лабораториясида ва саноат шароитида синовдан ўтказилди. Қурилманинг тажриба нусхаси учун схеманинг қуйидаги ҳисобий параметрлари аниқланди:

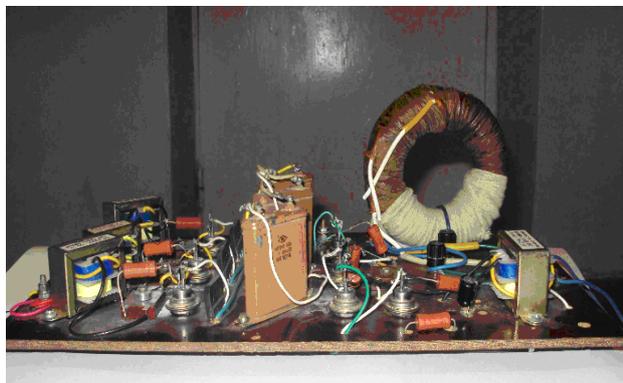
$R_1=3,9$ Ом, $R_2=2$ кОм, $R_3=560$ Ом, $R_4=470$ Ом, $R_{\text{юк}}=1000$ Ом,
 $R_7=R_8=R_9=330$ Ом, типи МЛТ-2; VS_6, VS_7, VS_8 – типи *KY202H*;
 Конденсатор $U=50$ В сифими $C_1=220$ мкФ;
 Конденсаторлар $C_{12}=C_{23}=C_{31}=1$ мкФ, 400 В;
 $VS_1, VS_2, VS_3, VS_4, VS_5$ - *KY202H*; VD_1 – *Д226Б*,

Индуктив юклама – салт юриш режимида трансформатор.
 $S_{\text{н}}=160$ ВА, $U_{\text{н}}=220$ В. Актив юклама реостат $R=1000$ Ом, $I_{\text{н}}=1,4$ А.

Силжиш бурчаги ва кучланиш бўйича конденсатор батареяси қуввати-ни автоматик ростлаш қурилмасининг умумий кўриниши 4-расмда келтирилган.



3-расм. Куч конденсаторларини кучланиш бўйича уч фазали занжирга улашнинг принципиал схемаси



а)

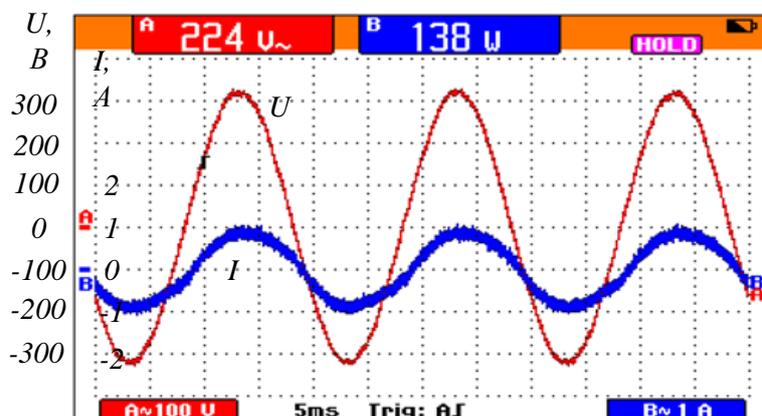


б)

4-расм. Силжиш бурчаги ва кучланиш бўйича конденсатор батареялари кувватини автоматик ростлаш қурилмасининг умумий кўриниши:

а) қурилманинг ёндан кўриниши; б) қурилманинг тепадан кўриниши

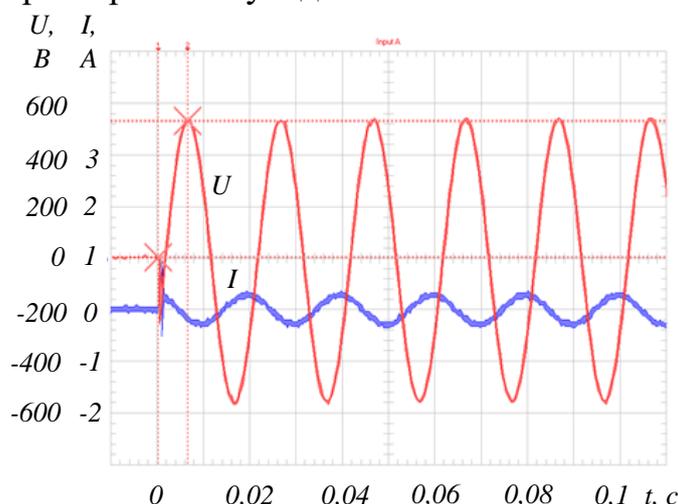
Ушбу қурилманинг тажриба маълумотларини қайд қилиш ва қайта ишлаш учун дастурли бошқариладиган “Fluke” асбоби ишлатилган. Схеманинг $U=224$ В кучланишда актив қувват устунлигида ишлаши 5-расмда келтирилган. Истеъмол қилинаётган актив ва реактив қувватлар қийматлари мос равишда 138 Вт ва 28 ВАр, тўлиқ қувват эса 141 ВА. Ушбу режимда ишлаганда тиристорнинг очилиш бурчаги 13° га тенг ва қувват коэффицентининг қиймати 0.98 ни ташкил этади.



5-расм. Актив характерли юкламада ток ва кучланишни эгри чизиқларини ўзгариши

Сўнгра ушбу қурилманинг ҳар бир фазасидаги КБ ни уланишига боғлиқ ўткинчи жараёнлар вақтида ток ва кучланиш эгри чизиқларини ўзгариши тадқиқ қилинди.

6-расмда конденсатор батареясини А-фазага улаганда ток ва кучланиш эгри чизиқларининг ўзгариши кўрсатилган, бошқа фазалар (В,С)да эгри чизиқлар ўхшаш характерга эга бўлади.



6-расм. Конденсатор батареяси уланганида А-фазадаги ток ва кучланиш эгри чизиқларини ўзгариши

Учинчи бобда тиристорларни очиш учун импульс кучланишни ҳисоблаш, шунингдек қувват регулятори схемаси ва элементларини ҳисоблашнинг математик асоси келтирилган. Жумладан ишлаб чиқилган кучланиш релесининг ҳисоби амалга оширилган, импульсли ток трансформаторини

математик модели ва электр ҳисоби келтирилган, яратилган қувват регулятори бошқариш занжири тиристорлари учун трансформаторни ҳисоблаш амалга оширилган.

Тадқиқ қилинган бир тиристорли ва икки тиристорли реактив қувват регулятори тиристорни бошқариш занжирида ишлатиладиган тўйинувчи импульс трансформаторини иккиламчи чулғами кучланиш эгри чизиқларини куриш учун тармоққа синусоидал кучланиш $u = U_m \sin \omega t$ берилади. Ток трансформаторининг киришида мос равишда шундай кучланиш u_1 бўлади. Бунда юклама токи қуйидагига тенг бўлади:

$$i = I_m \sin(\omega t + \varphi) \quad (3.1)$$

Ўзакни магнитлаш эгри чизиғи аппроксимацияси сифатида тўққизинчи даражали функция қабул қилинди:

$$i_1 w_1 = k \Phi^9 \quad (3.2)$$

бу ерда: i_1 – ток трансформаторининг бирламчи чулғам токи;

w_1 – бирламчи чулғамнинг ўрамлар сони;

k - аппроксимация коэффициенти;

Φ – ферромагнит ўзакнинг магнит оқими.

Магнит оқими учун қуйидаги ифодага эга бўламиз:

$$\Phi = \sqrt[9]{\frac{w_1}{k} \cdot I_m \cdot \sin(\omega t + \varphi)} \quad (3.3)$$

Агар иккиламчи чулғам кучланиши қуйидагича ифода қилинса:

$$u_1 = \frac{d\Phi}{d\tau} \quad (3.4)$$

бу ерда, $\tau = \omega t$.

Ушбу ифодани Эйлер формуласи ёрдамида алгебраизатциясини амалга ошириш орқали қуйидагига эга бўламиз:

$$\phi'(\tau_{n+1}) = \frac{\phi(\tau_{n+1}) - \phi(\tau_n)}{\tau_{n+1} - \tau_n} = \frac{1}{h} [\phi(\tau_{n+1}) - \phi(\tau_n)] \quad (3.5)$$

бу ерда, $h = \tau_{n+1} - \tau_n$ - $\Phi(\tau)$ функцияни чизиқли шаклда кўрсатилган оралиқ.

Ушбу формулани ишлатиб, h нинг ҳар қандай қийматларига $\Phi'(\tau)$ ни аниқлаш мумкин, аммо $n=1, 2, 3, \dots$ да $\Phi^n(\tau)$ гача ҳисоблаш зарурлиги юзага келади. Шунинг учун амалий ҳисобларда кўпроқ паст даражали ҳосила билан чекланиш етарли. Мисол учун, агар учинчи даражали ҳосила билан чекланганда, унда Эйлер формуласи ($\phi(\tau_0)=0$) нол бошланғич шарт билан қуйидаги кўринишда бўлади.

$$\phi(\tau) = \frac{\phi'(\tau_1)}{h} + \frac{\phi''(\tau_2)}{2h} + \frac{\phi'''(\tau_3)}{3h} = \frac{1}{h} [\phi'(\tau_1) + \phi''(\tau_2) + \phi'''(\tau_3)] \quad (3.6)$$

Ушбу ифодада (3.5) га тегишли ҳолда:

$$\phi'(\tau_1) = \frac{\phi(\tau_1) - \phi(\tau_0)}{h} \quad (3.7)$$

$$\phi''(\tau_2) = \frac{\phi(\tau_2) - \phi(\tau_1)}{2h} \quad (3.8)$$

$$\phi'''(\tau_3) = \frac{\phi(\tau_3) - \phi''(\tau_2)}{3h} \quad (3.9)$$

3.7-3.9 формулаларда оқим қийматлари ўлчамли бирликларда кўрсатилган. Ҳисобларни нисбий бирликда тасарруф қилиш учун базис қийматлар кучланиш u , тоқлар i ва оқимлар Φ ни киритамиз, сўнгра унинг қийматларини ўлчамсиз кўринишда оламиз.

$$u = \bar{U}_m \sin \tau; \quad i = \bar{I}_m \sin(\tau + \varphi); \quad \bar{\Phi} = \sqrt[3]{I_{1m} \sin(\tau + \varphi)} \quad (3.10)$$

бунда, $u = \frac{U_m}{u_\delta}; \quad i = \frac{I_m}{i_\delta}; \quad \Phi = \sqrt[3]{\frac{W_1 i_\delta}{k}}; \quad U_\delta = ab\Phi_\delta; \quad \tau = \omega t.$

бу ерда: u_δ – базис кучланиши; i_δ – базис тоқи; Φ_δ – базис оқими.

$W_1 = W_2$ ва $I_\delta = I_m$ қийматларида, (3.10) оламиз:

$$\bar{i} = \sin(\tau + \varphi); \quad \bar{\Phi} = \sqrt[3]{\sin(\tau + \varphi)} \quad (3.11)$$

Сўнгра u_2 нинг қийматини аниқлаш учун оқим $\Phi(\tau)$ бўйича (3.11) ни ҳисобга олиб, дифференциаллаймиз (3.6) формулага асосан амалга оширилади.

Манбаларда муаллиф иштирокида Эйлер бўйича (3.6) дифференциалланган шакл қуйидаги кўринишда бўлади:

$$u_2 = \frac{d\Phi}{d\tau} = \frac{1}{h} \left(\Delta Y_0 + \frac{\Delta^2 Y_1}{2} + \frac{\Delta^3 Y_2}{3} \right) \quad (3.12)$$

бу ерда, $\Delta Y_0 = \phi(\tau_1) - \phi(\tau_0); \quad \Delta^2 Y_1 = \phi(\tau_2) - \phi'(\tau_1); \quad \Delta^3 Y_2 = \phi(\tau_3) - \phi''(\tau_2).$

Кўрилаётган трансформатор учун олинган математик моделни ҳисобга олиб, u_2 ни ҳисоби кейинчалик (3.6) ва (3.12) формулаларга мувофиқ амалга оширилади. 2π интервал учун Паскаль тилида бажарилган ҳисобларни алгоритми ва натижалари диссертациянинг иловасида келтирилган.

Икки нуқта учун $\tau=0^0$ (0,0000 рад) ва $\tau=6^0$ (0,10472 рад) (3.12) формулага асосан $\varphi=0^0$ да $h=0,0349$, $\frac{1}{h} = \frac{1}{0,0349} = 28,65$ ҳисоблаш натижалари 1-жадвалда келтирилган.

