

ХАРКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
МІСЬКОГО ГОСПОДАРСТВА ІМЕНІ О.М. БЕКЕТОВА
МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
«ХАРКІВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ»
МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

Кваліфікаційна наукова
праця на правах рукопису

Ягуп Катерина Валеріївна

УДК 621.314:621.316

ДИСЕРТАЦІЯ

ПОКРАЩАННЯ ЕНЕРГЕТИЧНИХ ПОКАЗНИКІВ ЕЛЕКТРОТЕХНІЧНИХ СИСТЕМ ІЗ ЗАСТОСУВАННЯМ ПОШУКОВОЇ ОПТИМІЗАЦІЇ НА КОМП'ЮТЕРНИХ МОДЕЛЯХ

Спеціальність 05.09.03 – електротехнічні комплекси та системи

14 – електрична інженерія

Подається на здобуття наукового ступеня доктора технічних наук

Дисертація містить результати власних досліджень. Використання ідей, результатів і текстів інших авторів мають посилання на відповідне джерело



К. В. Ягуп

Наукові консультанти:
доктор технічних наук, професор
Харченко Віктор Федорович,
доктор технічних наук, професор
Щербак Яків Васильович

Харків – 2017

АНОТАЦІЯ

Ягуп К.В. Покращання енергетичних показників електротехнічних систем із застосуванням пошукової оптимізації на комп'ютерних моделях. - Кваліфікаційна наукова праця на правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня доктора технічних наук за спеціальністю 05.09.03 «Електротехнічні комплекси та системи» - Харківський національний університет міського господарства імені О. М. Бекетова МОН України, Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут» МОН України, Харків, 2017

Дисертація присвячена розробці і дослідженню методів оптимізації режимів систем електропостачання електротехнічних комплексів і систем з несиметричними і нелінійними навантаженнями з метою підвищення енергетичних показників і розрахунку параметрів симетро-компенсуючих пристроїв, що забезпечують оптимальні режими, за допомогою математичних і комп'ютерних моделей та застосуванням пошукової оптимізації, реалізованої з використанням сучасних програмних засобів комп'ютерної математики.

В роботі дана постановка завдання на основі аналізу сучасного стану питання. Обґрунтовані необхідність і можливість застосування комп'ютерних засобів для вирішення поставлених завдань. Розроблені узагальнені алгоритми реалізації пошукової оптимізації з використанням сучасних комп'ютерних програмних пакетів. Показані можливості застосування різних критеріїв оптимізації для вирішення задач підвищення енергетичних показників систем електропостачання з несиметричними і нелінійними навантаженнями. Виявлені властивості системи пошукової оптимізації здійснювати витіснення невідповідного елемента синтезованого пристрою, а також можливість звільнення змінних оптимізації шляхом збільшення їх кількості, що дозволяє обійтися знаходженням локального мінімуму з наступним перерахунком параметрів, відповідних глобальному мінімуму. Розроблений метод пошукової оптимізації з використанням моделей систем електропостачання успішно застосований для оптимізації режимів і синтезу симетро-компенсуючих пристроїв в трифазних трипровідних і чотирипровідних системах електропостачання.

