ОШ МАМЛЕКЕТТИК УНИВЕРСИТЕТИ
КЫРГЫЗ РЕСПУБЛИКАСЫНЫН ӨНДҮРҮШ ЭНЕРГЕТИКА ЖАНА ЖЕРДИ КОЛДОНУУНУН МАМЛЕКЕТТИК КОМИТЕТИНИН АЛДЫНДАГЫ ЭНЕРГЕТИКА ЖАНА ЭКОНОМИКАНЫН ИЛИМИЙ-ИЗИЛДӨӨ ИНСТИТУТУ

Диссертациялык кеңеш Д 05.17.541

Кол жазма укугуна
УДК.: 004.94:621.3017:621.315.1(043.3)

Айдарова Айгерим Рашидовна

ЭЛЕКТР ЭНЕРГИЯ БЕРҮҮЧҮ АБА ЧУБАЛГЫЛАРЫНДАГЫ ЭЛЕКТР ЭНЕРГИЯНЫН КОШУМЧА ЖОГОТУУЛАРЫН КОМПЬЮТЕРДИК МОДЕЛДЕШТИРҮҮ ЖАНА АНАЛИЗИ

Адистиги 05.14.02 – Электр станциялар жана электр энергетиткалык системалар

Автореферат
Техникалык илимдин кандидатынын илимий даражасын алуу үчүн диссертация

Бишкек 2017

Жумуш И.Раззаков ат. Кыргыз мамлекеттик техникалык университетинде аткарылды

Илимий жетекчи: Техника илимдеринин кандидаты, доцент **Сатаркулов Калмурза Асанович**

Официалдуу оппоненти: **Техника илимдеринин доктору, доцент Кадыров Ишенбек Шакирович**

Техника илимдеринин кандидаты, доцент **Дикамбаев Шамиль Бектурганович**

Жетектөөчү уюм: **"Электстанциялар"** ААК, 720070, Бишкек ш, Жибек-Жолу 326.

Коргоо Ош мамлекеттик университетте жана Кыргыз Республикасынын өндүрүш, энергетика жана жерди иштетүүнүн мамлекеттик комитетинин алдындагы энергетика жана экономиканын илимий-изилдөө институтунда, Бишкек ш., Ахунбаев к 119 дарегинде жайгашкан Д 05.17.541 диссертациялык кеңештин отурумунда 2017-жылы "28" апрелинде саат 14:00до болот.

Диссертация менен Ош мамлекеттик университетинде, 723500, Ош. ш., Ленин к., 331 жана Кыргыз Республикасынын өндүрүш, энергетика жана жерди иштетүүнүн мамлекеттик комитетинин алдындагы энергетика жана экономиканын илимий-изилдөө институтутунун китепканасынан таанышса болот, 720055, Бишкек ш., Ахунбаев к 119.

Автореферат жөнөтүлдү "__" ______2017ж.

Диссертациялык кеңештин
илимий катчысы, т.и.к. Р.А.Акпаралиев

ЖУМУШТУН ЖАЛПЫ МҮНӨЗДӨМӨСҮ

Изилдөөнүн **актуалдуулугу** электр энергиянын алдыга умтулуп, өсүп жаткан өндүрүшсүз экономика тармагынын булактарынын өнүгүүсү мүмкүн эместигинде. Бирок, электр энергияны электр тармактарга берүүдө электр станцияларда энерго ресурстарды кошумча чыгашага алып келген жоготуулар болбой койбойт. Электр энергиянын жоготууларын аныктоо ыкмасынын негизи, токтун жүктөмүнүн көлөмүн эсепке алууда жана ток өтүүчү тармактагы элементтин карама-каршылыгында жатат. Ошол эле учурда, эреже катары, электр энергиянын сапаты стандарттын белгиленген талаптарына туура келиши жана туруктуу орду жок, аныкталган чекте турары болжолдуу: биринчиден, электр тармактарда тилкелик эмес вольтамперлик мүнөздөгү жүктөмүнүн бар болушу электр азыктандыруунун чыңалуусун түзгөн гармониялык өзгөрүүгө алып келет жана интергармониктин (ИГ) келип чыгуу себеби болуп саналат; экинчиден, тилкелик эмес жүктөмү бар электр тармактарынын иштөө режиминдеги мүмкүн болуучу детеминирдүү баш-аламандыгы. Жогоруда саналган процесстер элемент тармактарындагы электр энергиянын кошумча жоготууларына алып келет.

Азыркы учурда нормалдаштырууга талаптарды аныктоо иштеп чыгуу стадиясында турат. Кээ бир өлкөлөрдө нормалдаштыруу боюнча стандарттар милдеттүү болуп саналбайт же рекомендациялык мүнөзгө гана ээ, анткени ИГ теориясы башкаларга караганда жаңы болуп эсептелет, натыйжада жогорку гармоник теориясы менен салыштырмалуу азыраак изилденген. Ушуга байланыштуу электр энергия жоготуу көлөмүнө компьютердик моделдештирүү технологиясын колдонуу менен ИГнын жана детерминирдүү баш-аламандыктын таасирин изилдөө, актуалдуу болуп саналат, анткени сыноолорду табигый шартта ишке ашыруу өтө эле кыйын, аларды уюштуруш керек жана технологиялык процесске ишкананын кийлигишүүсү зарыл. Ошондуктан изилденип жаткан объекти компьютердик модел менен алмаштырып, ар кандай сырткы чөйрөнүн таасиринен анын жүрүшүн изилдешет. Модель табигый экспериментке караганда бир кыйла арзан жана жеткиликтүү: анын негизинде изилдөө жүргүзүү аз убакытты талап кылат жана изилдөөчүнү кызыктырган көлөмдөр жөнүндө кенен маалыматты берет.

туура методикалык мамилени жана тиешелүү инструменттик каражаттардын болуусун талап кылган, электр энергетикадагы татаал маселелердин бири болгон иштеп жаткан АЧда жана таажыдагы жоготууларды өлчөөдө актуалдуу болуп саналат.

Жогоруда каралып жаткан маселени чечүүгө чоң салым кошкон Россиялык окумуштуулар: Г.Я. Вагин, В.Э. Воротницкий, И.В. Жежеленко, Ю.С. Железко, В.С. Иванов, В.Н. Казанцев, Е.И. Кордюков, В.Г. Кузнецов, В.Г. Курбатский, Л.А. Кучумов, В.Г. Пекелис, Г.Е. Поспелов, Ю.Л. Саенко, С.С. Смирнов, В.И. Соколов, Н.М. Сыч, В.В. Черепанов, А.К. Шидловский,

М.И. Фурсанов, В.А. Костюшко жана Кыргыз Республикасынын окумуштуулары: Ш.Б. Дикамбаев, В.А. Мезгин, Ю.П. Симаков

Азыркы учурда электр тармактарындагы электр энергиянын жоготууларын эсептөөдөгү ар кандай методдор жана математикалык моделдер жогоруда саналган РФнын алдыңкы окумуштууларынын базасында иштелип чыккан. Бирок, заманбап электр тармактарын пайдаланып иштетүү практикасы жана тилкелик эмес электр энергетикалык системанын башаламан иштөө режими, жогоруда белгиленген көрүнүштөрдү эске алуу менен изилдөөнүн жана электр энергиянын жоготууларын өлчөөчү жаңы аспаптарды жаратуу керек экендигин көрсөттү (ХР, ИГ).

Негизги илимий-изилдөө иштери менен диссертациянын темасынын байланышы. Көйгөйдүн актуалдуулугу, жумуш МОиНКР заказы боюнча “Электр энергетиканын ЭМО объектилерин жана электр тармактарындагы ЭМС түзүлүштөрүн изилдөө үчүн датчиктерди интеллектуалдаштыруу жана виртуалдык аспаптарды иштеп чыгуу” темасындагы “Энерго система тармактарындагы жумуштун натыйжалуулугун жогорулатуу да методикалык жана техникалык каражаттарды изилдөө жана иштеп чыгуу” долбоорунун алкагында И.Раззаков ат. КМТУнун алдындагы Энергетика жана байланыш ИИИде аткарылгандыгы менен да тастыкталат.

Изилдөөнүн максаты жана милдеттери. Изилдөөнүн максаты – компьютердик моделдештирүү технологиясынын негизинде электр энергия берүү чубалгыларындагы кошумча жоготууларды баалоо жана анализдөө, ошондой эле бийик тоолуу шартта электр энергия берүүчү аба чубалгыларынын таажысындагы жоготууларга таасир берүүчү факторлорду тактоо болуп саналат.