1-жадвал

Нуқта	τ	Φ	ΔY_0	$\Delta^2 Y_0$	$\Delta^3 Y_0$
$0(0)$	0,0000	0,000	0,689	-0,639	0,628
	0,0349	0,689	0,050	-0,011	
	0,0980	0,739	0,039		
	0,1047	0,778			
Нуқта	τ	Φ	ΔY_0	$\Delta^2 Y_0$	$\Delta^3 Y_0$
1	0,0349	0,689	0,050	-0,011	-0,03
	0,0980	0,739	0,039	-0,014	
	0,1047	0,778	0,025		
	0,1396	0,803			

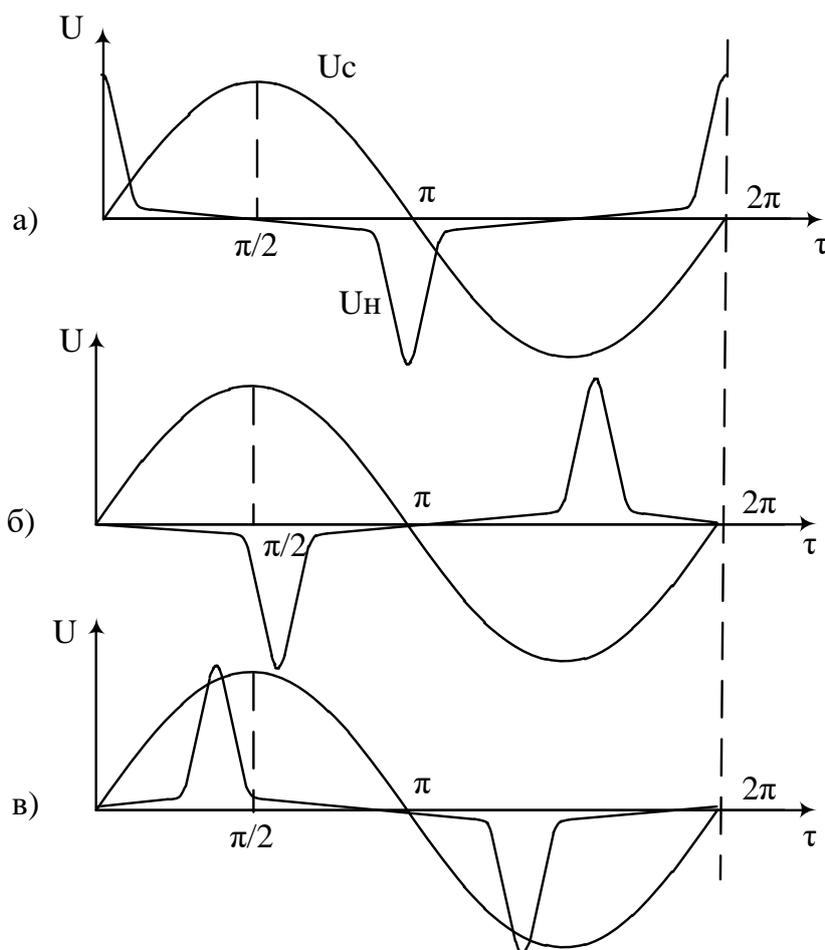
$\tau=0^0$ (0,000 рад) учун:

$$\frac{d\Phi}{d\tau} = \frac{1}{h} \left(\Delta Y_0 - \frac{\Delta^2 Y_0}{2} + \frac{\Delta^3 Y_0}{3} \right) = 28,65 \cdot (0,689 + 0,3190 + 0,21) = 34,9.$$

$\tau=2^0$ (0,0349 рад) учун:

$$\frac{d\Phi}{d\tau} = \frac{1}{h} \left(\Delta Y_0 + \frac{\Delta^2 Y_0}{2} + \frac{\Delta^3 Y_0}{3} \right) = 28,65 \cdot (0,05 + 0,0055 - 0,001) = 1,56$$

Олинган маълумотлар асосида тузилган графиклар 7-расмда кўрсатилган.



7-расм. Тўйинувчи трансформатор иккиламчи чулғамининг кучланиш эгри чизиклари

а) $\varphi=0^0$ бўлганда $U_2 = f(\tau)$ ва $U_c = f(\tau)$ характеристикалари;

б) $\varphi=+70^0$ бўлганда $U_2 = f(\tau)$ ва $U_c = f(\tau)$ характеристикалари;

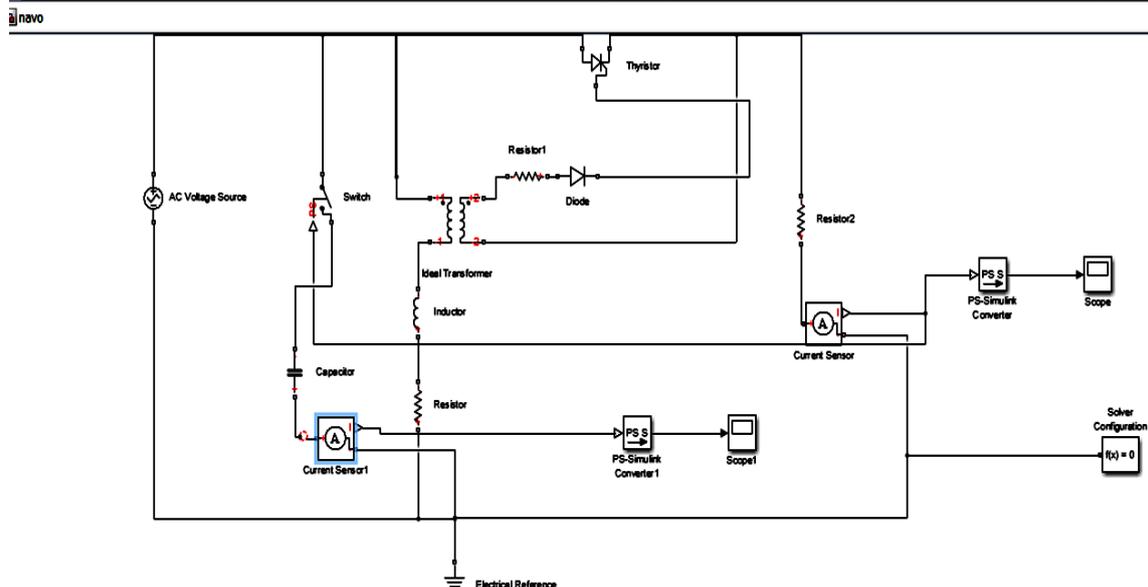
в) $\varphi=-70^0$ бўлганда $U_2 = f(\tau)$ ва $U_c = f(\tau)$ характеристикалари.

Графиклардан кўринадикки, юклама характерига боғлиқ ҳолда тармоқ кучланиши эгри чизиғи шаклига нисбатан чўққи кўринишли импульснинг силжишида ўзгаришлар кузатилади.

Тўртинчи бобда асинхрон моторларни контактсиз ишга тушириш ва конденсатор батареясини φ бурчак ва кучланиш бўйича ростлашнинг тажриба тадқиқоти натижалари келтирилган. Конденсатор батареяси қув-ватини φ бурчаги бўйича ростлаш билан боғланган қисмини тадқиқоти MATLAB дастурининг Simulink пакетини қўллаган ҳолда, ишлатиб, бошқа қисми –

тайёрланган физик моделни характеристикалари ва параметрларни олиш учун «Fluke» бошқариш дастурини ишлатиб, амалга оширилди.

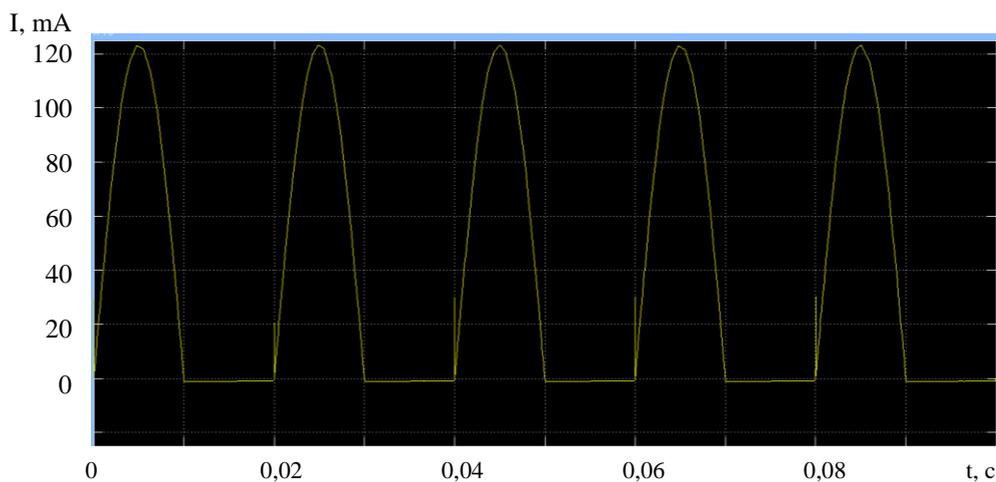
Тадқиқ қилинаётган бир тиристорли регуляторни компьютернинг йиғиш майдонидаги Simulink пакети базасига мувофиқ модели 8-расмда келтирилган.



8-расм. Реактив қувватни компенсациялашнинг бир тиристорли моделлаш схемаси

Ток трансформаторининг параметрлари шундай танланганки, номинал режимда унинг иккиламчи чулғамида тиристорни очиш учун ток мавжуд бўлади. Очiq тиристорда вақт релеси чулғамидан ток оқиб, реле ўзининг нормал берк контактлари орқали статик конденсаторни тармоқдан узади.

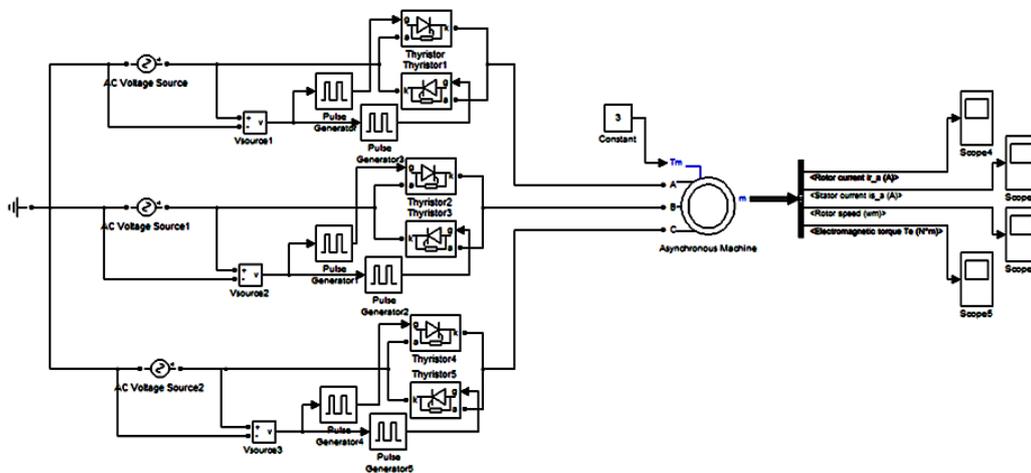
Ушбу ҳолат учун реледан ўтаётган ток осциллограммаси 9-расмда келтирилган бўлиб, тиристор занжиридаги ток R қаршиликка ишлайдиган тўғрилагични ярим даврли токи шаклига мос келади, конденсатор занжиридаги ток эса бунда ўзгармасдан қолади.



9-расм. Тиристор занжиридаги ток

Шундай қилиб, тадқиқот натижалари кўрсатдики, бир ва икки тиристорли схема моделида конденсатор батареяларини φ бурчаги ва юклама кучланиши бўйича ростлаш мумкин.

Асинхрон электр юритмаларни контактсиз ишга тушириш эксперимен-тида Simulink ва SimPowerSystems пакетларни Matlab шароитида бирлашти-риб амалга оширилди. 10-расмда келтирилган модул параметрларини ўзгартириш натижасида ишга тушириш жараёнига юкламанинг характери ва асинхрон двигател параметрларининг таъсири аниқланди.

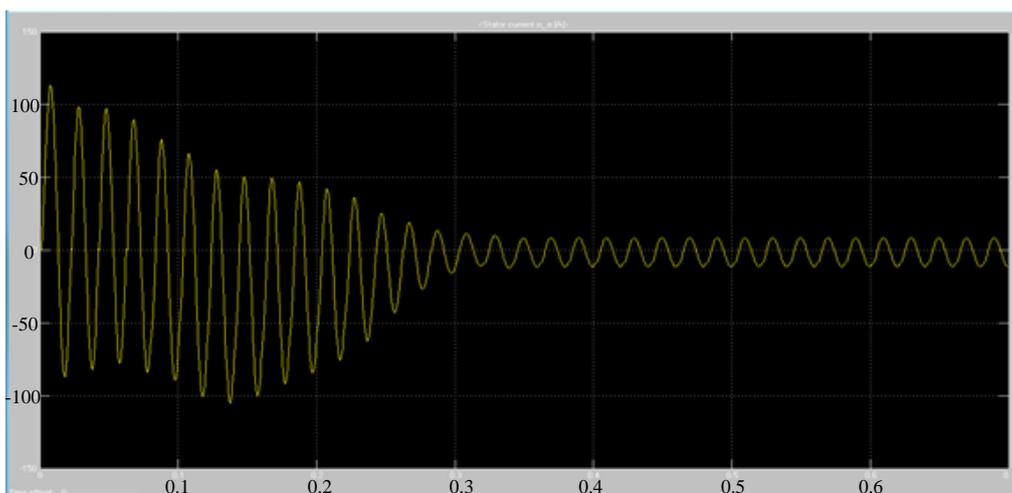


10-расм. Контактсиз ишга туширувчи асинхрон юритманинг модел схемаси

Моделлашда моторнинг қуйидаги параметрлари қабул қилинди: $P_H=2,2$ кВт; $U_{CT}=220$ В; $f=50$ Гц; $R_s=0,435$ Ом; $R_r=0,816$ Ом; $L_s=0,0022$ Гн; $L_r=0,002$ Гн; $L_0=0,069$ Гн; $J=0,089$ кГм, $2p=4$.

Кучланиш моторга ва импульсли генераторга бир вақтнинг ўзида берилади. Импульсли генератор ишга тушади ва тиристорни бошқариш электродига сигнал беради.