Реалізовані процеси пошукової оптимізації з використанням різних критеріїв, зокрема, коли цільова функція формується із значень реактивної потужності джерел живлення, з симетричних складових для несиметричного режиму, в тому числі з використанням фільтрів симетричних складових. У всіх випадках для формування цільової функції використовується кульова метрика, в тому числі і для випадків багатокритеріальної оптимізації, коли складові узагальненого критерію мають різну розмірність і різні за порядком величини. Побудовані поверхні і лінії рівного рівня, які дозволяють наочно бачити характер поведінки оптимізаційного процесу, що свідчить про можливість виникнення ситуацій ярів в топології поверхонь оптимізації. Розглянуті можливості застосування засобів оптимізації програмних пакетів MathCAD та MATLAB, зокрема, з використанням таких методів нульового порядку, що не вимагають обчислення похідних, такі як метод деформованого багатогранника й метод сполучених градієнтів. Запропоновано алгоритм еквівалентування навантаження, за допомогою якого виділяються симетрична і несиметрична частини навантаження. Після цього параметри симетруючого пристрою досить точно визначаються за допомогою формул Штейнметца і Кеннелі. Запропоновано метод обертання параметрів елементів симетро-компенсуючого пристрою, що дозволяє змінювати ці параметри зі збереженням симетрії і таким чином досягати режим повної компенсації реактивної потужності. Показано застосування критерію вирівнювання живильних струмів, що дозволяє симетрувати систему, а далі за допомогою обертання параметрів вийти на оптимальний режим. Для чотирипровідних систем в зв'язку з неоднозначністю вирішення показано застосування властивості процесу пошукової оптимізації витіснити невідповідний по типу елемент, а також застосування запропонованого методу звільнення параметрів. Зокрема, запропоновано використання узагальненого реактивного елемента в симетро-компенсуючому пристрої, завдяки чому прискорюється процес досягнення оптимального рішення на локальному мінімумі з подальшим відносно простим перерахуванням для знаходження мінімальної кількості реактивних елементів в симетро-компенсуючому пристрої. Розроблено метод визначення оптимального режиму, що базується на декомпозиції системи електропостачання,

який дозволяє визначити режимні параметри системи електропостачання без підключення симетро-компенсуючого пристрою. Такий підхід дозволяє поліпшити збіжність процесів рішення і прискорити отримання параметрів оптимального режиму і синтезу симетро-компенсуючого пристрою. За допомогою запропонованого методу були отримані всі шість варіантів п'ятиелементного симетро-компенсуючого пристрою для трифазної чотирипровідної несиметричної системи.

Розглянуті системи електропостачання, що містять взаємно-пов'язані індуктивні елементи. Для цього випадку розроблена програма, що дозволяє за паспортними даними трансформатора отримати параметри їх моделей в SimPowerSystem, в тому числі у вигляді магнітнозв'язаних котушок індуктивностей. Проаналізовані системи, в яких компенсуючі конденсатори підключаються через трансформатор на його низькому боці. Розглянуто розрахунок симетро-компенсуючого пристрою для тягової системи залізничного електропостачання змінного струму. Це дозволяє компенсувати реактивну потужність в системі і виключити несиметричні режими роботи тягового трансформатора. Побудовані графіки, що дозволяють досить точно визначати параметри симетро-компенсуючих пристроїв для змінного навантаження і одночасного навантаження на двох фідерах, що живляться від одного тягового трансформатора. Проаналізована схема симетрування однофазного навантаження сільськогосподарського призначення, яка використовує в якості одного з елементів вільну вторинну обмотку трифазного трансформатора. Ці дослідження показали, що симетрування такої системи може бути здійснено в обмеженому діапазоні навантажень, і при цьому не досягається повна компенсація реактивної потужності. Досліджена також чотирипровідна система з нейтралером, за допомогою пошукової оптимізації визначені параметри симетро-компенсуючого пристрою, що дозволяють зрівноважити і симетрувати таку систему.

Для знаходження оптимальних режимів систем з дуговим розрядом розроблені візуальні моделі, які адаптовані для використання їх спільно з елементами бібліотеки SimPowerSystem. За допомогою цих моделей досліджені можливості підвищення енергетичних показників систем електроживлення дугових розрядів, в

тому числі, освітлювальних приладів високого тиску. Показано, що оптимізація тільки коефіцієнта зсуву, розрахована за допомогою запропонованих методів, призводить до зниження споживаного по основній гармоніці струму в 1,5 – 2 рази, що істотно знижує втрати в лініях електропередачі. Показані можливості оптимізації режиму в системі живлення асинхронних двигунів, в тому числі при несиметрії живильної мережі. Компенсація реактивної потужності дозволяє в 1,5 – 1,8 рази зменшити споживані струми і підвищити коефіцієнт корисної дії системи.