Диссертациялык иште чечилүүчү негизги милдеттер:

- Бузулган синустук токто ЛЭПте электр энергия жоготууларына баш аламан чыңалуунун таасирин баалоо методун иштеп чыгуу;
- Аба чубалгыларында кубаттуулуктун жана электр энергиянын жоготууларына ар түрдүү факторлордун таасирин изилдөөгө арналган LabVIEW негизинде көп функционалдуу виртуалдык прибор иштеп чыгуу;
- Сандык эксперименттин негизинде аба чубалгылардагы электр энергия жоготууларына стохастикалык процесстердин таасир этүүчү даражасын изилдөө;
- Илим изилдөөнүн автоматташтырылган системасынын (АСНИ) элементтери менен эксперименталдык түзүлүштү жана элементтердин физикалык моделдеринде электр энергия жоготууларын өлчөөчү жаңы ыкманы иштеп чыгуу; электр тармактын изилдөө мүнөзүндөгү өлчөөнү өткөрүүгө арналган
- Бийик тоолу шартта таажыдагы жоготууларга таасир этүүчү факторлорду тактоо максатында жогорку вольттуу аба

чубалгыларындагы негизги разрядда физикалык процесстердин анализи.

Изилдөө ыкмалары жана каражаттары. Изилдөө ишинде коюлган милдеттер электрдик чынжыр, математикалык моделдештирүү, электро магниттик талаа теориясынын, о.э. физикалык моделди эксперименталдык изилдөөнүн негизинде чечилген. Сандык эксперименттер LabVIEW жана Matlab чөйрөсүндө компьютердик моделдештирүүнүн негизинде жүргүзүлгөн.

Изилдөөнүн жыйынтыктарынын жеткиликтүүлүгү божомолдордун негизинде кабыл алынган программалык комплекстерди моделдештирүүчү математикалык аппаратты сыпайы колдонуу менен камсыздалган жана эсептердин жыйынтыктары менен эксперименталдык маалыматтардын туура дал келиши менен тастыкталат.

Алынган жыйынтыктардан илимий жаңылык:

- Өзгөрүлмө абалдын методунун негизинде локалдык түрдүүлүгүн эске алуу менен аба чубалгынын компьютердик модели иштелип чыкты. Чубалгынын локалдык түрдүүлүгүнүн параметрлери, алардын электромагниттик өз ара аракеттешүүсүнө берген таасирин изилдөө үчүн эки мейкиндикке созулган гальваникалык жактан байланышпаган ток өткөрүүчү электр тармактын элементтеринин математикалык модели көрсөтүлдү;
- Аба ЛЭПте кубаттуулуктун жана электр энергиянын жоготууларына ар түрдүү факторлордун таасирин изилдөөгө арналган LabVIEW негизинде көп функционалдуу виртуалдык прибор иштеп чыкты;
- АСНИ элементтери менен эксперименттик орнотмону жана электр тармактар элементтериндеги электр энергиянын жоготууларын өлчөөчү ыкма иштелип чыкты;
- Бийик тоолуу шарттарда жогорку чыңалуудагы аба ЛЭПтеги таажыдагы жоготууларды баалоодо эске алынуучу факторлор такталды;
- Таажыны жандырууда чоң маанилүү чыңалууну өлчөөчү ыкма сунушталды

Коргоого чыгарылуучу негизги ой:

- Локалдык түрдүүлүгүн эске алуу менен аба чубалгынын компьютердик модель;
- Локалдык түрдүүлүгүн эске алуу менен эки мейкиндикке созулган гальваникалык жактан байланышпаган ток өткөрүүчү электр тармактын элементтеринин математикалык модель;

- Аба ЛЭПте кубаттуулуктун жана электр энергиянын жоготууларына ар түрдүү факторлордун таасирин изилдөөгө арналган LabVIEW негизинде көп функционалдуу виртуалдык прибор;
- LabVIEW колдонуу менен компьютердик моделдештирүүнүн негизинде электр энергия берүүчү аба чубалгыларындагы жоготууларга ар түрдүү факторлордун таасиринин анализи;
- АСНИ элементтери менен эксперименттик орнотмо жана электр тармактар элементтеринин физикалык моделиндеги электр энергиянын жоготууларын өлчөөчү ыкма;
- жогорку чыңалуудагы чубалгылардагы таажыны жандыруу учурунан баштап чыңалууну өлчөө ыкма;
- бийик тоолу шарттарда жогорку чыңалуудагы аба ЛЭПтеги таажыдагы жоготууларды баалоодо эске алынуучу такталган факторлор.

Диссертациянын практикалык мааниси. Иштелип чыккан АСНИ элементтери менен эксперименттик орнотмо, электр тармактар элементтеринин физикалык моделиндеги электр энергиянын жоготууларын өлчөөчү ыкмасы, виртуалдык аспап, ошондой эле эки чынжырлуу чубалгынын математикалык жалпыланган модели аба чубалгыларындагы жана кубаттуулуктагы электр энергиянын жоготууларына таасир этүүчү так изилдөөгө мүмкүндүк берет. Бийик тоолу шарттарда жогорку чыңалуудагы аба чубалгыларындагы таажыдан кеткен жоготууларга таасир этүүчү кошумча факторлорду эсепке алуунун техникалык зарылдыгы.

Иштин жыйынтыктарын ишке ашыруу. Диссертациялык иштин жыйынтыктары Энегетиканын ИИИде аба чубалгыларындагы техникалык жоготуулардын көлөмүн анализдөөдө ар кандай татаал факторлордун таасир этүү деңгеелин изилдөө иштерин жүргүзүү үчүн колдонулат.
Электр энергиянын аба чубалгыларынын режимдерин моделдөө методдору И.Раззаков ат. Кыргыз мамлекеттик техникалык университетинин “Өндүрүштүк ишканаларды электр энергия менен жабдуу” кафедрасындагы дипломдук жана курстук иштерде колдонулат.
Изденүүчүнүн жеке салымы. Диссертациялык иштин бардык илимий-техникалык жыйыктыктары негизинен илимий жетекчисинин жетекчилиги астында жеке автор тарабынан кабыл алынды.

Жумуштун калган авторлошторукомпьютердик программа менен башкарылуучу жана физикалык моделдерди колдонуу менен электр тармактарынын элементтериндеги жоготууларды өлчөөнүн жаңы ыкмасын иштеп чыгууга катышышты.
Диссертациянын жыйынтыктарын бекитүү. Диссертациянын негизги мазмуну жана башка бөлүмдөрү жөнүндө доклад берилген жана Эл аралык илимий-техникалык конференцияларда талкууланган:

- “Энергетиканын абалы, көйгөйлөрү, мындан ары өнүгүүсү” (Бишкек, 2014);
- “Илим, билим, инновациялар: өнүгүүнүн приоритеттүү багыттары” (Бишкек, 2014);
- “Башкаруу көйгөйлөрү жана Маалыматтык технологиялар” 2015 (2 доклад),
- “Инновациялык изилдөөдөгү жаштар” (Бишкек 2015).

Публикациялар. Диссертациялык иштердин материалдары боюнча 15 илимий иштер жарыяланган, ойлоп чыгарууга 1 патент жана экспериментти автоматташтырууга компьютердик программаны башкарууга 1 күбөлүк бар (Кыргызпатент).
Диссертациянын түзүлүшү жана көлөмү. Дисертациялык иш киришүүдөн, төрт главадан, корутундудан, адабиятттардын тизмесинен, үч тиркемеден турат. Диссертациянын мазмуну компьютердик текстте 199 баракка баяндалган, 5 таблица, 78 сүрөт, ойлоп чыгарууга КР бир патентинин көчүрмөсү, жайылтуу жөнүндө эки актынын көчүрмөсү бар. Адабияттардын тизмеси 123.