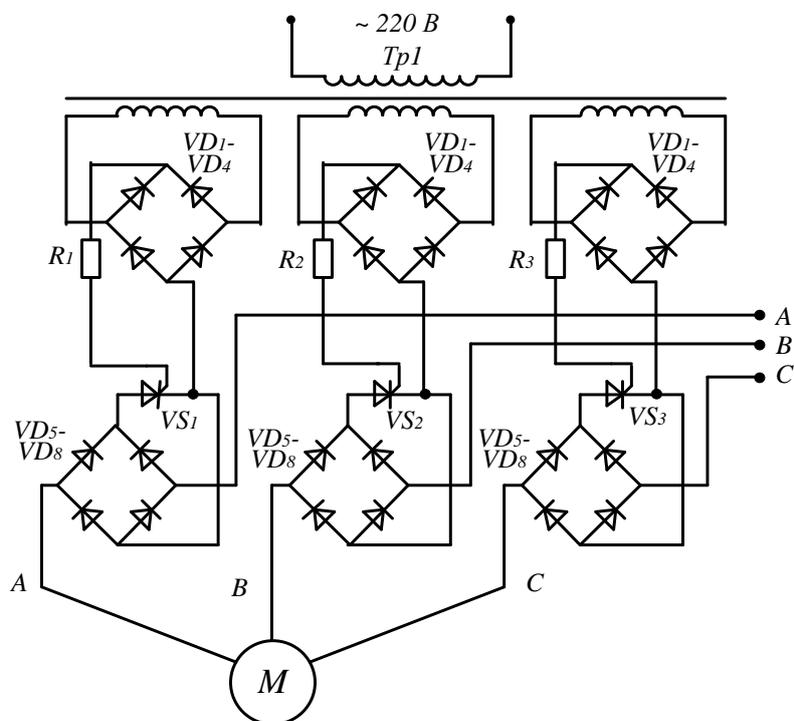
220 В кучланишли асинхрон электр мотори қисқичларига берилиши орқали ишга тушириш амалга оширилади. 11-расмда ишга тушишдаги юклама токининг А-фазада ўзгариш эгри чизиғи келтирилган.



11-расм. А фазада токни ўзгариш эгри чизиғи

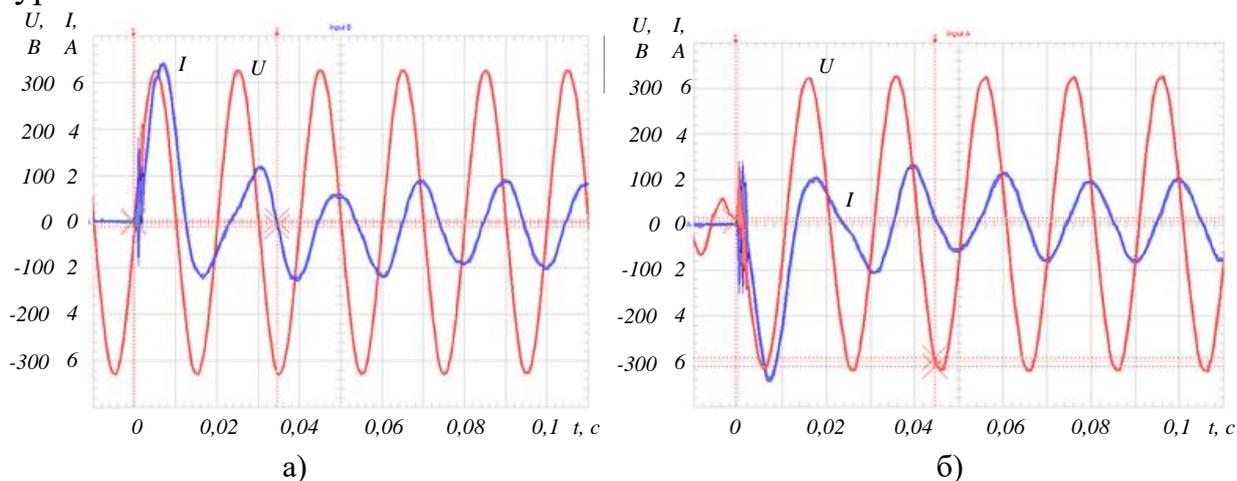
Ушбу эгри чизикдан кўринадики моторни ишга тушириш токи кичик қувватли асинхрон моторларга хос бўлган рухсат этилган ораликда 0,3 секунд ичида ўрнатилади.

Тажриба тадқиқотининг бир қисми дастурли бошқариладиган «Fluke» асбобини қўллаган ҳолда, амалга оширилди. Тажриба иши 4АМН63В4НО турли 0,12 кВт қувватли ва АИР71В2У32 турли 12 кВт қувватли асинхрон моторларни ишга тушириш вақтини аниқлашдан иборат бўлди. Ишга тушириш 12-расмда келтирилган схема бўйича тайёрланган контактсиз тиристорли макетини ишлатиш орқали амалга оширилди.



12-расм. 0,12 кВт қувватли асинхрон моторни контактсиз тиристорли ишга тушириш қурилмасининг схемаси

Моторни бевосита ишга туширишда А фазанинг кириш ва чиқишида ток ва кучланиш эгри чизикларини ўзгариш осциллограммаси 13-расмда кўрсатилган.



13-расм. 4АМН63В4НО моторини бевосита ишга туширишда А фазани кириши (а) ва чиқиши (б) да ток ва кучланиш ўзгариши эгри чизиклари

Бундан кўринадики, ишга тушириш токи поғонасимон ўзгаради ва 6 Ампердан ортиқ қийматга эришади ва 33-34 миллисекундда номинал қийматгача камаяди, яъни ўткинчи жараён тугалланади.

В ва С фазаларда кириш ва чиқишдаги ток ва кучланиш эгри чизиқларининг ўзгариши шунга ўхшаш кўринишда бўлади.

Шуни қайд қилиш керакки, тиристорга берилаётган бошқариш кучланиши қийматини ростлаш йўли билан электр моторларни текис ишга тушириш мумкин. Бу эса ишга тушириш токини чегаралашга имкон беради, шу тариқа электр моторларни ишлаш муддатини узайтириш мумкин.

ХУЛОСА

Ушбу диссертация иши доирасида илмий-тадқиқот ишлари, конденсатор батареялари қувватини автоматик ростлаш ва электр машиналарни ишга тушириш ва тармоқдан узиш учун фойдаланиш, оддий тузилишга эга ва ишончли ишлашни таъминлайдиган контактсиз қурилмаларни ишлаб чиқиш ва тадқиқ қилишга бағишланади.

Умумий натижаларни қуйидаги хулосаларда келтириш мумкин:

1. Конденсатор батареялари қувватини автоматик ростлаш ва электр моторларни коммутацияловчи мавжуд контактсиз қурилмалар тузилишини таҳлили асосида уларни такомиллаштириш зарурлиги асослаб берилди;

2. Конденсатор батареяси қувватини ростлаш учун ϕ бурчаги функциясида ишлайдиган бир тиристорли, икки тиристорли схемалар, шунингдек асинхрон моторлар занжирида конденсатор батареялари қувватини ϕ бурчаги бўйича ростлаш учун бир тиристорли қурилма ишлаб чиқилди. Ушбу схемага Ўзбекистон Республикасининг ихтирога патенти олинди;

3. Дифференциал тенгламани ечиш учун тузилган дастур асосида юклама характерига боғлиқ иккиламчи кучланишни бошқариш характеристикалари олинди. Таклиф этилган бир ва икки тиристорли қурилмалар юкламага боғлиқ ҳолда таҳлил қилинди;

4. Силжиш бурчаги ва кучланиш бўйича конденсатор батареяси қувватини ростлайдиган, комбинациялашган қурилма схемаси ишлаб чиқилди. Янги контактсиз қурилмаларни математик моделлаштириш ва экспериментал тадқиқот натижалари, назарий тадқиқот натижаларига мослигини кўрсатди;

5. Ушбу диссертация ишининг натижалари Навбахор ва Қизилтепа пахта тозалаш заводларида жорий қилиниб, йиллик иқтисодий самарадорлик 65 млн. сўмни ташкил этди.

**НАУЧНЫЙ СОВЕТ ПО ПРИСУЖДЕНИЮ УЧЕНЫХ
СТЕПЕНЕЙ DSc 27.06.2017.Т.03.03 ПРИ ТАШКЕНТСКОМ
ГОСУДАРСТВЕННОМ ТЕХНИЧЕСКОМ УНИВЕРСИТЕТЕ И
ОБЩЕСТВЕ С ОГРАНИЧЕННОЙ ОТВЕТСТВЕННОСТЬЮ
«НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ЦЕНТР»**

**ТАШКЕНТСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ**

САЪДУЛЛАЕВ МАРДУЛЛО

**БЕСКОНТАКТНЫЕ СРЕДСТВА ДЛЯ РЕГУЛИРОВАНИЯ
РЕАКТИВНОЙ МОЩНОСТИ ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКИХ
УСТАНОВОК И ПУСКА ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЕЙ**

05.05.01 – Энергетические системы и комплексы

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

Ташкент – 2019

Тема диссертации доктора философии (PhD) по техническим наукам зарегистрирована в Высшей аттестационной комиссии при Кабинете Министров Республики Узбекистан за № B2017.2.PhD/T244.

Диссертация выполнена в Ташкентском государственном техническом университете имени Ислама Каримова.

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

Научный руководитель:

Бобожанов Махсуд Каландарович
доктор технических наук, профессор

Официальные оппоненты:

Мирзабаев Акрам Махкамович
главный научный сотрудник «Институт
солнечной энергии», доктор технических наук

Холиддинов Илхомбек Хосилжонович
доктор философии по техническим наукам (PhD)

Ведущая организация:

Ташкентский институт инженеров
железнодорожного транспорта

Защита диссертации состоится «___» _____ 2019 г. в _____ часов на заседании Научного совета DSc27.06.2017.T.03.03 при Ташкентском государственном техническом университете и ООО «Научно-технический центр». (Адрес: 100095, г Ташкент, ул. Университетская, 2. Тел.: (99871) 246-46-00; факс: (99871) 227-10-32; e-mail: tstu_info@tdtu.uz).

С диссертацией можно ознакомиться в Информационно-ресурсном центре Ташкентского государственного технического университета (регистрационный номер - ____). (Адрес: 100095, Ташкент, ул. Университетская, 2. Тел.: (99871) 246-03-41.

Автореферат диссертации разослан «___» _____ 2019 года.
(протокол рассылки № «___» от «___» _____ 2019 года).

К.Р.Аллаев

Председатель научного совета
по присуждению ученой степени,
доктор технических наук, профессор, академик

Н.Б.Пирматов

Ученый секретарь научного совета
по присуждению ученой степени,
доктор технических наук, профессор.

М.И.Ибадуллаев

Председатель научного семинара при научном совете
по присуждению учёной степени,
доктор технических наук, профессор

ВВЕДЕНИЕ (аннотация диссертации доктора философии (PhD))

Актуальность и востребованность темы диссертации. В мире большое внимание уделяется развитию эффективности энергетической отрасли, при этом особое значение приобретают исследования, направленные на создание энерго- и ресурсосберегающих рабочих режимов в процессе потребления электроэнергии. В развитых странах мира, в частности, в США, Германии, Франции и Японии в различных отраслях промышленности ведущее место занимают исследования по изучению повышения эффективности производства и автоматизации технических средств, а также по внедрению новых технологий в производство¹. В этой связи обеспечение дефицита реактивной мощности в сети посредством регулирования мощности компенсирующих устройств в зависимости от величины и характера потребляемой энергии считается одной из актуальных задач в энергетике.

В мире ведутся научные исследования по разработке и усовершенствованию регуляторов реактивной мощности и улучшению эксплуатационных характеристик бесконтактных коммутирующих устройств. В этом отношении создание бесконтактных устройств для автоматического регулирования мощности конденсаторных батарей и для коммутации различных потребителей, в том числе и электродвигателей, работающих в напряженном режиме с частыми переключениями, считаются одними из важных задач. Наряду с этим для усовершенствования и исследования динамических процессов необходима разработка моделей бесконтактных устройств.

В республике осуществляются широкомасштабные мероприятия по практическому применению новых технологий по снижению потерь электроэнергии и увеличению пропускной способности сети. В стратегии действий по дальнейшему развитию Республики Узбекистан на 2017-2021 годы определены задачи: «...сокращение энергоемкости и ресурсоемкости экономики, широкое внедрение в производство энергосберегающих технологий, ...»². К важным вопросам при реализации этих задач относятся исследование, усовершенствование и разработка новых бесконтактных пускателей с упрощенной конструкцией для регулирования мощности конденсаторных батарей по углу φ и напряжению и для коммутации электродвигателей. Последние работают в напряженном режиме при тяжелых климатических условиях, служащих для улучшения работоспособности и эффективности системы электроснабжения.

Данное диссертационное исследование в определенной степени служит для решения задач, предусмотренных в Указе Президента Республики Узбекистан №УП-4947 от 7 февраля 2017 года «О Стратегии действий по дальнейшему развитию Республики Узбекистан», Постановлении Президента Республики Узбекистан №ПП-2343 от 5 мая 2015 года «О Программе мер по сокращению энергоемкости, внедрению энергосберегающих технологий в

¹ <https://www.ceer.eu/documents/104400/-/-/484ca68c-2966-2bfa-f591-0f3a1eaf1f52>

² Указ Президента Республики Узбекистан №УП-4947 от 7 февраля 2017 года «О Стратегии действий по дальнейшему развитию Республики Узбекистан»

отраслях экономики и социальной сфере на 2015-2019 годы», №ПП-2559 от 13 июля 2016 года «О мерах по дальнейшему совершенствованию научно-технической деятельности в сфере электроэнергетики» и №ПП-3012 от 26 мая 2017 года «О программе мер по дальнейшему развитию возобновляемой энергетики, повышению энергоэффективности в отраслях экономики и социальной сфере на 2017-2021 годы», в Приказе Начальника Государственной Инспекции по надзору за электроэнергией РУз № 10 от 26 июля 2018 года «О внесении изменений в положение о порядке проведения работ по компенсации реактивной мощности», а также в других нормативно-правовых документах, принятых в данной области.