Розроблені методи і алгоритми знайшли ефективне застосування для систем електропостачання, що містять силові напівпровідникові прилади. Тут задача вирішена стосовно до тиристорних компенсаторів реактивної потужності. При цьому в якості змінних оптимізації використані часові параметри керуючих імпульсів тиристорів. Показано, що метод пошукової оптимізації з високою точністю визначає положення керуючих імпульсів, необхідні для підвищення енергетичних показників системи електропостачання. Для тиристорного компенсатора з одноступінчастою комутацією доведена перевага використання симетричного управління, яке істотно поліпшує спектр гармонік живильних струмів. При цьому виключаються неканонічні гармоніки, а канонічні гармоніки, що залишилися, легко можуть бути подавлені резонансними фільтрами. Кардинальне вирішення проблеми спотворених мережевих струмів, обумовлених нелінійними навантаженнями, забезпечується застосуванням силових активних фільтрів. Показано, що метод пошукової оптимізації може бути використаний для знаходження оптимального режиму з максимальним коефіцієнтом потужності без використання традиційних складних систем управління силовими активними фільтрами, в яких здійснюються досить громіздкі математичні перетворення струмів напруг за формулами Кларка. У запропонованому варіанті в якості керуючих впливів використовуються еталонні синусоїдальні сигнали, синхронізовані з фазними напругами живильної системи. Амплітуди цих сигналів приймаються в якості змінних оптимізації, а критерій оптимізації визначається балансом активних потужностей в системі. Показано, що цей баланс характеризується стабілізацією періодичної напруги на накопичувальному конденсаторі кінцевої ємності, що

живить силовий активний фільтр паралельного типу. Такий підхід дозволив розробити оригінальні алгоритми пошукової оптимізації на основі використання дискретних значень напруги конденсатора, віддалених один від одного на величину періоду напруги живлення.

Розглянуто питання синтезу симетро-компенсуючих пристроїв для кількох несиметричних навантажень в паралельному і каскадному включенні. Поставлено завдання визначення параметрів симетро-компенсуючих пристроїв для кожного з навантажень окремо, причому повинен враховуватися внесок в створення несиметрії і генерацію реактивної потужності кожним з підключених навантажень. Це завдання вирішується методом пошукової оптимізації, причому показано, що при формуванні цільової функції повинні враховуватися струми в фідерах, що підводять енергію від точки приєднання навантаження до мережі до загальної точки з'єднання навантаження і симетро-компенсуючого пристрою. Ефективним виявляється застосування розробленого методу декомпозиції, який дозволяє спростити і прискорити визначення оптимального режиму досліджуваної системи з урахуванням вкладу кожного навантаження в зниження енергетичних показників системи в цілому. Проаналізовано також випадок, коли два навантаження, що складаються і несиметричних лінійного і нелінійного навантажень, одночасно підключені до мережі. Оптимізація режиму з підвищенням коефіцієнта потужності в такому випадку досягається застосуванням паралельного силового фільтра з керуванням по запропонованим оптимізаційним алгоритмам.

Розроблені та подані в дисертаційній роботі методи і алгоритми пошукової оптимізації для цілей підвищення енергетичних показників систем електропостачання з несиметричними і нелінійними споживачами відрізняються високою точністю, максимально можливим використанням комп'ютерної техніки, малими витратами комп'ютерного часу і можливістю повної автоматизації проектних і дослідницьких процедур при вирішенні теоретичних і практичних задач, пов'язаних з підвищенням енергетичних показників і якості електроенергії в системах електропостачання.

Ключові слова: електротехнічна система, система електропостачання, несиметрія струмів і напруг, реактивна потужність, симетро-компенсуючий пристрій, силовий активний фільтр, змінні оптимізації, критерій оптимізації, якість електроенергії, енергетичні показники.

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

Основні результати дисертації опубліковані в таких наукових працях:

у виданнях, що індексуються SCOPUS та Web of Science:

1. Ягуп Е. В. Синтез электрической системы во временной области методом поисковой оптимизации / В. Г. Ягуп, Е. В. Ягуп // Технічна електродинаміка. – 2015. – № 2. – С. 24 – 29.
2. Ягуп Е. В. Определение режима компенсации реактивной мощности в четырехпроводной трехфазной системе электроснабжения с помощью поисковой оптимизации / В. Г. Ягуп, Е. В. Ягуп // Технічна електродинаміка. – 2016. – № 1. – С. 60 – 66.
3. Ягуп Е. В. Моделирование системы электроснабжения с активным фильтром, управляемым по оптимизационному алгоритму / Е. В. Ягуп // Восточно-Европейский журнал передовых технологий – 2016. – 1/8(79). – С. 52 – 58.
4. Ягуп Е. В. Расчёт параметров симетро-компенсирующего устройства трёхфазной системы электроснабжения на основе декомпозиции системы / В. Г. Ягуп, Е. В. Ягуп // Технічна електродинаміка. – 2016. – № 6. – С. 20 – 26.
5. Yagup K. V. Symmetrization of Three-Phase System with Negative Component Filter Using Simulation / V. G. Yagup, K. V. Yagup // Науковий Вісник Національного гірничого університету. – Дніпро. - 2017. - №3(159). – С. 89 – 94.
6. Ягуп Е. В. Расчёт параметров симетро-компенсирующих устройств для двух потребителей с учетом вклада каждого из них. / В. Г. Ягуп, Е. В. Ягуп // Технічна електродинаміка. – 2017. – № 4. – С. 22 – 28.
7. Ягуп Е. В. Силовой активный фильтр при работе на несимметричную и нелинейную нагрузки с управлением по оптимизационному алгоритму / Е. В. Ягуп // Електротехніка і електромеханіка – 2017. - №5. – С. 23-26.

у монографіях:

8. Ягуп Е. В. Компьютерное моделирование переходных и установившихся процессов в преобразователях электрической энергии / В. Г. Ягуп, Е. В. Ягуп // Монография. – Харьков: ХНАГХ, 2013. – 131 с.

9. Ягуп Е. В. Применение оптимизационных методов для решения задач улучшения показателей электрических систем / В. Г. Ягуп, Е. В. Ягуп Монография. – Харьков: ХНУГХ им. А. Н. Бекетова, 2017. – 170 с.

у фахових виданнях:

10. Ягуп Е. В. Компенсация реактивной мощности трехфазного управляемого выпрямителя / В. Г. Ягуп, М. А. Литвин, Д. А. Кузьменко, Е. Я. Ивакина, Е. В. Ягуп // Світлотехніка та електроенергетика: міжнародний науково-технічний журнал. – Харків: ХНАМГ, 2009. – №2 (18). – С. 44 – 49.

11. Ягуп Е. В. Режимы работы низкочастотного корректора коэффициента мощности / Д. А. Луценко, Е. Я. Ивакина, В. Г. Ягуп, Е. В. Ягуп // Світлотехніка та електроенергетика: міжнародний науково-технічний журнал. – Харків: ХНАМГ, 2009. – №1(17). – С. 56 – 60.

12. Ягуп Е. В. Расчет режима компенсации реактивной мощности в несимметричной системе электроснабжения методом поисковой оптимизации / В. Г. Ягуп, Е. В. Ягуп // Наукові праці Донецького національного технічного університету: науково-прикладний журнал. – Серія «Електротехніка і енергетика». – Донецьк, 2011. – Вип. 11 (186). – С. 449 – 454.

13. Ягуп Е. В. Математична модель дугового розряду / В. Г. Ягуп, Е. В. Ягуп // Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства імені Петра Василенка. – Харків: ХНТУСГ, 2012. – Вип. 129: «Проблеми енергозабезпечення та енергозбереження в АПК України». – С. 49 – 50.

14. Ягуп Е. В. Моделирование процессов в системе электропитания дугового разряда через ограничительный реактор / Е. В. Ягуп // Світлотехніка та електроенергетика: міжнародний науково-технічний журнал. – Харків: ХНАМГ, 2012. – №3 (31). – С. 82 – 85.

15. Ягуп Е. В. Исследование поверхностей отклика при оптимизации режима трехфазной системы электроснабжения / Е. В. Ягуп // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. – Харьков, 2012. – №6/8 (60). – С. 56 – 59.

16. Ягуп Е. В. К аналитическому определению емкостей симметрирующих конденсаторов/ В. Г. Ягуп, Е. В. Ягуп // Наукові праці Донецького національного технічного університету. – Серія «Електротехніка і енергетика». – Донецьк, 2013. – № 2 (15). – С.293-296.

17. Ягуп Е. В. Разработка компьютерной модели для разрядной лампы высокого давления / В. Ф. Харченко, В. Г. Ягуп, А. А. Якунин, Е. В. Ягуп // Світлотехніка та електроенергетика: міжнародний науково-технічний журнал. – Харків: ХНАМГ, 2013. – №2 (34). – С. 52 – 57.