Иштин негизги мазмуну

Кириш бөлүмдө диссертациянын темасынын актуалдуулугу негизделген, изилдөөнүн негизги максаты жана багыты чогултулган, диссертациянын түзүлүшү жана иштин кыска мазмуну келтирилген.
Биринчи главада, электр энергия жоготуу көйгөйлөрү боюнча илимий адабияттардын обзорунун жыйынтыктары берилген, аларга ылайык:

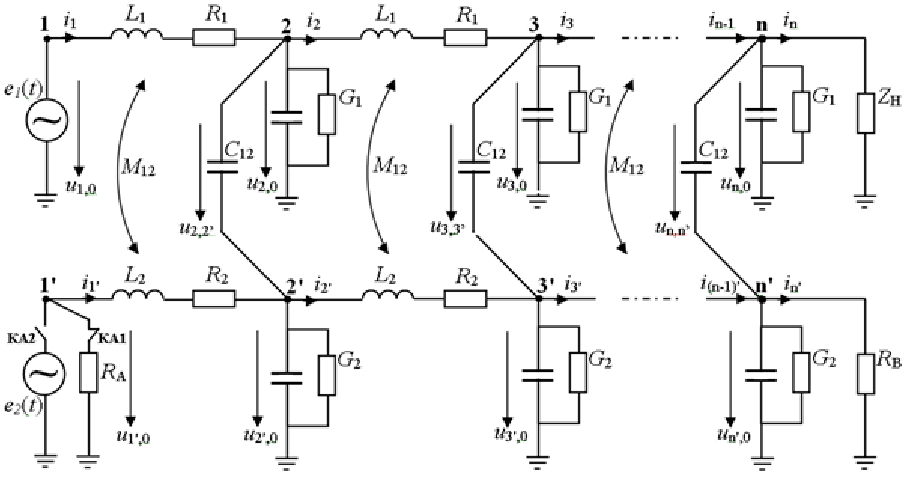
1. Белгиленген нормадан электр энергиянын сапатынын көрсөткүчтөрүнүн чектен чыгуусуэлектр тармактарда, анын ичинде аба чубалгыларында электр энергиянын жоготууларына алып келет;
2. Электр тармактарындагы электр энергиянын жоготуунун өзгөрүү диапазонун жүргүзүлүп жаткан ыкмалар менен аныктоо мүмкүн эмес, анткени алар детерминизм принцибине негизделет жана илимдин өнүгүүсүнүн заманбап деңгээлине өтө эле жөнөкөй, ошентсе да мурун абдан алгылыктуу болчу;
3. Тилкелик эмес мүнөздөгү ЭПнын көбөйүшү менен жогорку жыштыктагы токтун термелүүсү жана электр тармактардагы чыңалуунун баш аламандыгы өсүүдө;
4. Бүгүнкү күндө, түрдүү кубаттуу тилкелик эмес жүктөмдөрдүн өсүү шартында, өндүрүштүк электр тармактарында электромагниттик

сыйымдуулук деңгээлинде интергармониктин таасирисиз электр энергиянын сапатынын анализи толук болбойт;

5. Таажыдагы жоготуулар да кошумча изилдөөнү талап кылат, анткени алдыңкы адистердин ишинде жүргүзүлгөн изилдөөнүн жыйынтыктарына ылайык жалпы кабыл алынган методикасы таажыдагы салыштырма жоготууга да, жылдык жоготууга да аз маани берген.

Экинчи главада, өзгөрүлмө абалдын методунун негизинде төмөндөгүлөр түзүлдү:

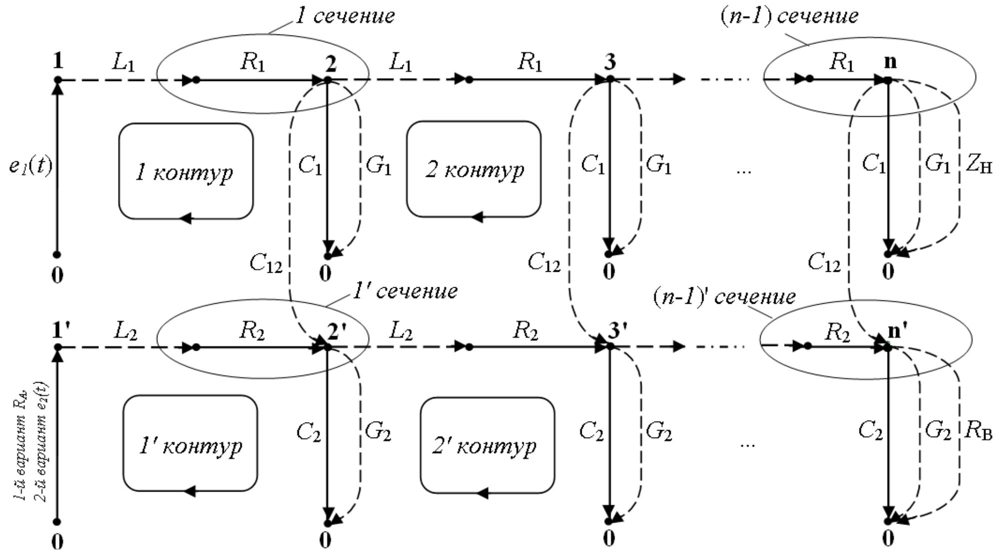
1. АЧ участогунун математикалык модели;
2. Эки мейкиндикке созулган гальваникалык жактан байланышпаган ток өткөрүүчү электр тармактын элементтеринин математикалык модели. Биринчи ММ - чубалгыда электр энергия берилип жатканда болуп жаткан физикалык процесстерди анализдөөгө мүмкүндүк берет, ал эми экинчи ММ - локалдык түрдүүлүгүн эске алуу менен эки мейкиндикке созулган гальваникалык жактан байланышпаган ток өткөрүүчү электр тармактын элементтеринин өз ара электромагниттик таасирин моделдештирет.



1-сүрөт. Изилдеген тармактын алмаштырма түзмөгү,

1-сүр. и коммутациялык аппараттар электр тармактар элементтеринин чектеш узундуктагы электромагниттик өз ара аракеттешүүсүнүн анализине мүмкүндүгү болуусу үчүн гана тартылган. Биринчи вариант: жогорку элемен активдүү, ал эми төмөнкүсү пассивдүү (– бириктирүү, – ажыратуу); экинчи: эки элемент тең активдүү (– бириктирүү, – ажыратуу). Өзгөрүлмө абал катары алынган чыңалуу и токи

1чи жана 2чи чубалгынын узатасынан.



2-сүрөт. Изилденген тармактын нормалдуу графы

1-вариант үчүн Кирхгофтун биринчи жана экинчи мыйзамдары боюнча көз карандысыз кесилиштерди жана көз каранды контурлардын теңдөөсү түзүлгөн, Составлены уравнения для независимых сечений и независимых контуров по первому и соответственно второму законам Кирхгофа для 1-го варианта, бактын бутагы (0-1') нормалдуу граф (2-сүр.) ичинде камтыйт , коммутациялык аппараты бириктирилген, – ажыратылган; экинчи вариант үчүн, бактын бутагы (0-1') нормалдуу граф (2-сүр.) ичинде камтыйт $e_2(t)$, КА1 коммутациялык аппараты ажыратылган, КА2 – бириктирилген.

Андан ары, алынган теңдемелер матрицалык формада жазылган:

$$\begin{bmatrix} C & 0 \\ 0 & L \end{bmatrix} \frac{dX}{dt} = \begin{bmatrix} G & F_{12} \\ F_{21} & R \end{bmatrix} \cdot X + S \cdot E, \qquad (1)$$