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

Степень изученности проблемы. Вопросами разработки и исследования бесконтактных устройств для автоматического регулирования реактивной мощности и коммутации различного рода электрооборудования занимались зарубежные ученые Hamillton R.A., Lezan G.R., Ильяшов В.П., Рубашов Г.М., Поскробко А.А., Сосков А.Г., Туманов И.М., Вагапов Ю.Ф., а также ученые Узбекистана, в частности, научная школа профессора Кадырова Т.М. и др.

В месте с тем анализ научной литературы и материалов из Интернета свидетельствует о недостаточной изученности проблемы по автоматическому регулированию мощности компенсирующих устройств и разработке бесконтактных пускателей для электродвигателей. Кроме того, существующие устройства имеют сложную систему управления, которая создает определенные трудности при монтаже и эксплуатации.

Связь диссертационного исследования с планами научно-исследовательских работ высшего образовательного учреждения, где выполнена диссертация. Диссертационное исследование выполнено в соответствии с планами научно-исследовательских работ Ташкентского государственного технического университета имени Ислама Каримова в рамках госбюджетного прикладного проекта № ОТ-Атех-2018-357 «Повышение надежности и энергоэффективности систем электроснабжения путем применения бесконтактных устройств» (2018-2020 гг.).

Целью исследования является разработка и исследование бесконтактных устройств с упрощенной конструкцией для автоматического регулирования мощности конденсаторных батарей и пуска электродвигателей.

Задачи исследования: В соответствии с поставленной целью решаются следующие задачи:

обоснование необходимости разработки бесконтактных устройств с упрощенной конструкцией для регулирования мощности конденсаторных батарей и пуска электродвигателей;

разработка электронного реле напряжения для усовершенствования бесконтактных устройств автоматического регулирования мощности конденсаторных батарей;

разработка и исследование бесконтактных устройств, работающих в функции угла φ и по напряжению;

экспериментальные исследования новых бесконтактных устройств для регулирования мощности конденсаторных батарей и пуска электродвигателей.

Объектом исследования являются бесконтактные устройства для автоматического регулирования мощности конденсаторных батарей и коммутации электрооборудования.

Предметом исследования является одно- и двухтиристорные реле, реагирующие на изменение угла φ и электронное реле напряжения для бесконтактных устройств.

Методы исследований. В процессе исследований применены теоретические основы расчета импульса вторичного напряжения трансформаторов тока, аналитические методы расчета характеристик: метод кусочно-линейных аппроксимаций и уравнений Эйлера; экспериментальный метод исследования.

Научная новизна исследования заключается в следующем:

разработана новая схема двухтиристорного бесконтактного устройства для автоматического регулирования мощности конденсаторных батарей в функции угла φ ;

разработана новая схема электронного реле напряжения для бесконтактного устройства, используемая при автоматическом регулировании мощности конденсаторных батарей по напряжению;

разработана новая схема бесконтактного комбинированного устройства для автоматического регулирования мощности конденсаторных батарей, работающая одновременно в функции угла φ и по напряжению;

для исследования динамических характеристик с использованием программы MATLAB разработаны модели бесконтактных пускателей электродвигателя и устройства регулирования мощности конденсаторных батарей в функции угла φ ;

Практические результаты исследования заключаются в следующем:

для автоматического регулирования мощности конденсаторных батарей в функции угла φ изготовлен и испытан опытный образец двухтиристорного бесконтактного устройства;

для автоматического регулирования мощности конденсаторных батарей в функции угла φ и по напряжению изготовлен и испытан опытный образец бесконтактного комбинированного устройства.

Достоверность результатов исследования обосновывается на итогах теоретических и экспериментальных исследований, их взаимной согласованности, практикой их внедрения, а также соответствием теоретических результатов исследований экспериментальным измерениям.

Научная и практическая значимость результатов исследований:

Научная значимость результатов исследований заключается в том, что для обеспечения работы автоматического регулятора мощности конденсаторных батарей в функции угла φ методом кусочно-нелинейных уравнений Эйлера определены импульс напряжения и углы открытия тиристоров при активной, активно-индуктивной и активно-емкостной нагрузках.

Практическая значимость результатов исследований заключается в том, что применением разработанного бесконтактного комбинированного устройства для автоматического регулирования мощности конденсаторных батарей, работающего одновременно в функции угла φ и по напряжению, обеспечивается высокое значение коэффициента мощности в пределах 0,98, а также внедрением бесконтактных пускателей с упрощенной конструкцией обеспечивается надежная коммутация электродвигателей при пуске, торможении и трансфере питания.

Внедрение результатов исследования. На основе полученных научных результатов по усовершенствованию регуляторов мощности конденсаторных батарей:

для нового электронного реле напряжения получен патент на изобретение Республики Узбекистан от Агентства по интеллектуальной собственности Республики Узбекистан (№ IAP 04003, 2009). В результате применения разработанного реле для усовершенствования регулятора мощности конденсаторных батарей обеспечено высокое значение коэффициента мощности в пределах 0,98.

для регулирования потребления реактивной мощности на Навбахорском и Кизилтепинском хлопкоочистительных заводах были внедрены устройства автоматического регулирования мощности конденсаторных батарей, работающих по углу φ и по напряжению (Справка ОА “Узпахтасаноат” от 5-ноября 2019 года, 0318/7077). В результате внедрения этих устройств стало возможным достижение фактического экономического эффекта в 65 млн. сум или экономии 12% от электроэнергии, потребляемой в год.

Апробация результатов исследования. Результаты данного исследования были обсуждены на 10 международных и 10 республиканских научно-практических конференциях.

Опубликованность результатов исследования. По теме диссертации опубликовано 45 научных работ. Из них 13 научных статей, в том числе 9 статей в республиканских и 4 статьи в зарубежных журналах, рекомендованных Высшей аттестационной комиссией Республики Узбекистан для публикации основных научных результатов докторских диссертаций, а также получен 1 патент на изобретение Агентства по интеллектуальной собственности Республики Узбекистан.

Структура и объем диссертации. Диссертационная работа состоит из введения, четырёх глав, заключения, списка использованной литературы и приложений. Объем диссертации составляет 88 страниц.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении диссертации обосновываются актуальность и востребованность выполненных исследований, формулируются цели и задачи исследований, приводятся объект и предмет исследований, показано соответствие исследований приоритетным направлениям развития науки и технологий Республики Узбекистан, излагаются научная новизна исследований и научно-практическая значимость полученных результатов, внедрение результатов исследований в практику, приводятся сведения по апробации результатов исследований и опубликованных научных трудах по теме диссертационной работы, а также сведения о структуре и объеме диссертации.

В первой главе диссертации **«Обзор литературных источников и материалов из интернета по бесконтактным устройствам для компенсации реактивной мощности и пуска электродвигателей»** приведен обзор литературных источников по устройствам для компенсации реактивной мощности в энергосистемах производственных подразделений. В последнее время такая необходимость появляется для поддержания напряжения сети на приемлемом уровне и снижения потерь в распределительных сетях среднего напряжения.

Анализ конструкций и принципа работы автоматических устройств регулирования мощности КБ и бесконтактных пускателей для коммутации электродвигателей показал необходимость усовершенствования таких устройств путем упрощения системы управления, поскольку существующие устройства имеют сложную схему из-за использования множества различных элементов, что приводит к удорожанию схем.

Во второй главе диссертации **«Разработка схем бесконтактных устройств для автоматического регулирования мощности конденсаторной батареи и пуска электродвигателей»** рассмотрены вопросы разработки регуляторов мощности КБ, реализованные по принципам:

1. Изменение угла сдвига фаз между током нагрузки и напряжением сети (регулирование по углу расхождения φ);
2. Изменение напряжения на нагрузке (регулирование по величине напряжения на нагрузке);
3. Одновременное изменение напряжения на нагрузке и угла сдвига фаз φ между током нагрузки и напряжением сети.

Для регуляторов, работающих по углу сдвига фаз φ , необходимым элементом является устройство фиксации перехода тока нагрузки через ноль. Такие устройства могут быть реализованы с помощью электронных или магнитных устройств. В приведенных на рис.1,а и б схемах одно-тиристорного и двухтиристорного регуляторов реактивной мощности (PRM) для

формирования управляющих импульсов тиристора используется импульсный трансформатор тока, вырабатывающий сигнал рассогласования при каждом случае изменения угла сдвига фаз φ .

На рис.1.а при увеличении активно-индуктивной нагрузки фаза отпирания тиристора φ увеличивается, что приводит к снижению напряжения на резисторе (R_1), и соответственно, реле KV своими нормально замкнутыми контактами дает сигнал на включение КБ.

При уменьшении нагрузки фаза отпирания тиристора φ уменьшается и повышается напряжение на резисторе R_1 . Это вызывает повышение установленного напряжения KV, что приведет к срабатыванию реле KV и подаче сигнала на отключение КБ из сети.

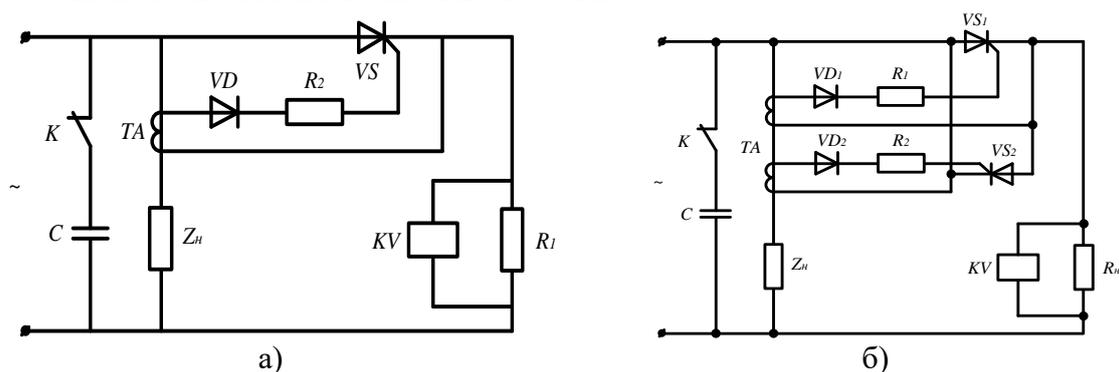


Рис.1. а) однотиристорная; б) двухтиристорная, схемы автоматического регулирования мощности КБ по углу сдвига

При синусоидальном напряжении сети $u = U_m \sin \omega t$ ток активно-индуктивной нагрузки изменяется по закону:

$$i = I_m \sin (\omega t + \varphi)$$

Здесь значение угла φ изменяется в зависимости от соотношений активного и индуктивного сопротивлений нагрузки X_H и R_H :

$$\varphi = \arctg \frac{X_H}{R_H} .$$

Испытания этого регулятора проводились в электрических сетях хлопкоочистительного завода г.Навои. Эффективность его использования оценивалась из сравнения показателей счетчиков на высокой стороне трансформатора 10 кВ до и после включения регулятора. Для этого по показаниям счетчиков строились треугольники мощностей, по которым были определены разницы углов сдвига фаз φ до и после включения регуляторов.

По полученным показаниям приборов и расчетным данным угол сдвига фаз между током и напряжением при отсутствии регуляторов составил $\varphi_1 = 60^\circ$. После включения регуляторов угол сдвига фаз между линейным током и напряжением уменьшился до 50° .

По второму указанному выше принципу (построение РРМ в функции напряжения на нагрузке) разработано устройство однофазного РРМ для автоматического регулирования мощности конденсаторных батарей (рис.2). На данное устройство получен патент РУз № IAP 04003.

Данная схема работает в режиме реле напряжения. При значениях $U_c < U_{тр}$ подается управляющее напряжение на VS_2 , а затем с задержкой на постоянное время отпирается стабилитрон VD на VS_1 . Это приводит к одновременному отпираанию тиристоров VS_2 и VS_1 . Таким образом, время периодического переключения реле времени определяется временем включения (напряжения срабатывания стабилитрона), которое зависит от величины R_1 .

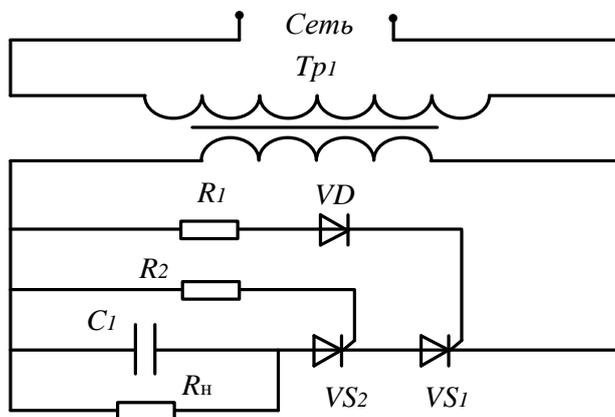


Рис.2. Принципиальная схема реле напряжения

При использовании разработанного реле напряжения испытано тиристорное устройство для включения и выключения КБ в трехфазных цепях (рис.3). В этой схеме коммутация трехфазных КБ в функции напряжения осуществляется с помощью двух таких реле, которые должны быть настроены на разные напряжения срабатывания.

Построенные по третьему принципу регуляторы реактивной мощности работают в зависимости от значения угла сдвига фаз φ и одновременно от напряжения на нагрузке. С их применением повышается надежность работы системы, улучшается качество работы электрических аппаратов и уменьшаются весогабаритные показатели.