18. Ягуп Е. В. SPS-модель дугового разряда для бібліотеки компонентів SIMULINK / В. Г. Ягуп, Е. В. Ягуп // Вісник Харківського національного технічного

університету сільського господарства імені Петра Василенка. – 2013. – Вип. 141. С. 67 – 69.

19. Ягуп Е. В. Моделирование процессов компенсации реактивной мощности в системе электроснабжения асинхронного двигателя / В. Г. Ягуп, Е. В. Ягуп // Вісник нац. техн. ун-ту «Харківський політехнічний інститут». Серія: Проблеми автоматизованого електроприводу. - №36(1009), 2013. – С. 378 – 379.

20. Ягуп К. В. Оптимізація режиму живлення асинхронного двигуна в умовах несиметрії системи електропостачання / В. Г. Ягуп, К. В. Ягуп // Вісник Вінницького політехнічного інституту, 2014, вип.. 1 (112). – С. 74 – 77.

21. Ягуп Е. В. К определению параметров моделей трансформаторов / В. Г. Ягуп, Е. В. Ягуп // Світлотехніка та електроенергетика. – 2014. – № 2. – С. 52 – 64.

22. Ягуп Е. В. Компенсация реактивной мощности в тяговой системе переменного тока / В. Г. Ягуп, Е. В. Ягуп // Електрифікація транспорту. - Дніпропетровськ. – 2014. – №7. – С.60–66.

23. Ягуп Е. В. Расчёт параметров симметрирующего устройства для тяговой подстанции переменного тока на визуальной модели / В. Г. Ягуп, Е. В. Ягуп // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. – 2014. – № 4(8). – С. 23 – 28.

24. Ягуп Е. В. Об уравнивании и компенсации реактивной мощности в несимметричных трехфазных электрических системах с применением поисковой оптимизации / В. Г. Ягуп, Е. В. Ягуп // Комунальне господарство міст. Серія: Енергоефективна техніка та технології в житлово-комунальному господарстві. – Вип. 118(1). – 2014. – С. 179 – 182.

25. Ягуп Е. В. Расчет параметров устройства компенсации реактивной мощности с использованием модели и поисковой оптимизации / Е. В. Ягуп // Збірник наукових праць Української державної академії залізничного транспорту, 2014, вип. 150. – С. 115 –120.

26. Ягуп Е. В. Расчет параметров симметро-компенсирующего устройства методом эквивалентирования нагрузки / В. Г. Ягуп, Е. В. Ягуп // Світлотехніка – 2015. – №1 (41).–С. 23 – 30.

27. Ягуп Е. В. Расчет параметров устройства компенсации реактивной мощности сети электроснабжения с трансформатором на визуальной модели. / Е. В. Ягуп // Збірник наукових праць Української державної академії залізничного транспорту, 2015, вип. 153. – С. 25 –32.

28. Ягуп К. В. Моделювання та оптимізація режиму електричної системи з дуговим розрядом / В. Г. Ягуп, К. В. Ягуп // Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства імені Петра Василенка. – Вип. 164. –Харків: ХНТУСГ, 2015. – С. 127 –130.

29. Ягуп Е. В. Электропитание асинхронного двигателя в системе с силовым активным фильтром, управляемым по оптимизационному алгоритму / В. Г. Ягуп,

Е. В. Ягуп // Вестник Национального технического университета «ХПИ», 2015, Вып. 12 (1121). – С. 453 –457.

30. Ягуп Е. В. Модель активного фильтра для трехфазной электрической системы с несимметричной нагрузкой и управлением по оптимизационному алгоритму/ В. Г. Ягуп, Е. В. Ягуп // Електромеханічні і енергозберігаючі системи. – Кременчук: КрНУ, 2015. –Вип. 3/2015(31). – С.103-109.

31. Ягуп Е. В. Моделирование несимметричной системы электроснабжения с использованием оптимизации для определения параметров симметрирующего устройства / Е. В. Ягуп // Збірник наукових праць Українського державного університету залізничного транспорту. - 2016.– Вип. 161. – С. 130–138.