Бул жерде,

$$X = \left[u_{2,0} \quad u_{3,0} \quad \dots \quad u_{n,0} \quad u_{2',0} \quad u_{3',0} \quad \dots \quad u_{n'} \;\vdots\; i_1 \quad i_2 \quad \dots \quad i_{n-1} \quad i_n \quad i_{1'} \quad i_{2'} \quad \dots \quad i_{(n-1)'} \right]^T$$

$$C = \begin{bmatrix} C_1 + C_{12} & 0 & \dots & 0 & -C_{12} & 0 & \dots & 0 \\ 0 & C_1 + C_{12} & \dots & 0 & 0 & -C_{12} & \dots & 0 \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ 0 & 0 & \dots & C_1 + C_{12} & 0 & 0 & \dots & -C_{12} \\ -C_{12} & 0 & \dots & 0 & C_2 + C_{12} & 0 & \dots & 0 \\ 0 & -C_{12} & \dots & 0 & 0 & C_2 + C_{12} & \dots & 0 \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ 0 & 0 & \dots & -C_{12} & 0 & 0 & \dots & C_2 + C_{12} \end{bmatrix},$$

$$G = diag\{G_1 \quad -G_1 \quad \dots \quad -G_1 \quad -G_2 \quad -G_2 \quad \dots \quad -G_2 - G_B\}, E = [e_1(t) \quad e_2(t)]^T;$$

$$L = \begin{bmatrix} L_1 & 0 & \dots & 0 & 0 & \pm M_{12} & 0 & \dots & 0 \\ 0 & L_1 & \dots & 0 & 0 & 0 & \pm M_{12} & \dots & 0 \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ 0 & 0 & \dots & L_1 & 0 & 0 & 0 & \dots & \pm M_{12} \\ 0 & 0 & \dots & 0 & L_H & 0 & 0 & \dots & 0 \\ \pm M_{12} & 0 & \dots & 0 & 0 & L_2 & 0 & \dots & 0 \\ 0 & \pm M_{12} & \dots & 0 & 0 & 0 & L_2 & \dots & 0 \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ 0 & 0 & \dots & \pm M_{12} & 0 & 0 & 0 & \dots & L_2 \end{bmatrix},$$

$$F_{12} = \begin{bmatrix} 1 & -1 & \dots & 0 & 0 & 0 & 0 & \dots & 0 \\ 0 & 1 & \dots & 0 & 0 & 0 & 0 & \dots & 0 \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ 0 & 0 & \dots & 1 & -1 & 0 & 0 & \dots & 0 \\ 0 & 0 & \dots & 0 & 0 & 1 & -1 & \dots & 0 \\ 0 & 0 & \dots & 0 & 0 & 0 & 1 & \dots & 0 \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ 0 & 0 & \dots & 0 & 0 & 0 & 0 & \dots & 1 \end{bmatrix}, \quad F_{21} = \begin{bmatrix} -1 & 0 & \dots & 0 & 0 & 0 & \dots & 0 \\ 1 & -1 & \dots & 0 & 0 & 0 & \dots & 0 \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ 0 & 0 & \dots & -1 & 0 & 0 & \dots & 0 \\ 0 & 0 & \dots & 1 & 0 & 0 & \dots & 0 \\ 0 & 0 & \dots & 0 & -1 & 0 & \dots & 0 \\ 0 & 0 & \dots & 0 & 1 & -1 & \dots & 0 \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ 0 & 0 & \dots & 0 & 0 & 0 & \dots & -1 \end{bmatrix}.$$

1-вариант үчүн, бактын бутагы (0-1') нормалдуу граф ичинде камтыйт R_A, т.а. КА1 - бириктирилген, ал эми КА2 - ажыратылган, матрица ичи R жана матрица S төмөнкүдөй жазылат:

$$R = diag\{R_1 \quad -R_1 \quad \dots \quad -R_1 \quad -R_H \quad -R_2 - R_A \quad -R_2 \quad \dots \quad -R_2\},$$

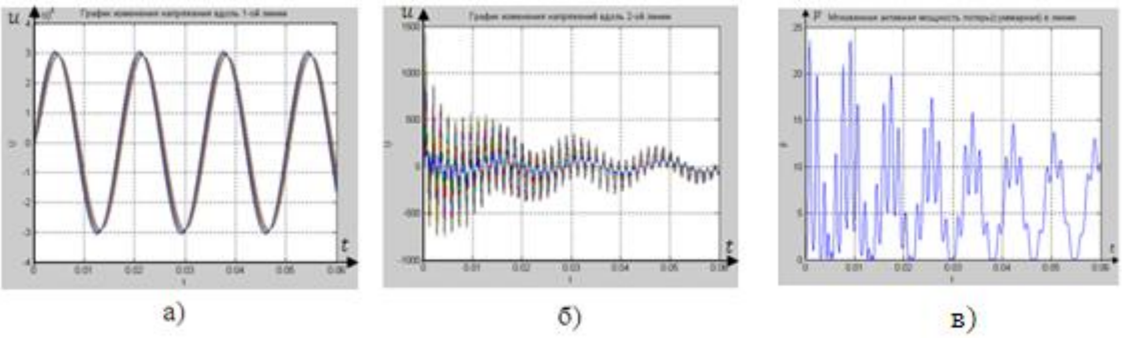
$$S = \begin{bmatrix} 0 & 0 & \dots & 0 & 0 & 0 & \dots & 0 & 1 & 0 & \dots & 0 & 0 & 0 & 0 & \dots & 0 \\ 0 & 0 & \dots & 0 & 0 & 0 & \dots & 0 & 0 & 0 & \dots & 0 & 0 & 0 & 0 & \dots & 0 \end{bmatrix}^T.$$

2-вариант үчүн: бактын бутагы (0-1') нормалдуу граф өзүнө камтыйт $e_2(t)$, т.а. КА1 - ажырытылган, КА2 – бириктирилген, матрица ичи R жана матрица S төмөнкүдөй жазылат:

$$R = diag\{R_1 \quad -R_1 \quad \dots \quad -R_1 \quad -R_H \quad -R_2 \quad -R_2 \quad \dots \quad -R_2\};$$

$$S = \begin{bmatrix} 0 & 0 & \dots & 0 & 0 & 0 & \dots & 0 & 1 & 0 & \dots & 0 & 0 & 0 & 0 & \dots & 0 \\ 0 & 0 & \dots & 0 & 0 & 0 & \dots & 0 & 0 & 0 & \dots & 0 & 0 & 1 & 0 & \dots & 0 \end{bmatrix}^T.$$

Моделдештирүүнүн жыйынтыктары 3-сүр. графикасында көрсөтүлгөн, ошол элу учурда биринчи чубалгы 220кВ чыңалуудагы булакка туташтырылган, экинчи чубалгы R_A жана R_B аркылуу эки жак учунан жердетилген.

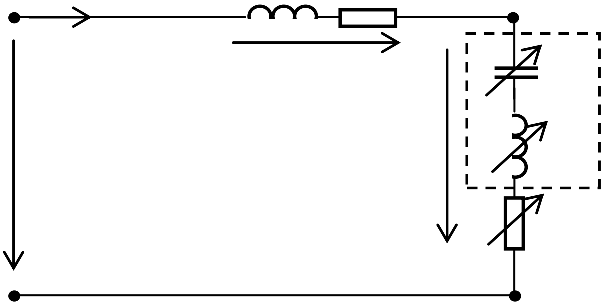


3-сүрөт. Чыңалуунун убактылуу көз карандылыгы: а) - биринчи чубалгынын узатасынан; б) – экинчи чубалгынын узатасынан; в) – экинчи чубалгыга берилген токтон активдүү кубаттуулуктун убактылуу көз карандылыгы

Моделдештирүүнүн жыйынтыгы экинчи провод боюнча, башы жана аягы жер менен кошулган R_A=10 Ом и R_B=10000 Ом,