Учитывая достоинства рассматриваемых устройств, в работе разработана и исследована схема регулятора с комбинированными возможностями.

Опытный образец рассматриваемого устройства был экспериментально испытан в лаборатории кафедры «Электроснабжение» ТашГТУ и в промышленных условиях. Для экспериментального образца устройства определены следующие расчетные параметры схемы:

$R_1=3,9$ Ом, $R_2=2$ кОм, $R_3=560$ Ом, $R_4=470$ Ом, $R_н=1000$ Ом,

$R_7=R_8=R_9=330$ Ом, тип МЛТ-2; VS_6, VS_7, VS_8 -КУ202Н;

Конденсатор $U=50$ В с ёмкостью $C_1=220$ мФ;

Конденсаторы $C_{12}=C_{23}=C_{31}=1$ мкФ на 400 В;

$VS_1, VS_2, VS_3, VS_4, VS_5$ - КУ202Н; VD_1 - Д 226Б,

Индуктивная нагрузка - трансформатор в режиме холостого хода $S_н=160$ ВА, $U_н=220$ В. Активная нагрузка реостата $R=1000$ Ом, $I_н=1,4$ А.

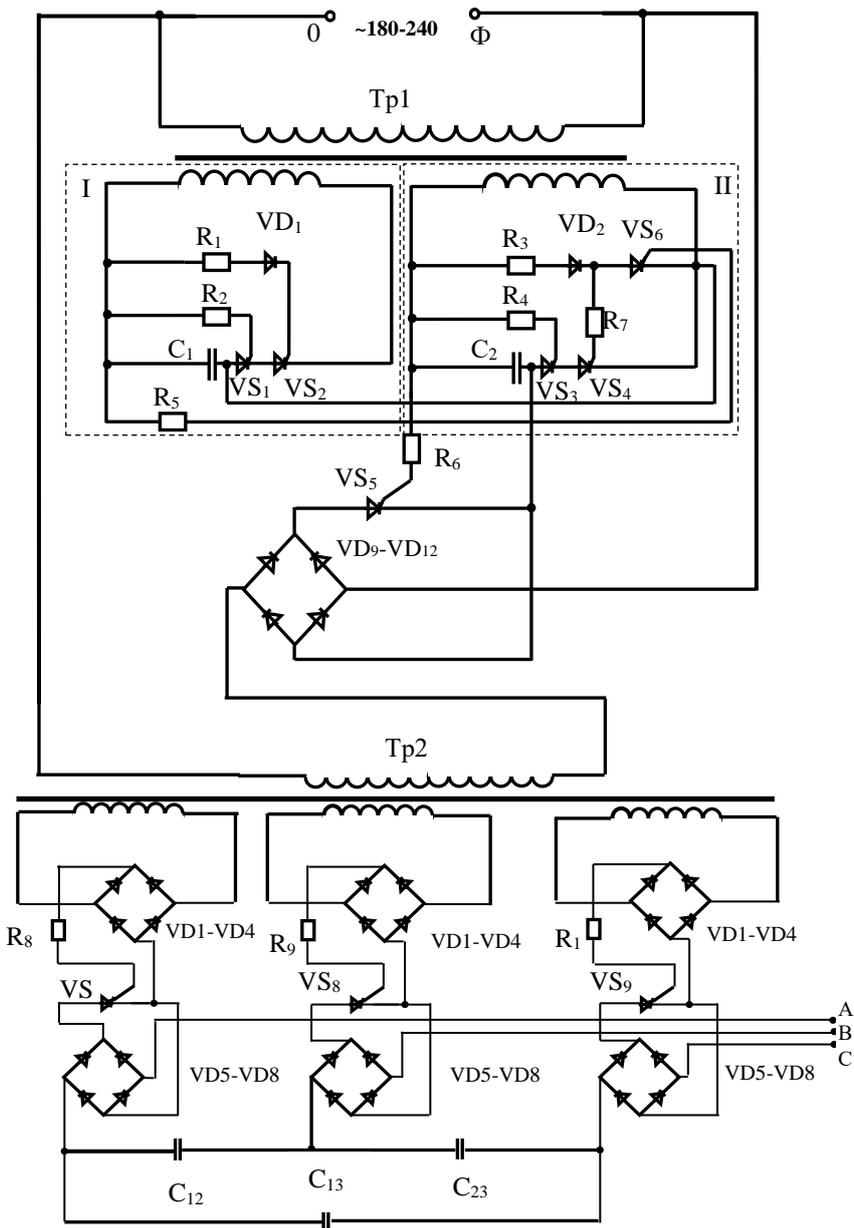


Рис.3. Принципиальная схема включения силовых конденсаторных установок в трехфазной цепи по напряжению

Общий вид устройства автоматического регулирования мощности КБ по углу сдвига ϕ и по напряжению приведен на рис.4.

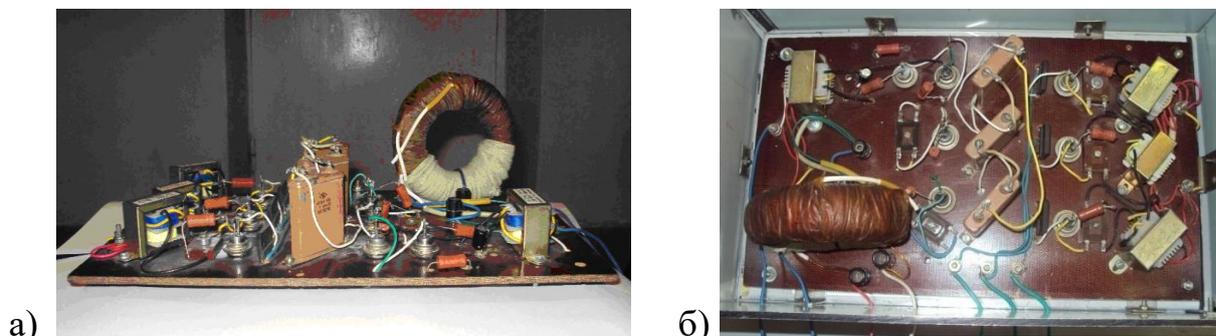


Рис.4. Общий вид устройства автоматического регулирования мощности КБ по углу сдвига ϕ и по напряжению а) вид устройства с боку; б) вид устройства сверху

Для регистрации и обработки экспериментальных данных этой установки был использован прибор с программным управлением “Fluke”. Работа схемы при $U=224$ В в преобладании активной нагрузки приведена на рис.5. Величины потребляемых активной и реактивной мощностей были соответственно равны 138 Вт и 28 Вар, а величина полной мощности составила 141 ВА. В этом режиме работы угол открывания тиристоров был равен 13° и величина коэффициента мощности составила 0,98.

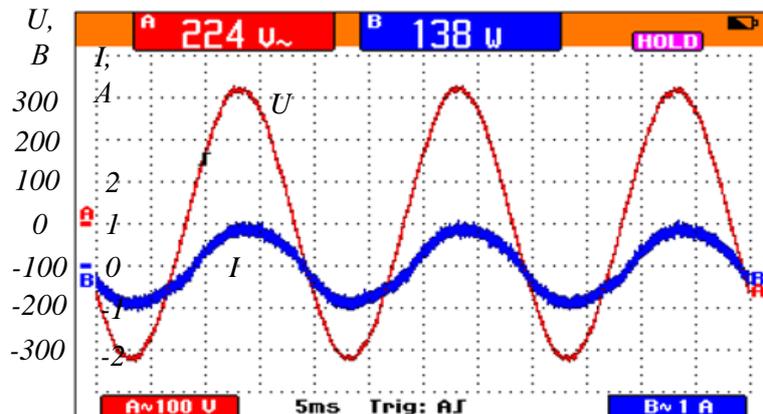


Рис.5. Кривые изменения тока и напряжения при активном характере нагрузки

Далее были исследованы кривые изменения тока и напряжения в каждой фазе данного устройства во время переходных процессов, связанных с включением КБ.

На рис.6 показаны кривые изменения тока и напряжения в фазе А при включении КБ, в других фазах (В,С) кривые имеют аналогичный характер.

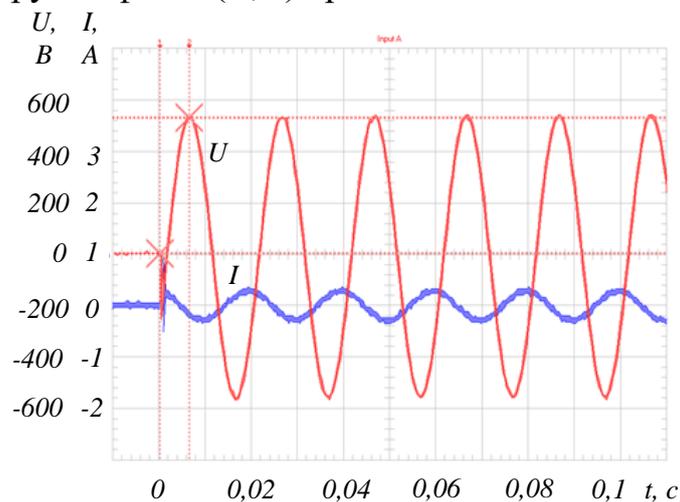


Рис.6. Кривые изменения тока и напряжения в фазе А при включении КБ

В третьей главе представлены математические основы для расчета импульсного напряжения для открывания тиристоров, а также произведены расчеты элементов схем РРМ. В частности: произведен расчет разработанного реле напряжения, приведены математические модели и электрический расчет импульсного трансформатора тока, произведен расчет трансформатора для цепей управления тиристорами рассмотренных РРМ.

Построение кривых напряжения вторичной обмотки насыщающегося импульсного трансформатора тока, используемых в цепях управления тиристоров исследованных однотиристорных и двухтиристорных РРМ, было осуществлено при подаче синусоидального напряжения $u = U_m \sin \omega \cdot t$. Соответственно, таким же будет и напряжение u_1 на входе трансформатора тока. При этом ток нагрузки равен:

$$i = I_m \cdot \sin(\omega \cdot t + \varphi) \quad (3.1)$$

Принимая в качестве аппроксимирующей кривой намагничивания сердечника степенную функцию девятого порядка

$$i_1 w_1 = \kappa \Phi^9 \quad (3.2)$$

где i_1 - ток первичной обмотки трансформатора тока;

w_1 - число витков первичной обмотки;

κ - коэффициент аппроксимации;

Φ - магнитный поток ферромагнитного сердечника,

для магнитного потока получим выражение:

$$\Phi = \sqrt[9]{\frac{w_1}{\kappa} \cdot I_m \cdot \sin(\omega t + \varphi)} \quad (3.3)$$

Если напряжение на вторичной обмотке представить как:

$$u_1 = \frac{d\Phi}{d\tau}, \quad (3.4)$$

где $\tau = \omega t$, то производя алгебраизацию этого выражения с помощью неявной формулы Эйлера, имеем:

$$\phi'(\tau_{n+1}) = \frac{\phi(\tau_{n+1}) - \phi(\tau_n)}{\tau_{n+1} - \tau_n} = \frac{1}{h} [\phi(\tau_{n+1}) - \phi(\tau_n)] \quad (3.5)$$

где $h = \tau_{n+1} - \tau_n$ - шаг, на котором функция $\Phi(\tau)$ представляется в линейной форме.

Используя эту формулу, можно будет определить $\Phi'(\tau)$ для любых значений h , однако при $n=1, 2, 3$ возникает необходимость просчитывать производные $\Phi(\tau)$ для всех значений n , т.е. до $\Phi^n(\tau)$. Поэтому в практических расчетах ограничиваются производными более низких порядков. Так, например, если ограничиться производными третьего порядка, то формула Эйлера для нулевых начальных условий ($\Phi(\tau_0)=0$) представится в виде:

$$\phi(\tau) = \frac{\phi'(\tau_1)}{h} + \frac{\phi''(\tau_2)}{2h} + \frac{\phi'''(\tau_3)}{3h} = \frac{1}{h} [\phi'(\tau_1) + \phi''(\tau_2) + \phi'''(\tau_3)] \quad (3.6)$$

В этом выражении в соответствии с (3.5) имеем:

$$\phi'(\tau_1) = \frac{\phi(\tau_1) - \phi(\tau_0)}{h} \quad (3.7)$$

$$\phi''(\tau_2) = \frac{\phi(\tau_2) - \phi(\tau_1)}{2h} \quad (3.8)$$

$$\phi'''(\tau_3) = \frac{\phi(\tau_3) - \phi(\tau_2)}{3h} \quad (3.9)$$

В формулах 3.7-3.9 значения потоков представлены размерными величинами. Для ведения расчетов в относительных единицах введены базисные величины для напряжений u , токов i и потоков Φ , после чего имеем их значения в безразмерном виде:

$$u = \bar{U}_m \sin \tau; \quad i = \bar{I}_m \sin(\tau + \varphi); \quad \bar{\Phi} = \sqrt[3]{I_{1m} \sin(\tau + \varphi)} \quad (3.10)$$

здесь $u = \frac{U_m}{u_\delta}; \quad i = \frac{I_m}{i_\delta}; \quad \bar{\Phi} = \sqrt[3]{\frac{w_1 i_\delta}{k}}; \quad U_\delta = ab\Phi_\delta; \quad \tau = \omega t.$

где u_δ - базисное напряжение, i_δ - базисный ток; Φ_δ - базисный поток.

При значениях $w_1 = w_2; I_\delta = I_m$. Тогда из (3.10) получим:

$$\bar{i} = \sin(\tau + \varphi); \quad \bar{\Phi} = \sqrt[3]{\sin(\tau + \varphi)}; \quad (3.11)$$

Далее дифференцирование по потоку $\Phi(\tau)$ в целях определения значений u_2 производится по формулам (3.6) с учетом (3.11).