32. Ягуп Е. В. Оптимизация режима работы трехфазной системы электроснабжения с использованием трансформаторного симметрирующего устройства/ Е. В. Ягуп // Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства імені Петра Василенка–2016.–№175.–С.88 – 90.

33. Ягуп К. В. Уточнений розрахунок параметрів компенсаційно-симетрувального пристрою на основі попереднього аналізу компенсованого режиму/ В. Г. Ягуп, К. В. Ягуп // Вісник Вінницького політехнічного інституту 2016.–№ 3.–С.41–45.

34. Ягуп Е. В. Оптимизация режима несимметричной трехфазной системы с использованием активного фильтра и модифицированного алгоритма управления / Е. В. Ягуп // Вісник НТУ «ХПИ», Серія: Нові рішення в сучасних технологіях. – Харків: НТУ«ХПИ». – 2016. – № 42 (1214). – С. 124 – 128.

35. Ягуп Е. В. Анализ энергетических показателей тягового выпрямителя с широтно-импульсным регулированием. / В. Г. Ягуп, Е. В. Ягуп, Е. Я. Ивакина // Збірник наукових праць Українського державного університету залізничного транспорту. – 2016. Вип. 143. – С. 169 – 176.

36. Ягуп Е. В. Анализ режима системы электроснабжения с силовым активным фильтром по оптимизационному алгоритму / В. Г.Ягуп, Е. В.Ягуп // Електротехніка і електромеханіка.–2016.–Вип.4(2) – С.105–108.

37. Ягуп Е. В. Метод расчета параметров симметрирующего устройства в тяговой системе электроснабжения переменного тока при питании нескольких нагрузок / Е. В. Ягуп // Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті. – 2017. - № 3. – С. 22 - 28.

38. Ягуп Е. В. Силовой активный фильтр со стабилизацией напряжения на накопительном конденсаторе по дискретам с помощью поисковой оптимизации. / Е. В. Ягуп // Вестник Национального технического университета «Харьковский политехнический институт». – 2017. - Вып. 27(1249). – С. 226 - 229.

39. Ягуп Е. В. Расчёт параметров симметрирующего устройства в тяговой системе электроснабжения переменного тока при изменяющейся нагрузке / В. Г. Ягуп,

Е. В. Ягуп // Електрифікація транспорту. - Дніпропетровськ. – 2017. - №13. – С.21–27.

40. Ягуп К. В. Узагальнені методи для оптимізації режимів в трифазних системах з несиметричними та нелінійними навантаженнями / К. В. Ягуп // Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства імені Петра Василенка–2017. – № 186. – С. 213 – 125.

41. Ягуп Е. В. Оптимизация режима трехфазной системы электроснабжения с тиристорным компенсатором с одноступенчатой коммутацией / В. Ф. Харченко, Я. В. Щербак, Е. В. Ягуп // Світлотехніка та електроенергетика: міжнародний науково-технічний журнал. – Харків: ХНАМГ. -2017. – №2 (49). – С. 34 – 40.

Наукові праці, які додатково відображають наукові результати дисертації:

42. Ягуп Е. В. Моделирование систем электроснабжения как средство для расчета оптимальных режимов трехфазных систем / В. Г. Ягуп, Е. В. Ягуп // Сборник трудов конференции Моделирование-2016 SIMULATION-2016 – Киев: Институт проблем моделирования в энергетике им. Г. Е. Пухова НАН Украины, 2016. – С. 255 – 258.

43. Ягуп Е. В. Активный фильтр для трехфазной системы электроснабжения с несимметричной нагрузкой с управлением по оптимизационному алгоритму / В. Г. Ягуп, Е. В. Ягуп // Проблемы энергоресурсозбережения в электротехнических системах. – Вип. 1/2015(3). – Кременчук, 2015. – С. 192 – 194.

44. Ягуп Е. В. Расчет симметрирующего устройства трехфазной системы путём оптимизации по критерию выравнивания питающих токов / В. Г. Ягуп, Е. В. Ягуп // Завалишинские чтения 16, – Санкт-Петербург, ГУАП, 2016. – С. 302 –306.