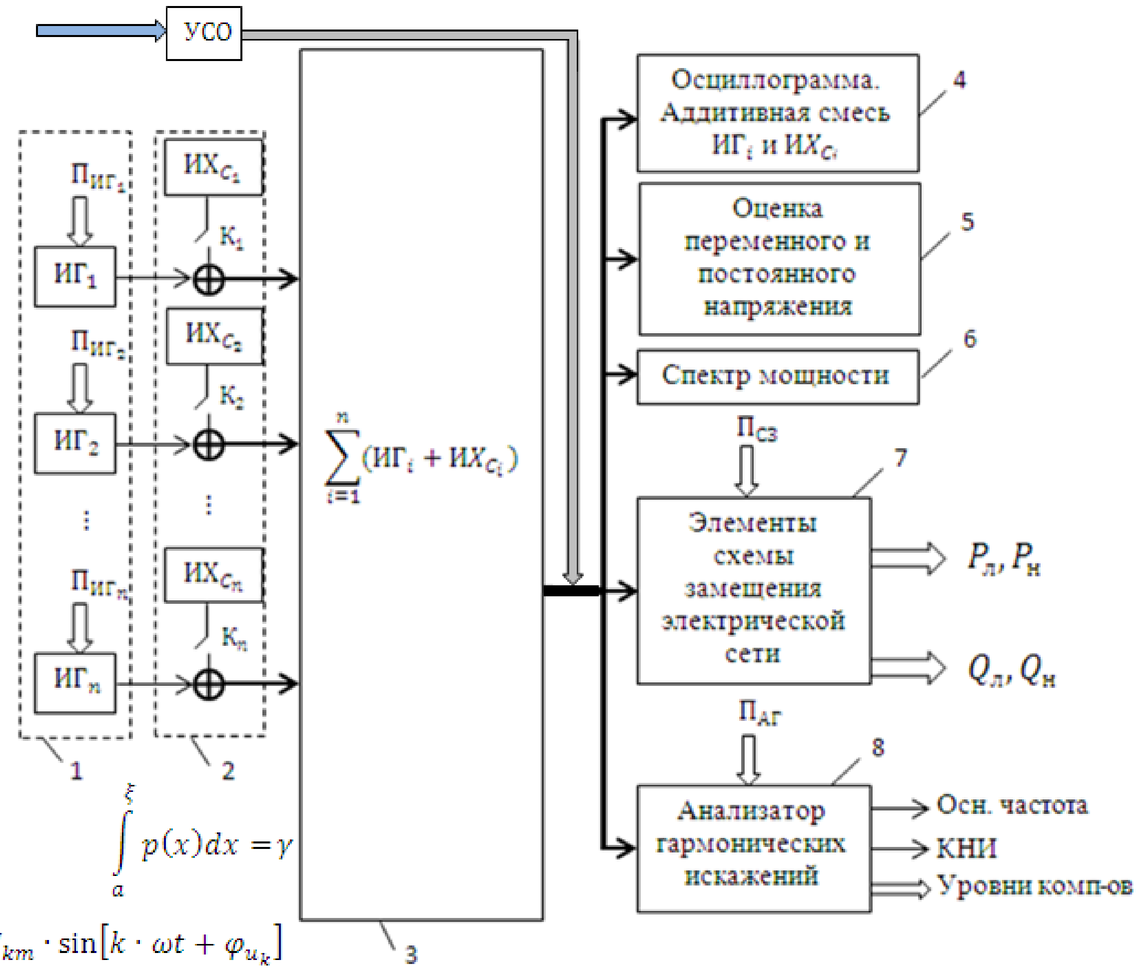
Үчүнчү главада компьютердик моделдештирүү методунун негизинде бузулган синустук токто АЧ зымында электр энергия жоготууларына баш аламан чыңалуунун таасирин баалоо ыкмасы сунушталган. Аба чубалгыларынын спектрдик курамда чыңалуусун жана электр тармагында баш аламан иштөө режиминде СКЧ (ССН) таасирин изилдөөгө арналган LabVIEW негизинде көп функционалдуу виртуалдык прибор иштелип чыкты. карама каршылык аркылуу эки звм тең өзгөрүлмө каршылык жүктөмү, бул жерде , стохастык түзүлүштөгү чыңалуу. Материалды баяндоодо ток менен чыңалуу белги деп аталган.

зым чубалгынын комплекстүү каршылыгы жана жүктөмдүн белгилери



4-сүрөт. Чыңалуу булагынан электр тармагына жана жүктөмгө энергия берүү.

и аркылуу (4-сүр.).



$$\int_{a}^{\xi} p(x)dx = \gamma$$

$$u_k = U_{km} \cdot \sin[k \cdot \omega t + \varphi_{u_k}]$$

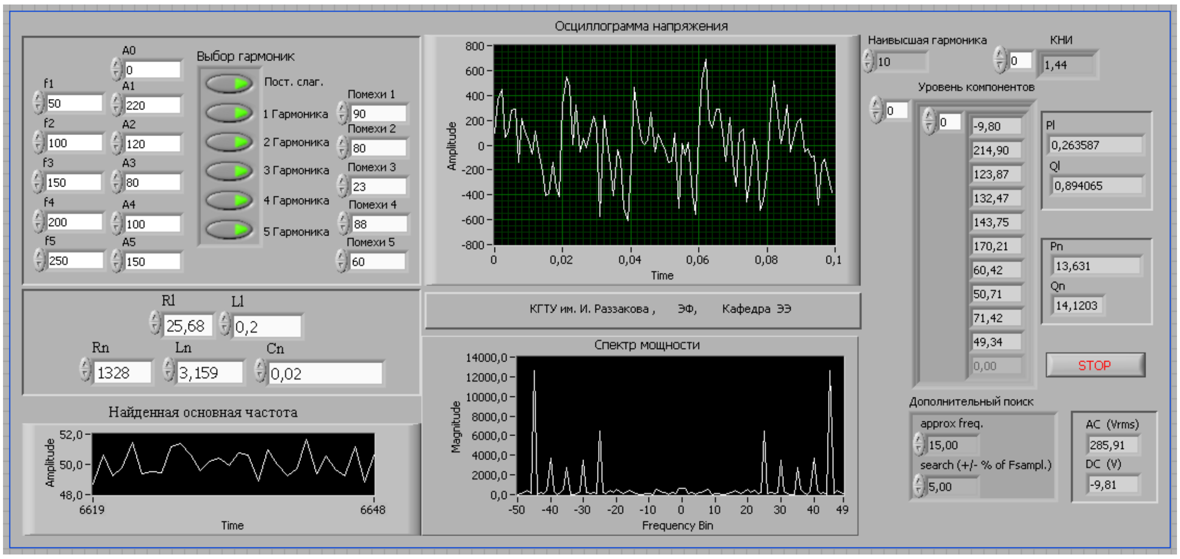
5-сүр. ВП түзүлүшү жана компоненттери

LabVIEW негизинде көп функционалдуу виртуалдык приборду иштеп чыгуу тартиби баяндалган.

ВПнын иштеши анын структурасы жана компоненттери менен аныкталат. ВПнын структурасы жана компоненттеринин 5-сүр. берилген. 6-7-сүр. Панель жагы жана иштелип чыккан ВПнын блок-диаграммасы. 5-6-7-сүрөттөрдү колдонуу менен жумуштун жана ВПнын функционалдук элементтеринин мааниси түшүндүрүлгөн. 1-блокто (5-сүр.) белгилердин гармоник же интергармониктин моделдик генерациясы ишке ашырылган. 7-сүр. ушул эле номерде гармоник/интергармоник генерациясын ишке ашыруучу элементтердин бирден-бири көрсөтүлгөн.

Белгинин тездик мааниси:

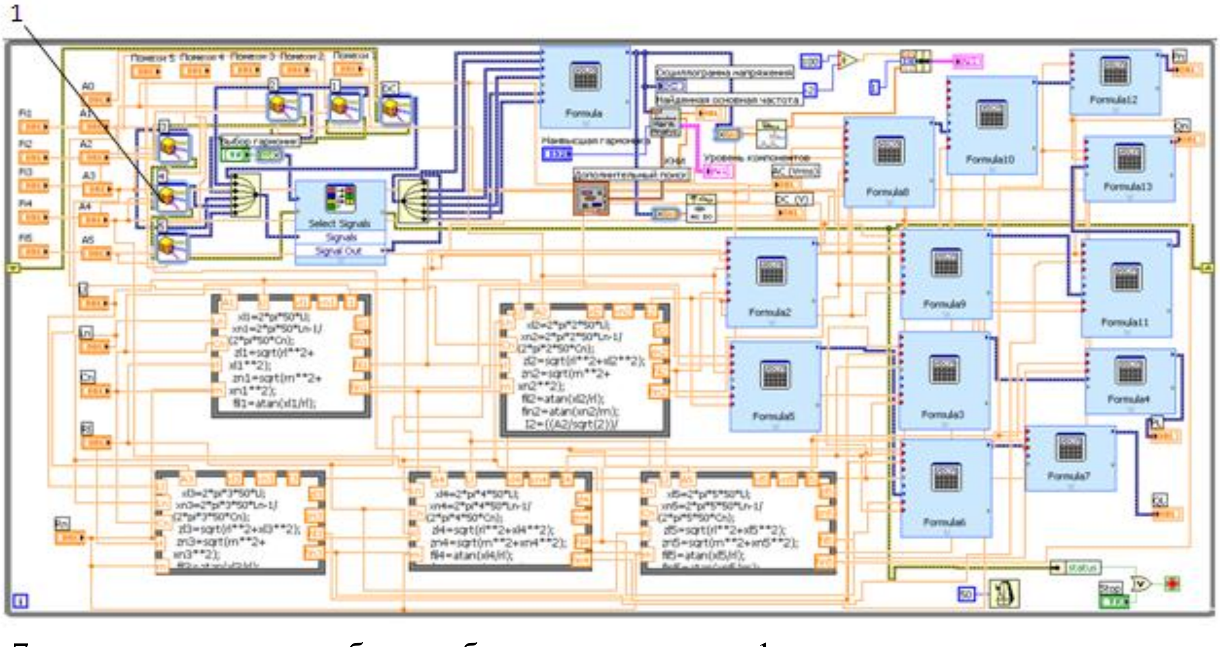
Бул жерде, гармоника номери ; – тездик мааниси ой белгинин гармоникасы; – амплитуда мааниси жыштыгы менен убактысы үчүн; – алгачкы фазанын белгиси; ойгармоник белгиси убактысы үчүн; – электр энергия булагынын айланма жыштыгы.