В источниках дифференциальная форма по Эйлеру (3.6) представляется в виде

$$u_2 = \frac{d\Phi}{d\tau} = \frac{1}{h} \left(\Delta Y_0 + \frac{\Delta^2 Y_1}{2} + \frac{\Delta^3 Y_2}{3} \right) \quad (3.12)$$

где $\Delta Y_0 = \Phi(\tau_1) - \Phi(\tau_0)$ $\Delta^2 Y_1 = \Phi(\tau_2) - \Phi(\tau_1)$ $\Delta^3 Y_2 = \Phi(\tau_3) - \Phi(\tau_2)$

С учетом полученных математических моделей, расчет u_2 для рассматриваемого трансформатора в дальнейшем проводился в соответствии с формулами (3.6) и (3.12). Алгоритм расчета и результаты расчета для интервала 2π , выполненные по программе, составленной на языке Паскаль, приведены в диссертации и приложений к нему П.1.

Примеры вычисления для двух точек $\tau=0^0$ (0,000 рад) и $\tau=6^0$ (0,10472 рад.) по формуле (3.12) при значении $\varphi=0^0$, $h=0.0349$. $\frac{1}{h} = \frac{1}{0,049} = 28,65$

приведены в табл.1.

Таблица 1

Точки	τ	Φ	ΔY_0	$\Delta^2 Y_0$	$\Delta^3 Y_0$
$0(0)$	0	0	0.689	-0.639	0.628
	0.0349	0.689	0.05	-0.011	
	0.098	0.739	0.039		
	0.1047	0.778			
Точки	τ	Φ	ΔY_0	$\Delta^2 Y_0$	$\Delta^3 Y_0$
1	0.0349	0.689	0.050	-0.011	-0.03
	0.098	0.739	0.039	-0.014	
	0.1047	0.778	0.025		
	0.1396	0.803			

Для $\tau=0^0$ (0,000 рад):

$$\frac{d\Phi}{d\tau} = \frac{1}{h} \left(\Delta Y_0 - \frac{\Delta^2 Y_0}{2} + \frac{\Delta^3 Y_0}{3} \right) = 28,65 \cdot (0,689 + 0,3190 + 0,21) = 34,9$$

Для $\tau=2^0$ (0,0349 рад):

$$\frac{d\Phi}{d\tau} = \frac{1}{h} \left(\Delta Y_0 - \frac{\Delta^2 Y_0}{2} + \frac{\Delta^3 Y_0}{3} \right) = 28,65 \cdot (0,05 + 0,0055 - 0,001) = 1,56$$

Графики, построенные по полученным данным, приведены на рис.7.

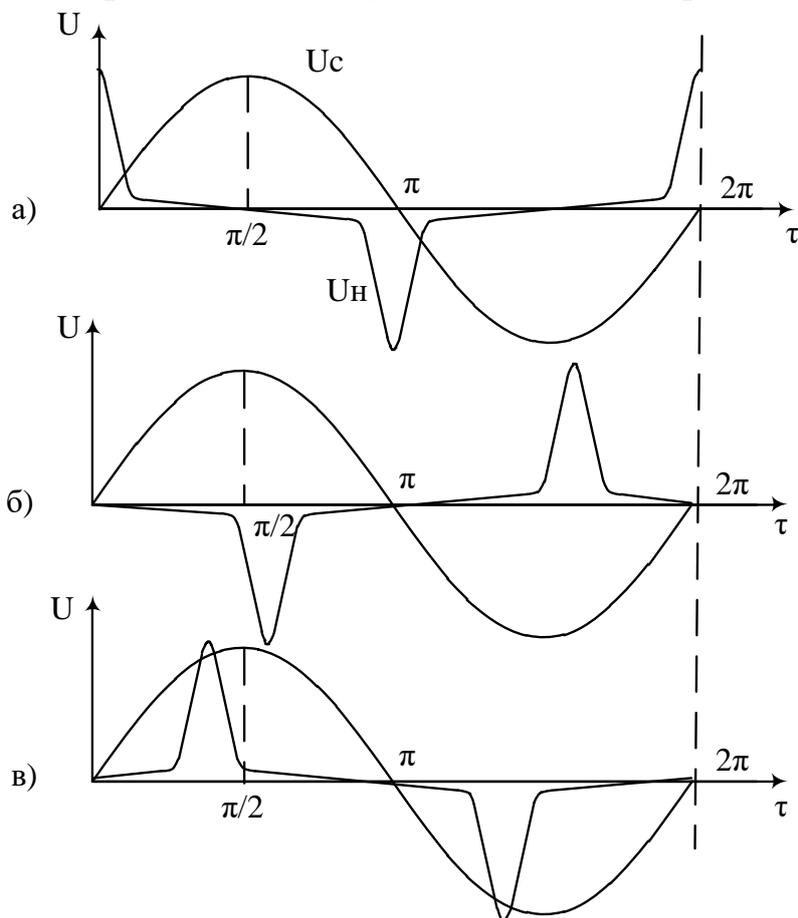


Рис.7. Кривые напряжения вторичной обмотки насыщающего трансформатора тока

а) характеристика $U_2 = f(\tau)$ $U_c = f(\tau)$ при угле $\varphi = 0^0$;

б) характеристика $U_2 = f(\tau)$ $U_c = f(\tau)$ при угле $\varphi = +70^0$;

в) характеристика $U_2 = f(\tau)$ $U_c = f(\tau)$ при угле $\varphi = -70^0$.

Как видно из графиков, в зависимости от характера нагрузки наблюдается изменение сдвига пикообразного импульса по отношению к форме кривой напряжения сети.

В четвертой главе приведены результаты экспериментальных исследований пуска асинхронных электродвигателей с помощью бесконтактных устройств. Часть исследований, связанных с регулированием мощности КБ по углу φ , проводилась с использованием пакета Simulink программы MATLAB, а другая часть – с использованием прибора с программным управлением «Fluke» для снятия характеристик и параметров изготовленных физических моделей.

Модель исследуемого однотиристорного регулятора на наборном поле компьютера в соответствии с базой пакета Simulink приведена на рис.8.

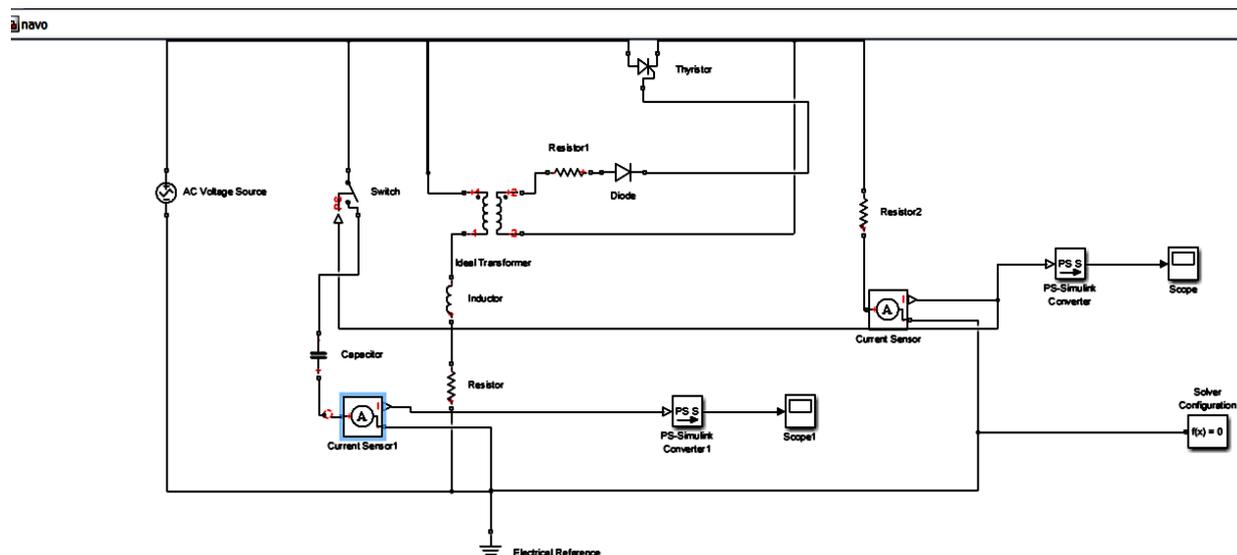


Рис.8 Модель однотиристорной схемы компенсации мощности

Параметры трансформатора тока выбраны таким образом, что при номинальном режиме нагрузки на его вторичной обмотке присутствовал ток для открывания тиристора. При открытом тиристоре по обмотке реле времени проходит ток, который своими нормально замкнутыми контактами отключает статический конденсатор мощности от сети.

Осциллограмма тока через реле для этого случая приведена на рис.9, из которого видно, что ток в цепи тиристора соответствует форме тока однополупериодного выпрямителя, работающего на R нагрузку, а ток в цепи конденсатора остается при этом неизменным.

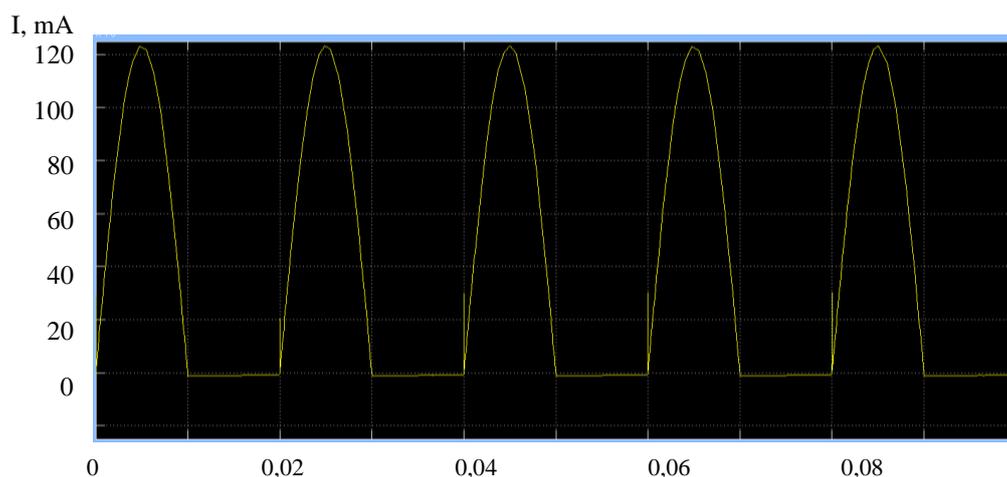


Рис.9. Токи в цепи тиристора

Таким образом, результаты исследования показывают, что при нормальном режиме работы модели одно- и двухтиристорных схем могут регулировать мощности конденсаторных батарей по углу ϕ и нагрузке.

В эксперименте пуска асинхронного электропривода с бесконтактными пускателями использованы объединенные версии пакетов Simulink и

SimPowerSystems в среде Matlab. В результате варьирования параметров модели, приведенной на рис.10, определены влияния характера нагрузки и параметров АД на процесс пуска двигателя.

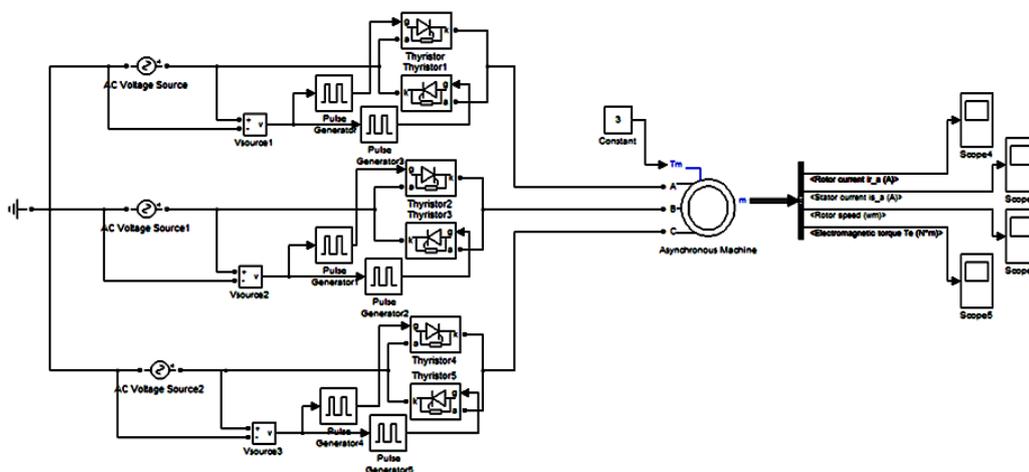


Рис.10. Схема модели асинхронного электропривода с бесконтактным пускателем

При моделировании были приняты следующие параметры двигателя: $P_n=2,2$ кВт; $U_{ст}=220$ В; $f=50$ Гц; $R_s=0,435$ Ом; $R_r=0,816$ Ом; $L_s=0,0022$ Гн; $L_r=0,002$ Гн; $L_0=0,069$ Гн; $J=0,089$ кГм, $2p=4$.

Подача питания к двигателю начинается с подачи напряжения на импульсный генератор одновременно. Импульсный генератор срабатывает и подает сигналы к управляющим электродам тиристоров.

С подачей напряжения 220 В к зажимам асинхронного электропривода происходит пуск. На рис.11. приведена кривая изменения тока нагрузки при пуске в фазе А.