45. Ягуп Е. В. Using generalized method for solving the problem determining mode of reactive power compensation / В. Г. Ягуп, Е. В. Ягуп // Праці Міжнародної наукової конференції “UNITEX’15” –Габрово, 2015. – Р. 98 –102.

46. Спосіб управління силовим активним фільтром у складі інтелектуальної електричної системи: пат. № 122457 Україна, МПК H02J 3/18, H02J 3/26, H02J 3/32 / Ягуп В. Г., Ягуп Е. В.; Заявник та власник патенту Харк. нац. ун-т. міськ. госп-ва імені О.М.Бекетова. – № u2017707318; завл. 11.07.2017; опубл. 10.01.2018. Бюл. №1/2018.

ABSTRACT

Yagup K.V. Enhancement of power indices of electrical engineering systems with the use of search optimization on computer models. - Qualification research work as a manuscript.

Thesis for a Doctor of Technical Sciences degree by specialty 05.09.03 "Electrotechnical complexes and systems" Kharkiv National University of Municipal Economy named after O.M.Beketov Ministry of Education and Science of Ukraine, National Technical University "Kharkiv Polytechnic Institute" Ministry of Education and Science of Ukraine, Kharkiv, 2017.

The thesis is devoted to the development and research of methods for optimizing the modes of power supply systems for electrotechnical complexes and systems with asymmetric and nonlinear loads in order to increase energy parameters and calculate the parameters of symmetric-compensating devices that provide optimal modes by means of mathematical and computer models and using search optimization implemented using modern software of computer mathematics.

The task is formulated on the basis of an analysis of the current state of the problem. The necessity and possibility of the use of computer tools for the solution of the assigned tasks is grounded. Generalized algorithms for implementing search optimization using modern computer software packages have been developed. The possibilities of applying various optimization criteria for solving the problems of increasing the power indicators of power supply systems with asymmetrical and non-linear loads are shown. The properties of the search engine optimization system have been found to eliminate the inappropriate element of the synthesized device, as well as the possibility of releasing variable optimization by increasing its amount, which allows to find the local minimum and then recalculate the parameters corresponding to the global minimum. The developed method of search optimization using models of power supply systems has been successfully applied to optimize the modes and synthesis of symmetric-compensating devices in three-phase three-wire and four-wire systems.

The processes of search optimization using various criteria are implemented, in particular, when the objective function is formed from the values of the reactive power of the power sources, from symmetric components for the asymmetric mode, including using symmetric component filters. In all cases, a spherical metric is used to form the objective function, including for cases of multicriteria optimization, when the components of the generalized criterion have different dimensions and differ in order of magnitude. Are constructed surfaces and lines of equal level, which allow to visually see the nature of the behavior of the optimization process and indicates the possibility of occurrence of gully situations in the topology of optimization surfaces. The possibilities of using the optimization tools for MathCAD and Matlab software packages are considered, in particular, using zero-order methods that do not require the calculation of derivatives, such as the deformed polyhedron method and the conjugate gradient method. The algorithm of load equivalence is proposed, with the help of which the symmetrical and asymmetric parts of the load are allocated. After this, the parameters of the balancing device are determined with sufficient accuracy by means of the Steinmetz and Kennely formulas. A method for rotating the parameters of a symmetric-compensating device is proposed that allows one to vary the parameters with conservation of symmetry and to achieve a mode of full reactive power compensation. The application of the criterion for equalizing the supply currents is shown, which makes it possible to symmetrize the system and then go on to the optimal mode by rotating the parameters. For four-wire systems, due to the ambiguity of the solution, the application of the property of the search optimization process is shown to displace an element that is inconsistent with the type, and also the application of the proposed method of parameter releasing. In particular, the use of a generalized reactive element in a symmetric-compensating device is proposed, thereby accelerating the process of achieving an optimal solution at a local minimum, followed by a relatively simple recalculation to find the minimum number of reactive elements in a symmetric-compensating device. A method for determining the optimum mode based on the decomposition of the power supply system has been developed, which makes it possible to determine the regime parameters of the power supply system without connecting a symmetrical-compensating device. Such an approach makes it possible to

improve the convergence of the solution processes and to accelerate the obtaining of parameters of the optimal regime and the synthesis of a symmetric-compensating device. Using the proposed method, all six variants of a five-element symmetric-compensating device for a four-wire three-phase asymmetric system were obtained.