6-сүр. ВПнын маңдайкы панели

2-блокто (5-сүр.) тиешелүү гармоник белгинин баш-аламандыгы окшоштурулган. Тиешелүү баш-аламандыкты түзүүчү гармоник белгини бөлүштүрүү мыйзамы төмөндөгү тизмеден алынган: гауссовдук ак табыш; мезгилдүү ак табыш, бир калыптагы ак табыш. Закон распределения соответствующих хаотических составляющих гармоник сигнала выбирается из следующего списка: *гауссовский белый шум; периодический белый шум; равномерный белый шум.*

Тиешелүү баш аламандыкты түзүүчү 2-блокто генерацияланган белгилер эгерде тиешелүү ачкычтар бириктирилген болсо 3-блокко түшүшүт (5-сүр.).



7-сүр. виртуалдык прибордун блок-диаграммасы, 1-гармоник же интергармоник генератору

Диссертациянын төртүнчү бөлүмүндө чыгарылган басылмаларга таянып электр энергия жоготууларын аныктоо үчүн колдонулуп жаткан бардык математикалык моделдерде жүктөмдүн ток көлөмү жана ток өтүүчү тармактын элемент каршылыгы эске алынат, ошол эле учурда электр энергиянын сапаттык көрсөткүчтөрү белгиленген стандарттык чек арада турат. Бирок, акыркы божомол дайыма адилеттүү болот. Биринчиден – тилкелик эмес жүктөмдөгү электр тармактын ишинин детерминирдик баш аламандыгы, экинчиден – жогорку гармоник, анын ичинде интергармоник тармактардын пайда болуусу.

Илимий басылмаларда татаал электр тармактарда гармониялык процесстерди ачылышы бүгүнкү күндө изилденбейт деген ой бар.

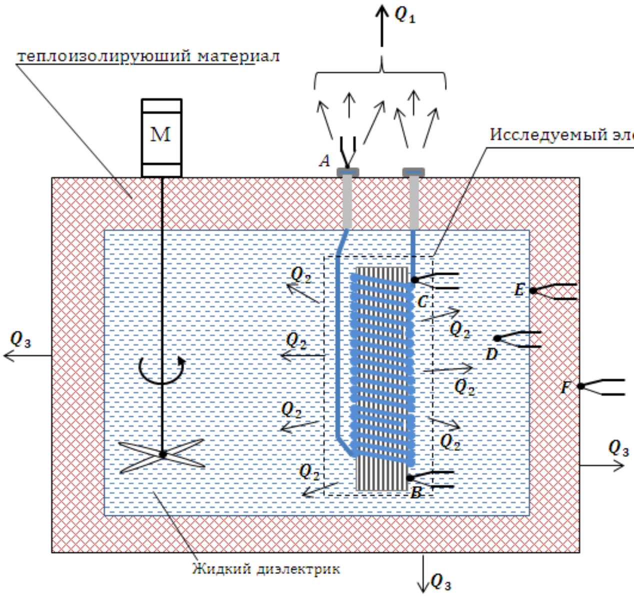
Диссертацияда баса белгиленгендей, бул процесс жөнөкөй электр тармактарында да изилдеген эмес, өзгөчө, гармониялык процесс баш-аламандык менен кошулганда, андан тышкарыинтергармониялык процесстер да бар. Ошондуктан, электр энергиянын кошумча жоготууларынын көлөмүнө жогоруда айтылган кубулуштардын таасирин изилдөө үчүн техникалык жоготууларды өлчөөнүн так ыкмасы керек. Негизинен техникалык жоготууларды электр энергияны келип түшүүсүн жана жиберилүүсүн кабылдаган приборлор менен деле өлчөсө болот. Электр энергиянын эсебин жүргүзүү ток трансформаторун, чыңалуу трансформаторун, эсептөө приборун колдонуу менен жүргүзүлөт. Бирок колдонуудагы эсептөө приборлорун колдонуу келип түшкөн жана жиберилген электр энергияны так өлчөө толук мүмкүн эмес, анткени, синустук токто жана чыңалууда өлчөөчү приборлор калибрденет, ошондуктан бузулган токто жана чыңалууда аларды колдонууда нормадан ашык зыян тартылышы мүмкүн.

Электр энергия учетунун өтө так системасына кирүүчү микропроцессордук системада өзүнүн кемчиликтери бар. Бул кемчиликтер келген белгини дискретизациялоо менен байланыштуу, т.а. белгинин окшош формасын сандык белгиге кайра айландыруу. Келген белги станционардык эмес кокустук процесстерди жаратканда кыйынчылыктар болот: бул жагдайда жыштыкты маскировкалоо жагынан катачылык кетирилиши мүмкүн.

Диссертациянын бул бөлүмүнүн максаты илимий изилдөөдө гана колдонуучу электр тармактын элементинин физикалык моделинде жоготуунун калориметрикалык өлчөө ыкмасын иштеп чыгууда.

Анткени бул ыкмада электр энергия эсебинин электро механикалык же микропроцессордук система колдонулбайт, жоготууну өлчөөнүн тууралыгы электр энергиянын сапатына таасир этпейт.

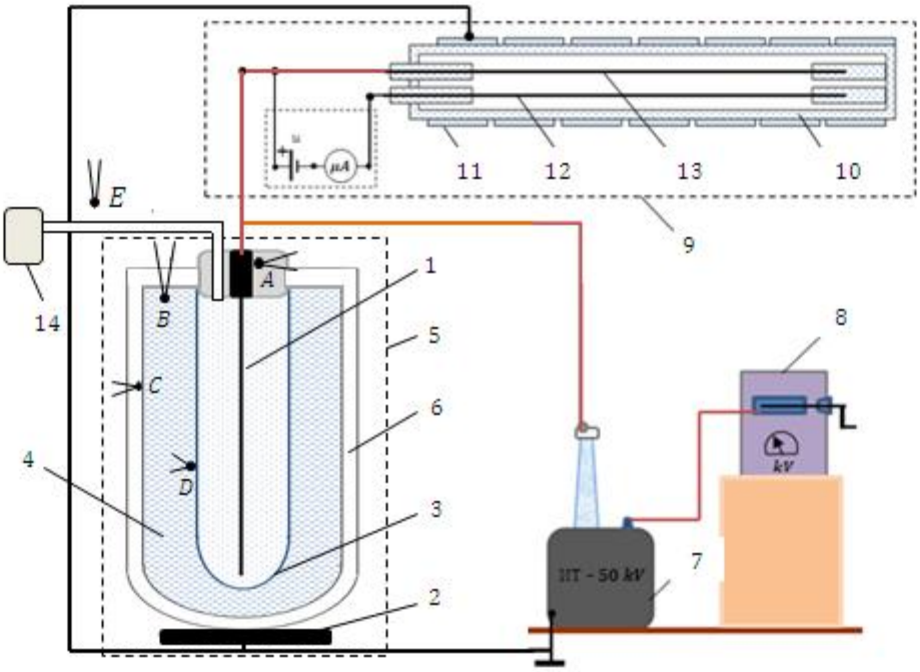
Моделдерин жана электр тармактын режимин башкаруу үчүн тиешелүү түзүлүштү колдонуу менен электр тармактарындагы элементтердеги энергиянын жылуулук жоготууларын өлчөөнүн калориметрикалык методу сунушталды.



8-сүр. электр тармактарынын элементинин физикалык моделинин иштөөсүндө бөлүнүп чыгуучу, жылуулук энергиясын өлчөө үчүн калориметр

Калориметрикалык системанын негизги элементи болуп тыгыз теплоизоляциялык материалдан жасалган теплоизоляциялык корпуска салынган видео бөлүк блоктогу электр тармагынын изилденип жаткан элементинин физикалык модели эсептелет.