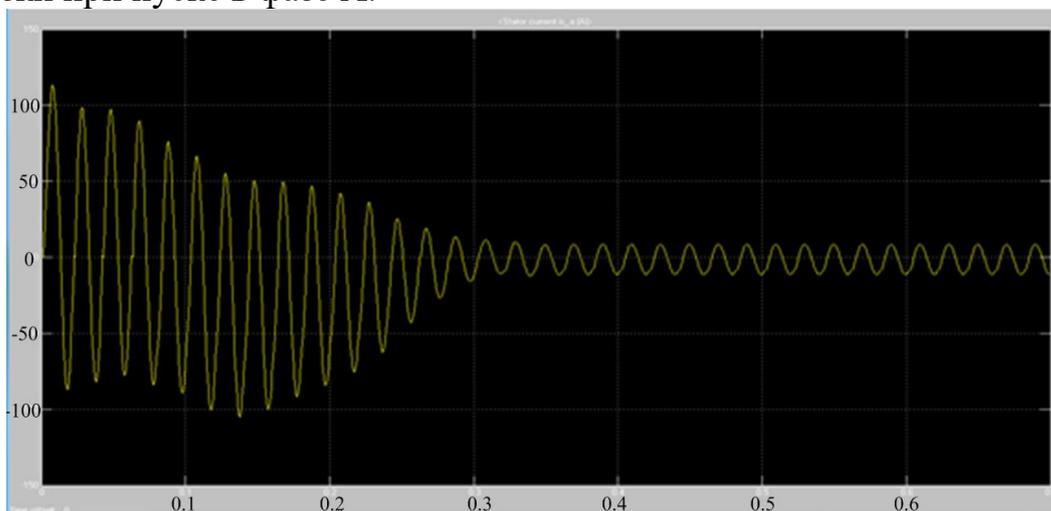


Рис 11. Кривая изменения тока в фазе А

Как видно из этой кривой, пусковой ток двигателя устанавливается на уровне допустимого промежутка 0,3 сек, что свойственно для асинхронных двигателей малой мощности.

Часть экспериментальных исследований проводилась с использованием прибора с программным управлением «Fluke». Эксперименты

заключались в определении времени пуска маломощных асинхронных двигателей - двигателя 4АМН63В4НО мощностью 0,12 кВт и двигателя АИР71В2У32 мощностью 1,2 кВт. Пуск производился с использованием макета бесконтактного тиристорного пускателя, изготовленного по схеме рис.12.

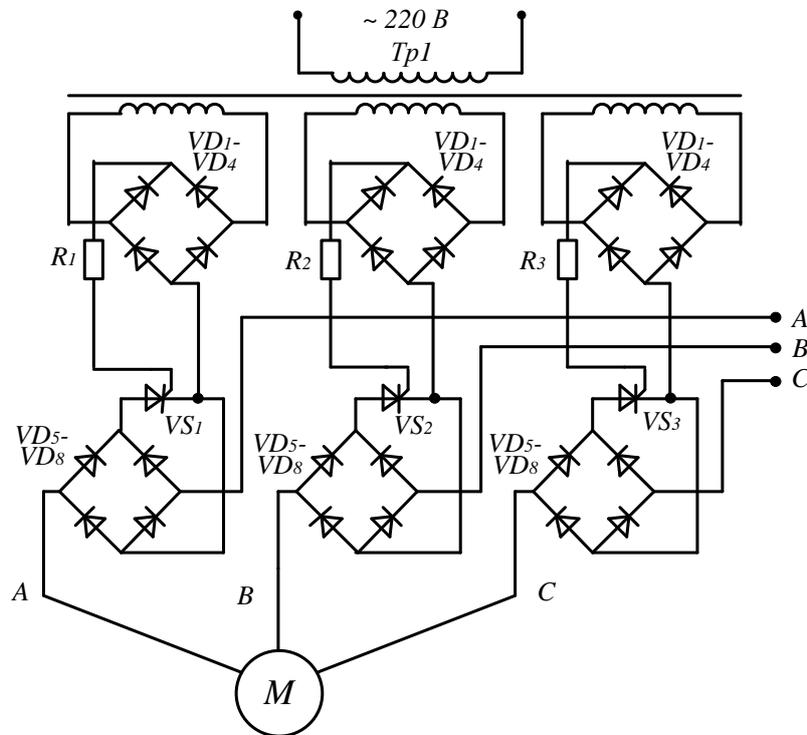


Рис.12. Схема пуска асинхронного электродвигателя мощности 0,12 кВт с бесконтактным тиристорным устройством

Осциллограммы кривых изменений тока и напряжения на входе и выходе в фазе А при прямом пуске двигателя показаны на рис.13.

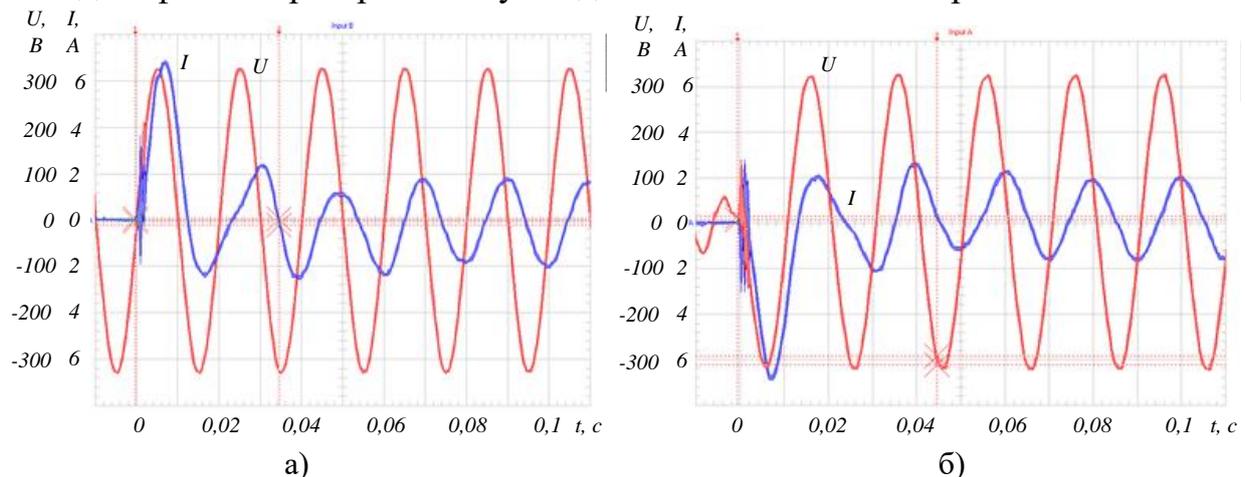


Рис.13. Кривые изменения тока и напряжения в фазе А на входе (а) и выходе (б) двигателя 4АМН 63В4НО при прямом пуске

Отсюда видно, что пусковой ток будет меняться скачкообразно и достигает значения более 6А и через 33-34 миллисекунд уменьшается до номинального значения, т.е. переходный период заканчивается.

Кривые изменения тока и напряжения на фазах В и С на входе и выходе пускателя имеют аналогичный вид.

Следует отметить, что путем регулирования значения управляющего напряжения, подаваемого тиристором, можно осуществить плавный пуск двигателя. Это дает возможность ограничить пусковые токи и тем самым можно увеличить срок службы электродвигателей.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Научные – исследования, проведенные в рамках данной диссертационной работы, посвящены разработке и исследованию бесконтактных устройств, имеющих простую конструкцию и обеспечивающих надежную работу для автоматического регулирования мощности конденсаторных батарей, а также для пуска и отключения от сети трехфазных электрических машин переменного тока.

Основные результаты работы заключаются в следующем:

1. На основе анализа конструкций существующих бесконтактных устройств для автоматического регулирования мощности конденсаторных батарей и коммутации электродвигателей обоснована необходимость их модернизации.

2. Разработаны схемы однотиристорного и двухтиристорного автоматического регулятора мощности конденсаторных батарей в функции угла φ , а также создано однотиристорное устройство для регулирования мощности конденсаторной батареи по углу φ в цепи асинхронного двигателя. На эту схему получен патент Республики Узбекистан.

3. На основе составленной программы решения дифференциального уравнения получены характеристики управления вторичного напряжения в зависимости от характера нагрузки. Теоретически и экспериментально исследованы предложенные однотиристорное и двухтиристорное устройства в зависимости от нагрузки.

4. Разработана схема комбинированного устройства регулирования мощности конденсаторных батарей по углу сдвига и по напряжению. Результаты математического моделирования и экспериментальных исследований новых бесконтактных устройств показали соответствие результатам теоретических исследований.

5. Результаты данной диссертационной работы внедрены на Навбахорском и Кизилтепинском хлопкоочистительных заводах с годовым экономическим эффектом на общую сумму 65 млн. сум.

**SCIENTIFIC COUNCIL ON AWARD SCIENTIFIC DEGREE
DSc.27.06.2017.T.03.03 AT THE TASHKENT STATE TECHNICAL
UNIVERSITY AND LIMITED LIABILITY COMPANY
“SIENTIFIC-TECHNICAL CENTRE”**

TASHKENT STATE TECHNICAL UNIVERSITY

SADULLAEV MARDULLO

**CONTACTLESS FACILITIES FOR REGULATION OF REACTIVE
POWER OF ELECTROTECHNICAL INSTALLATIONS AND
STARTING OF ELECTRIC MOTORS**

05.05.01- «Energy systems and complexes»

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

Tashkent – 2019

The theme of the dissertation of doctor of philosophy (PhD) in technical sciences was registered at the Supreme Attestation Commission under the Cabinet of Ministers of the Republic of Uzbekistan under number B2017.2.PhD/T244.

The dissertation has been done at the Tashkent State Technical University.

The abstract of the dissertation is posted in three languages (Uzbek, Russian and English (resume)) on the website www.tdtu.uz and on the website of «ZiyoNet» Information and education portal www.ziyo.net.

Scientific supervisor: **Bobojanov Makhsud Kalandarovich**
doctor of technical sciences, professor

Official opponents: **Mirzabaev Akram Makhkamovich**
Leading researcher Institute of Solar Energy,
doctor of technical sciences

Kholiddinov Ilkhombek Khosiljonovich
doctor of Philosophy in Technical Sciences (PhD)

Leading organization: **Tashkent Institute of Railway Engineers**

The defense will be take place "___" _____ 2019 at _____ at the meeting of Scientific Council at Scientific Council DSc.27.06.2017.T.03.03 Tashkent State Technical University and LLC “Scientific-Technical Centre”. (Address: 2, University str., Tashkent 100095, Uzbekistan. Phone: (99871) 246-03-41, fax: (99871) 227-10-32, e-mail: tstu_info@tdtu.uz).

The doctoral (PhD) dissertation can be reviewed at the Information-Resource Center of the Tashkent State Technical University (Registration number No___) (Address: 2, University str., Tashkent 100095, Uzbekistan. Phone: (99871) 227-10-32).

Abstract of dissertation was distributed on " _ " _____ 2019 year.

(mailig record № _____ on “ ___ ” _____ 2019 year)

K.R.Allaev

Chairman of scientific council for awarding
scientific degrees Doctor of technical
sciences, Professor, Academician

N.B.Pirmatov

Scientific secretary of scientific council
on awarding scientific degrees,
Doctor of technical sciences, Senior Scientific Researcher

I.M.Ibadullaev

Chairman of scientific seminar under scientific council
for awarding scientific degrees
Doctor of technical sciences, Professor

INTRODUCTION (abstract of thesis)

The aim of the research is the development and research of contactless devices with a simplified design for automatic control of power of capacitor banks and starting of electrical motors.

Tasks of the research:

- substantiation of the need to developing of contactless devices with a simplified design for regulating the power of capacitor banks and starting of electric motors;
- development of an electronic voltage relay to improve contactless devices for automatically controlling the power of capacitor banks;
- development and research of contactless devices operating as a function of angle φ and voltage;
- experimental research of new contactless devices for regulating the power of capacitor banks and starting of motors.

The object of research is contactless devices for automatically controlling the power of capacitor banks and switching of electrical equipment.

The scientific novelty of the research is as follows:

- a new circuit of a two - thyristor contactless device for automatically regulation the power of capacitor banks as a function of angle has been developed φ ;
- a new circuit of an electronic voltage relay for a contactless device has been developed, which is used for automatic regulation of the power of capacitor banks by voltage;
- a new circuit of a non-contact combined device for automatically controlling the power of capacitor banks has been developed, working simultaneously as a function of angle φ and voltage;
- to research of the dynamic characteristics using the MATLAB program, have been developed models of contactless electric motor starters and capacitor bank power control devices as a function of angle φ ;

The structure and outline of the research work. The thesis consists of an introduction, four chapters, a conclusion, a list of literature, and applications. The volume of the thesis is 88 pages.

CONCLUSION

Scientific and research works in the framework of this dissertation are devoted to the development and research of contactless devices that have a simple design and provide reliable operation for automatically regulation the power of capacitor banks and for switching three-phase asynchronous electric machines.

The main results of the work are as follows:

1. Based on the analysis of the design of existing contactless devices for automatic regulation the power of capacitor banks and switching of electric motors, the need for their modernization is substantiated.

2. Developed scheme of single-thyristor and two-thyristor automatic capacitor bank power controller as a function of angle φ , as well as a single thyristor device for controlling the power of a capacitor bank by angle φ in an induction motor circuit.

3. Based on the compiled differential equations solution program, secondary voltage control characteristics are obtained depending on the nature of the load. Theoretically and experimentally investigated the proposed single-thyristor and two-thyristor devices depending on the load.

4. A scheme of a combined device for regulation the power of capacitor banks depending of shear angle and voltage was developed. The results of mathematical modeling and experimental researches of new contactless devices have shown compliance with the results of theoretical studies.