ТИМ менен блоктун ортосу диэлектрдик суюктук менен толтурулат. Температураны өлчөө калориметрдин ар түрдүү точкаларына орнотулган термопарлар менен жүргүзүлөт. Мааниси – чыңалуу термопардан АЦПга тңшөт ана макулдашуу түзүлүшү аркылуу санариптик индикаторго.



9-сүр. 1-таажылык зымдан жоготууларды өлчөө үчүн калориметр

Электр тармактар элементинин физикалык моделиндегиэлектр энергиянын жоготууларын өлчөөчү диссертацияда сунушталган калориметрикалык ыкманын ишке жөндөмдүүлүгүн сыноо үчүн колдонуудагы, лабораториялык түзүлүштөгү макет даярдалган (9-сүр.).

Эксперименталдык түзүлүштүн жана эксперименттин жүрүштүн баяндалышы.

Таажылык зымдан кеткен жоготууларды жана болжолдуу диэлектрдик жоготууларды өлчөө үчүн 9-сүр. берилген ЭТ чогултулган.

9-сүр.: 1-таажылык зымдын физикалык модели; 2-сырткы электрод; 3-айнек колба; 4-дистиллирленген суу; 5-калориметр; 6-вакуумдук термоизоляциясы менен айнек колба; 7-сыналуучу трансформатор; 8-лабораториялык автотрансформатор; 9-чыңалуу өлчөгүчү; 10-аргон менен толтурулган айне түтүкчө; 11-айнек түтүкчөгө отургузулган спирал түрүндөгү электрод; 12,13-жылмаланган түтүктүү электроддор; 14-таажылык көлөмдө керектүү атмосфералык басымды түзүүчү түзүлүш.

Калориметриялык системанын негизги элементи болуп зымдын физикалык элементи болуп саналат.

Температураны өлчөө ар кайсы точкаларга орнотулган калориметр термо буулар менен ( ) жүргүзүлөт.

Бириктиргич зымдын диаметри, эксперимент жүргүзүү процессинде бириктиргич зымдын айлануусундагы электр талаанын чыңалуусу азыраак болуусу менен тандалган анын жардамы менен чыңалуу 1 сыналуучу элементке берилет. 1-зымдын диаметри 1кВдан ашык чыңалууда анын айлануусунда туруктуу таажы болуусу менен тандалган.

13-электроддун айлануусунда таажылык күйгүзүүдө 1с зымдын чыңалуусун өлчөө ыкмасы сунушталган (9-сүр). бул ыкма, 12,13чү электроддордун ортосунан жана зымдын чыңалуу өлчөмүнөн өткөн 1: I токтун өлчөмүнүн функционалдык көз карандылыгын колдонууга негинделген.

Микроамперметр менен өлчөп (рис.9) токтун мааниси, туюнтмадан (5) зымын белгилейбиз.

Көз карандылыгын аныктоо үчүн (5) 10-сүр. көрсөтүлгөн схема колдонулган

Таажылык разряд электроддо экендиги аныкталды, аны менен таажынын тогу дагы зымдагы чыңалууга жана башка көптөгөн факторлорго көз каранды, мисалы: - “электроддун айлануу абалы”, - “талаа геометриясы”, - “табигый газ”, - “газдын тыгыздыгы”, - “газдын нымдуулугу”:

.

Рис.10. Схема для установления зависимости значения измеренного микроамперметром μA постоянного тока короны от величины переменного напряжения u_3, приложенного между электродами 2 и 1 с момента возникновения коронного разряда на электроде 2 ; T_1– лабораторный автотрансформатор; T_2– испытательный трансформатор; R_3 – защитное сопротивление; 1– упругая пружина в виде металлической ленты из нержавеющей стали; 3– стеклянная трубка с электродами 2, заполненная газом

I бир маанилүү көз карандылыгын аныктоо үчүн электроддун чыңалуусунан тышкары U – таасир этүүчү ,
кроме напряжения электрода. Ал үчүн 12чи жана 13чү электроддор (9-сүр.) кылдаттык менен тазаланып, жылмалангандан кийин атмосфера менен бир басымдуу газ (аргон) менен толтурулган 10 айнек түтүкчөгө салынган. Түтүкчөнү сырткы атмосфера менен байланыштырбоо үчүн толугу менен ширетилген.

Жыйынтыгында, жогорку вольттуу аба чубалгыларынын таажысынан кеткен жоготууларга таасир этүүчү факторлор такталды.

Жыйынтыктар

Автор тарабынан жүргүзүлгөн изилдөөлөрдүн жүрүшүндө төмөнкү илимий жана практикалык маселелер чечилди:

1. электр энергиянын чектеш чубалгыларына өз-ара электромагниттик таасирди моделдештирүү үчүн математикалык модель иштелип чыкты. Эки чынжырлуу чубалгынын математикалык моделиөзгөрүлмө абалдагы ыкмадан алынды.

2. моделдештирүү жолу менен кубаттуулуктун жүктөмдүү жоготуусуна таасир этүүчү кошумча факторлордун таасирин тактоого мүмкүндүк бере турган виртуалдык аспапты иштеп чыгуу боюнча алдыга коюлган маселе LABVIEW негизинде чечилди. Виртуалдык аспапты сыноо берилген тапшырманы так чечүүдө өзүнүн иштөө жөндөмдүүлүгүн тастыктады.

3. иштеп жаткан тармактардагы жүктөмдүү жоготууларды өлчөө тиешелүү аспапатар колдо бар учурда дагы илимий изилдөөнү жүргүзүүгө мүмкүндүк бербейт. Ошондуктан мындай маселени чечүү үчүн диссертацияда электр тармактар элеметтериндеги физикалык моделдердеги жүктөмдүү жоготууларды өлчөөчү жаңы ыкмада негизделген эксперименталдык орнотмо иштелип чыккан.

4. акыркы публикациялардын анализинин жыйынтыктары боюнча таажыдагы жоготууну эсептөөнүн жалпы кабыл алынган методикасы таажыдагы кубаттуулуктун салыштырмалуу жоготуусу, ошондой эле жылдык жоготуулар катары төмөнкү маанини билдирет. Мындай дал келбестиктин божомолдуу себептери төртүнчү главада берилген.

ЖАРЫЯЛАНГАН ИШТЕРДИН ТИЗМЕСИ

1. **Айдарова А.Р.** бөлүштүргүч параметрлери менен чынжырдагы өтмө процесстердин параметрлерин диагностоо мүмкүнчүлүктөрүн изилдөө [Текст] / С.М. Асанова, К.А. Сатаркулов // Известия КМТУ.- Бишкек, 2012- №27. – с. 65-71.
2. **Айдарова А.Р.** 6-35 кВ АЧ зымдарынын үзүлүшүн дистанциялык диагностоо системасын моделдештирүү үчүн Петринин эсептөөчү тармагы [Текст] / С.М. Асанова, Р. А. Мырзаканова // Илим жана жаңы технологиялар. – Бишкек, 2013- №4 – с. 86-93.
3. **Айдарова А.Р.** 6-35 кВ АЧ зымдарынын үзүлүшүн дистанциялык диагностоо системасын долбоорлоо жана моделдештирүү [Текст] / С.М. Асанова, У. А. Калматова // илим жана жаңы технологиялар. – Бишкек, 2013- №4 – с. 93-100.
4. **Айдарова А.Р.** электр тармактарындагы процесстерди изилдөө үчүн АСНИ элементтери менен эксперименталдык орнотмону иштеп чыгуу [Текст] / Р.Б. Куржунбаева // Известия КР УИА. – Бишкек, 2013- №1- с. 21-25.
5. **Айдарова А.Р.** электрэнергетиканын колдонмо маселелерин чечүүдө компьютердик моделдештирүү [Текст] / А.Р. Айдарова//Известия ЖОЖдор.- Бишкек,2014- №1 – с. 31-36.
6. **Айдарова А.Р.** электр тармактарындагы жоготууларга стохастикалык факторлордун таасирин изилдөө үчүн компьютердик модели[Текст] / А.Р. Айдарова // издөө: эл-арал. илим. журн.- РК, Алмата, 2014 - №2- с. 71-77.
7. **Айдарова А.Р.** электр тармактарындагы жоготуулардын кошумча себептерин үйрөнүү үчүн компьютердик моделдештирүү [Текст] / А.Р. Айдарова // Известия КМТУ.- Бишкек, 2014- № 32 (I)- с. 323-327.
8. **Айдарова А.Р.** электр энергиянын аба чубалгыларындагы кубаттуулуктун жоготууларына таасир берүүчү факторлорду тактоо суроолорго [Текст] / А.Р. Айдарова // Известия КМТУ.- Бишкек, 2015 - №35 (II)- с. 188-194.
9. **Айдарова А.Р.** электр тармактар элементтериндеги электр энергиянын жүктөмдүү жоготууларынын көлөмүнө таасир берүүчү ар кандай факторлорду изилдөө [Текст] / Ж.Д. Байбагысова, Г.К. Усубалиева // автоматика жана башкаруу көйгөйлөрү: илим.-техн. журн. КР УИА.- Бишкек: ИАИТ, 2015. – с. 61-67.
10. **Айдарова А.Р**. LabVIEW колдонуу менен электр тармактар элементтериндеги жоготууларды изилдөөдө моделдештирүү маселелерин чечүү [Текст] / Ж.Д. Байбагысова, А. Кадиева // автоматика жана башкаруу көйгөйлөрү: илим.-техн. журн. КР УИА.- Бишкек: ИАИТ, 2015. – с. 67-71.
11. **Айдарова А.Р.** жаңы типтеги өлчөөчү трансформаторду колдонуу менен электр тармактагы режим параметрлерин көзөмөлдөө [Текст] / Ж.С. Абылгазиев// илимий альманах – Россия, Тамбов, 2015.- №9 (11). – с. 666-670. РИНЦ

12. **Айдарова А.Р.** чектеш электр энергия чубалгыларына электромагниттик таасирин моделдөө [Текст] / Ж.С. Абылгазиев, С.М. Асанова // Табигый жана техникалык илимдер: Apriori – Россия, Краснодар, 2015-ж. - №5. РИНЦ.

13. Жөнгө салуучу көп функцианалдуу өлчөөчү трансформатор [Текст] / Т.К. Сатаркулов, Ж.С. Иманакунова, А.Р. Айдарова ж.б. // КР Өкмөтүнүн алдындагы интеллектуалдык менчик жана инновациялардын мамлекеттик кызматы (Кыргызпатент).- 30.09.2015ж. № 1791

14. Бөлүштүргүч тармактардагы жоготууларды изилдөө үчүн АСНИ элементтери менен эксперименталдык орномолуу башкаруучу программа [Текст] / Р.Б. Куржумбаева, А.Р. Айдарова, А.А. Хакам// КР Мамлекеттик патент кызматы. – 20.02.13ж. ЭЭМ үчүн программага № 265 күбөлүк

.

Айдарова Айгерим Рашидовнанын 05.14.02 – электр станциялары жана электр энергетикалык системалар адистиги боюнча техника илимдеринин кандидаты илимий даражасы үчүн “Аба чубалгылардагы кошумча жоготууларды компьютердик моделдештирүү жана анализдөө” атуу темадагы изилдөөчүлүк диссертациясынын
РЕЗЮМЕСИ

Негизги сөздөр: электр энергиянын жоготуулары, тажыдагы жоготуулар, электр энергиянын жоготууларын өлчөө, LabVIEW, компьютердик моделдештирүү, өзгөрүлмө абалдын ыкмасы, токтун жана чыңалуунун стохастикалык курамы, чыңалууну өлчөө, тажынын пайда болушу.

Диссертациялык иштин максаты – электр энергиянын аба чубалгыларындагы кошумча жоготууларга баа берүү жана анализдөө, алардын ичиндеги процесстерди компьютердик моделдештирүүнүн негизинде аныктоо. Электрдик тармактарынын физикалык элементтер моделинин негизинде электр энергиянын жоготууларын өлчөөчү жаңы ыкма иштеп чыгуу. Тоолуу аймак шарттарындагы электр энергия берүүчү аба чубалгыларындагытажыдагы жоготууларга таасир этүүчү факторлорду тактоо.

Алынган жыйынтыктар: абалы жөнүндө маалымат алып жүрүүчү өтмө процесстин параметрлерин аныктоо максатында электрдик процесстерди моделдештирүүгө мүмкүнчүлүк түзгөн эки чынжырлуу чубалгынын жалпыланган математикалык модели иштелип чыкты; аба электр энергия берүү чубалгыларындагы кубаттуулуктун жана электр энергиянын жоготууларына таасир эткен ар түрдүү факторлорду изилдөөгө багытталган LabVIEW негизинде көп аракеттүү шарттуу аспап иштелип чыкты; ИИАС (АСНИ) элементтери менен эксперименталдык түзүлүш жана электр тармактарынын элементтеринде электр энергиянын жоготууларын өлчөөчү жаңы ыкма иштелип чыкты; бийик тоолуу аймактагы шартта жогорку вольттогу аба электр энергия берүү чубалгыларынын таажысындагы жоготууларды баалоодо эске ала турган факторлор такталды; тажыны жандыруучу көбүрөөк чыңалуу маанисиндеги чыңалууну өлчөөчү ыкма сунушталды; жөнгө салуучу трансформатордук токтун конструкциясы иштелип чыккан жана патенттелген.

РЕЗЮМЕ

диссертации Айдаровой Айгерим Рашидовны на тему:
«Компьютерное моделирование и анализ добавочных потерь электроэнергии в воздушной линии электропередачи»
на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.14.02 - электростанции и электроэнергетические системы

Ключевые слова: потери электроэнергии, потери на корону, измерение потерь электроэнергии, LabVIEW, компьютерное моделирование, стохастическая составляющая тока и напряжения, измерение напряжения появления короны.

Цель работы – оценка и анализ дополнительных потерь в воздушных линиях электропередачи на основе компьютерного моделирования. Разработка нового способа измерения потерь электроэнергии на основе физической модели элементов электрической сети, предназначенного для проведения научных экспериментов. Уточнение факторов, влияющих на потери от короны в воздушных линиях электропередачи в условиях высокогорья.

Полученные результаты: на основе метода переменных состояния разработана компьютерная модель воздушной линии с учетом локальной неоднородности. Предложена математическая модель двух пространственно протяженных гальванически несвязанных токопроводящих элементов электросетей для исследования влияния локальных неоднородностей параметров линий на их электромагнитные взаимодействия; разработан многофункциональный виртуальный прибор на основе LabVIEW, предназначенный для исследования влияния различных факторов на потери мощности и электроэнергии в воздушных ЛЭП; разработаны экспериментальная установка с элементами АСНИ и новый способ измерения потерь электроэнергии на физических моделях элементов электрической сети, предназначенные для проведения измерений исследовательского характера; уточнены факторы, которые необходимо учитывать при оценке потерь на корону в высоковольтных воздушных ЛЭП, в условиях высокогорья; предложен способ измерения напряжения, значение которого больше напряжения зажигания короны.

Разработана и запатентована конструкция регулируемого трансформатора тока.

SUMMARY

Of the dissertation by Aidarova Aigerim Rashidovna on the topic
COMPUTER MODELLING AND ANALYSIS OF ADDITIONAL ELECTRIC ENERGY LOSSES IN AN OVERHEAD ELECTRIC POWER LINE
For the academic degree of Candidate of Technical Sciences,
major: 05.14.02 – Power Plants and Power Systems

Key words: electric power losses, corona losses, power losses measurement, LabVIEW, computer modelling, method of state variables, stochastic component of the current and voltage, voltage measurement of starting corona.

Thesis objective: evaluation and analysis of additional losses in overhead power lines and their diagnosis by computer modelling of the processes in them. Development of new way of measurement of power network based on physical model of elements of power network. Clarification of factors influencing losses from corona in overhead power lines under highland conditions.

Obtained results: generalized mathematical model of the double-circuit line that enables to simulate the electrical processes in them aimed at determining the parameters transition process carrying information about its condition is developed; multifunctional virtual apparatus based LabVIEW designed to investigate various factors on power losses in overhead power lines is developed, experimental apparatus with ARS elements and a new way of measuring the electricity losses in the elements of power network are developed, factors that are to be considered when assessing the corona losses in high-voltage overhead power lines under highland conditions are clarified, new way of voltage measuring values of which are more than corona starting voltage is represented; design of adjustable current transformer is developed and patented.