5. The results of this dissertation work are implemented at Navbakhor and Kiziltepa cotton gins with an annual economic effect totaling 65 million soums.

ЭЪЛОН ҚИЛИНГАН ИШЛАР РЎЙХАТИ
СПИСОК ОПУБЛИКОВАННЫХ РАБОТ
LIST OF PUBLISHED WORKS

1. Кадыров Т.М., Усманов Э.Г., Саъдуллаев М. Конденсатор батареясини автоматик коммутациялаш учун қурилма // Агентство по интеллектуальной собственности РесУз. Патент на изобретение №IAP 04003. 29.07.2009.
2. Кадыров Т.М., Саъдуллаев М. Устройства для регулирования реактивной мощности // Агентство по интеллектуальной собственности РесУз. Патент на изобретение №IAP 9401086. 14.12.1994.
3. Кадыров Т.М., Саъдуллаев М. Регулирование реактивной мощности конденсаторных батарей по сдвигу фаз между напряжением питающей сети и током нагрузки // Журнал «Проблемы информатики и энергетики». Ташкент, 1999. - № 6. – С.54-57. (05.00.00; №5).
4. Эргашев Э., Анорбоев А., Шойматов Б.Х., Саъдуллаев М. Защита группы электродвигателей от неполнофазного режима // Журнал «Горный вестник Узбекистана». Навои, 2004. - №1. - С.46-47. (05.00.00; №7).
5. Саъдуллаев М. Регулирование реактивной мощности конденсаторных батарей по коэффициенту реактивной мощности // Журнал «Электрика». - Москва, 2005. -№5 - С.22-24. (05.00.00; №94).
6. Саъдуллаев М. Автоматическое регулирование мощности конденсаторных батарей // Журнал «Горный вестник Узбекистана». -Навои, 2006. №3. - С.76-77. (05.00.00; №7).
7. Саъдуллаев М. Решение дифференциальных уравнений компенсаций реактивной мощности // Журнал «Горный вестник Узбекистана». Навои, 2006. №3. - С.77-78. (05.00.00; №7).
8. Кадыров Т.М., Усманов Э.Г., Саъдуллаев М. Регулирование мощности конденсаторных батарей в функции напряжения // Журнал «Вестник ТашГТУ». Ташкент, 2010. №1-2. - С.69-72 (05.00.00; №16). (05.00.00; №7).
9. Бобожанов М.К., Саъдуллаев М. Бесконтактное устройство для регулирования мощности конденсаторных батарей // Журнал «Горный вестник Узбекистана». Навои, 2010. №4. - С.91-92. (05.00.00; №7).
10. Бобожанов М.К., Эшмуродов З.О., Саъдуллаев М. Экспериментальное исследование работы маломощного тиристорного пускателя // Журнал «Горный вестник Узбекистана». -Навои, 2011. -№4. - С.64-65. (05.00.00; №7).
11. Бобожанов М.К., Туйчиев Ф.Н., Саъдуллаев Т.М., Саъдуллаев М. Моделирование бесконтактных пускателей на базе тиристоров // Журнал «Горный вестник Узбекистана». -Навои, 2014. -№2. - С.64-65. (05.00.00; №7).
12. Хамзаев А.А., Нарзуллаев Б.Ш., Абдурасулов О.А., Саъдуллаев М. Использование устройств, состоящих из бесконтактных элементов в управлении компенсирующими устройствами // Международный научный журнал «Молодой учёный» (ISSN 2070-0297). -Волгоград, 2018. - №1(49) Март. – С.23-25.

13. Кадыров Т.М., Усманов Э.Г., Саъдуллаев М. Конденсатор батареясини автоматик коммутациялаш учун қурилма // Агентство по интеллектуальной собственности РесУз. Патент на изобретение №IAP 04003. 29.07.2009.

14. Кадыров Т.М., Саъдуллаев М. Устройства для регулирования реактивной мощности // Агентство по интеллектуальной собственности РУз. Расмий ахборотнома, №1. Предварительный патент на изобретение I НДР 9401086, 1/ГФ 14.12.1994 . Ташкент, 1996. С.81-82.

15. Исаммухамедов Ж., Саъдуллаев М. Оперативный контроль заряда конденсаторов в цепи оперативной защиты силовых трансформаторов // Тезисы докладов научно-технической и практической конференции. -Навои, 20-22 мая 1993. - С.77.

16. Алимов Х.А., Усмонов Э.Г., Саъдуллаев М. Удвоитель частоты со стабилизированным выходным напряжением // Тезисы докладов научно-технической и практической конференции. -Навои, 20-22 мая 1993. - С.74.

17. Алимов Х.А., Таслимов А.Д., Саъдуллаев М. Анализ электроферромагнитного удвоителя частоты со стабилизацией выходного напряжения // Тезис докладов научно-технической и практической конференции. Ташкент, 4-7 октября 1994. - С.40.

18. Кадыров Т.М., Алимов Х.А., Усмонов Э.Г., Саъдуллаев М. Асинхрон двигателларда реактив қувватни компенсация қилиш // Материалы научно-теоретической конференции «ИСТИКЛОЛ-4», Навои, 18-20 мая 1995. С.267-268.

19. Кадыров Т.М., Алимов Х.А., Мухтаров О., Саъдуллаев М. К вопросу по определению снижения потерь активной мощности // Тезисы докладов научно-технической и практической конференции «ИСТИКЛОЛ-5», -Навои. 23-25 мая 1996. - С.76-77.

20. Кадыров Т.М., Эшмуродов З.О., Саъдуллаев М. Устройства для регулирования реактивной мощности // Международная научно- практическая конференция «Инновация-2003 ».23-24 октября 2003.-Тошкент, -С. 122-123.

21. Кадыров Т.М., Саъдуллаев М. Новый метод автоматического регулирования мощности компенсирующих устройств // Материалы республиканский научно-технической конференции «ISTIQLOL», -Навои. 23-25 сентября 2004. - С.141-142.

22. Эргашев Э., Анорбоев С.А., Муталов А.М., Саъдуллаев М. Защита группы электродвигателей от неполнофазного режима // Материалы IV-международной конференции Москва-Навои, 18-25 сентября 2005. - С.378-381.

23. Кадыров Т.М., Усманов Э.Г., Саъдуллаев М. Автоматическое бесконтактное включение конденсаторных батарей в функции значения коэффициента реактивной мощности // Сборник трудов Международной научно-технической конференции "Современное состояние и перспективы развития энергетики". Ташкент, 2006. - С.155-156.

24. Саъдуллаев М. Автоматическое регулирование мощности конденсаторных батарей // Материалы республиканской научно-технической конферен-

ции "ISTIQLOL" (с международным участием) "Современная техника и технология горно-металлургической отрасли и пути их развития", Навои. 28-30 сентября 2006. - С.263-265.

25. Атауллаев А.О., Атауллаев Н.О., Саъдуллаев М. Способы снижения потерь электроэнергии в промышленных гидрометаллургических заводах // Материалы пятой международной научно-технической конференции. "Современные техника и технологии горно-металлургической отрасли и пути их развития", Навои. 12-14 мая 2010. - С.196-197.

26. Саъдуллаев М. Уч фазали конденсатор батареяларни кувватини кучлаиш ва юклама токи бўйича автоматик ростлаш // Материалы пятой международной научно-технической конференции. "Современные техника и технологии горно-металлургической отрасли и пути их развития", Навои. 12-14 мая 2010. - С.233-234.

27. Бобожанов М.К., Шайматов Б.Х., Саъдуллаев М. Разработка устройства для регулирования мощности конденсаторных батарей // Международная научно-практическая конференция «Проблемы формирования и внедрения инновационных технологий в условиях глобализации», Ташкент. 22-24 сентября 2010. - С.233-234.

28. Бобожанов М.К., Эшмуродов З.О., Саъдуллаев М. Электр таъминоти тизимида компенсацияловчи қурилмалар ва электрдвигателларни ишга туширишдаконтактсиз элементлардан фойдаланиш // Материалы республиканской научно –технической конференции (Перспективы развития техники и технологии и достижения горно-металлургической отрасли за годы независимости Республики Узбекистан), Навои. 12-14 мая 2011. - С.121-122.

29. Бобожанов М.К., Саъдуллаев М. Тиристорный пускатель для пуска электродвигателей // Материалы Республиканской научно-технической конференции. Навои. 14-15 июня 2012. - С.285-286.

30. Расулов А.Н., Каримов Р.Ч., Саъдуллаев М. Ночизигий занжирни Эйлер усулидан фойдаланиб ҳисоблаш // Международная научно-техническая конференция, -Навои. 14-16 мая 2013, - С.248-249.

31. Хужанов Б., Рахматов Ё., Саъдуллаев М. Бесконтактный пускатель для коммутации электродвигателей // Международная научно-техническая конференция. Навоий. 14-16 мая 2013. - С.255-256.

32. Расулов А.Н., Каримов Р.Ч., Саъдуллаев М. Электр таъминоти тизимида ярим ўтказгичли ночизигий динамик занжирнинг таҳлили // Международная научно-техническая конференция. Навои, 14-16 мая 2013. - С.256-258.

33. Бобожанов М.К., Туйчиев Ф.Н., Саъдуллаев М. Моделирование бесконтактного тиристорного пускателя в пакете МАТЛАВ // Материалы Республиканской научно-технической конференции (Перспективы науки и производства химической технологии в Узбекистане), Навои. 23-24 мая 2014. - С.226-229.

34. Рахматов Ё., Саъдуллаев М.Т., Саъдуллаев М. Применение компенсирующих устройств с использованием бесконтактных элементов // Материалы

Республиканской научно-технической конференции. Горно-металлургический комплекс проблемы и их решения. Алмалык. 8 апрель 2015. - С.226-229.

35. Бобожанов М.К., Эшмуродов З.О., Халилов А.Ж., Саъдуллаев М. The Research of the dynamic properties of the electric drive mining complexes. (Исследование динамических свойств электроприводов горнорудных комплексов) // Conference MITA2015. The 11th international Conference on Multimedia Information Technology and Application. Tashkent. June 30 – July 2. 2015.

36. Бобожанов М.К., Товбаев А.Н., Саъдуллаев М. Применение оптопары для коммутации в электрических цепях // Материалы VIII Международной научно-технической конференции. «Горно-металлургический комплекс: достижения, проблемы и современные тенденции развития». Навои. 19-21 ноября 2015. - С.189-190.

37. Саъдуллаев Т.М., Мухаммадиев О., Саъдуллаев М. Электр двигателларни коммутациясида симисторларни қўллаш // Материалы VIII Международной научно-технической конференции. «Горно-металлургический комплекс: достижения, проблемы и современные тенденции развития». Навои. 19-21 ноября 2015. - С.221.

38. Хўжаев А., Саъдуллаев Т.М., Саъдуллаев М. Саноат корхоналарида конденсатор батареяларни коммутация қилувчи қурилма // Материалы VIII Международной научно-технической конференции Горно-металлургический комплекс: достижения, проблемы и современные тенденции развития. Навои, 19-21 ноября, 2015. - С.230.

39. Худойбердиев Ф.Ф., Саъдуллаев М. Электр занжирларда коммутация учун контактсиз элементларни қўллаш // Материалы VIII Международной научно-технической конференции. «Горно-металлургический комплекс: достижения, проблемы и современные тенденции развития». Навои. 19-21 ноября 2015. -С.23.

40. Саъдуллаев Т.М., Саъдуллаев М. Бесконтактный пускатель для пуска электродвигателей // Материалы VIII Международной научно-технической конференции. «Горно-металлургический комплекс: достижения, проблемы и современные тенденции развития». Навои. 19-21 ноября 2015. - С.250.

41. Саъдуллаев Т.М., Саъдуллаев М. Использование тиристорных устройств в управлении компенсированных устройств // Материалы Республиканской научно-технической конференции. «Горно-металлургический комплекс: достижения, проблемы и перспективы инновационного развития». Навои. 2016. – С.193.

42. Саъдуллаев Т.М., Саъдуллаев М. Бесконтактный пускатель для коммутации в электрических цепях // Материалы Республиканской научно-технической конференции. «Горно-металлургический комплекс: достижения, проблемы и перспективы инновационного развития». Навои. 2016. - С.186.

43. Рахимов Ф.М., Саъдуллаев Т.М., Саъдуллаев М. Комбинированное устройство регулирования мощности конденсаторных батарей по углу сдвига и по напряжению // Материалы IX Международной научно-технической

конференции: «Достижения, проблемы и современные тенденции развития горно-металлургического комплекса». Навои. 14-16 июня 2017. - С.166.

44. Саъдуллаев Т.М., Саъдуллаев М. Исследование схемы цепи управления бесконтактного устройства с вентилем и активной нагрузкой // Материалы IX Международной научно-технической конференции: «Достижения, проблемы и современные тенденции развития горно-металлургического комплекса». Навои. 14-16 июня 2017. - С.142.

45. Махмудов А.А., Бобожанов М.К., Саъдуллаев М., Каримов Р.Ч. Вопросы пуска конденсаторных батарей в системах электроснабжения // Сборник материалов Международной научно-практической конференции «Закономерности развития современного естествознания, техники и технологий». Россия, Белгород, 2018. – С.189-191.

Автореферат «ТошДТУ хабарлари» илмий журнал таҳририятида таҳрирдан
ўтказилди

Бичими 84x60 1/16. «Times New Roman» гарнитураси рақамли босма усулда босилди.
Шартли босма табағи 2,75. Адади 100. Буюртма № ____.

«Business Fayz Print» маъсулияти чекланган жамият босмахонасида чоп этилди.
100011, Тошкент шаҳри, Навоий кўчаси, 30-уй