Power supply systems containing mutually-coupled inductive elements are considered. For this case, a program has been developed that allows the parameters of their models in the SimPowerSystem to be obtained from the transformer's passport data, including in the form of coupled inductance coils. System is analyzed in which compensating capacitors are connected through a transformer on its low side. The calculation of the symmetric-compensating device for the traction system of railway electric power supply of alternating current is considered. This makes it possible to compensate for the reactive power in the system and to eliminate the asymmetric modes of operation of the traction transformer. The graphs are constructed that allow to determinate the parameters of symmetric-compensating devices with sufficient accuracy for variable load and simultaneous loading on two feeders fed from one traction transformer. The scheme of balancing of single-phase load of agricultural purpose is analyzed, which uses as a one of the elements a free secondary winding of a three-phase transformer. These studies have shown that balancing of such a system can be carried out in a limited range of loads, and full compensation of reactive power is not achieved. A four-wire system with a neutralizer is also investigated, with the help of search optimization, the parameters of a symmetric-compensating device are determined that allow counterbalancing and balancing such a system.

To find the optimal modes of systems with an arc discharge, visual models have been developed that are adapted for use with the SimPowerSystem library elements. With the help of these models, the possibilities of increasing the power indices of arc discharge power supply systems, including high-pressure lighting devices, are investigated. It is shown that the optimization of the shift coefficient alone, calculated with the help of the proposed methods, leads to a 1.5-2 times decrease in the current consumed by the fundamental harmonic, which substantially reduces the losses in the transmission lines. The possibilities of optimization of the regime in the power system of asynchronous

motors, including the asymmetry of the supply network, are shown. Compensation of reactive power allows here to reduce the consumed currents by 1.5-1.8 times and increase the efficiency of the system.

The developed methods and algorithms have found an effective application for power supply systems containing power semiconductor devices. Here the problem is solved with reference to thyristor reactive power compensators. In this case, the timing parameters of the control pulses for thyristors are used as optimization variables. It is shown that the method of search optimization with high accuracy determines the positions of control impulses necessary to improve the energy performance of the power supply system. For a thyristor compensator with a single-step commutation, the advantage of symmetrical control, which substantially improves the harmonic spectrum of the supply currents, is proved. In this case, non-canonical harmonics are eliminated, and the remaining canonical harmonics can easily be suppressed by resonant filters. A cardinal solution to the problem of distorted network currents caused by non-linear loads is provided by the use of power active filters. It is shown that the method of search optimization can be used to find the optimal mode with the maximum power factor without using the traditional complex control systems for power active filters, in which the cumbersome mathematical transformations of the voltage currents are carried out according to Clark's formulas. In the proposed variant, benchmark sinusoidal signals synchronized with the phase voltages of the supply system are used as control actions. The amplitudes of these signals are accepted as optimization variables, and the optimization criterion is determined by the balance of active capacities in the system. It is shown that such balance is characterized by the stabilization of the periodic voltage on a storage capacitor of finite capacity feeding a power active filter of a parallel type. This approach allowed the development of original algorithms for search optimization based on the use of discrete values of the capacitor voltage, spaced apart by the amount of the supply voltage period.

The problems of synthesis of symmetric-compensating devices for several asymmetrical loads in parallel and cascade connection are considered. The task is to determine the parameters of the symmetric-compensating devices for each of the loads separately, and the contribution to the creation of asymmetry and the generation of

reactive power of each connected load must be taken into account. This problem is solved by the method of search optimization, and it is shown that, in forming the objective function, currents in the feeders, supplying energy from the point of connection of the load to the network to the common point of connection of the load and the symmetric-compensating device. It is effective to use the developed decomposition method, which makes it possible to simplify and accelerate the determination of the optimal regime of the system under study, taking into account the contribution of each load to the reduction of the energy parameters of the system as a whole. The case is also analyzed when two loads consisting of both unbalanced linear and nonlinear loads are simultaneously connected to the network. Optimization of the regime with increasing power factor is achieved by using a parallel power filter with control over the proposed optimization algorithm.

Methods and algorithms of search optimization developed for the purposes of increasing the energy indicators of power supply systems with asymmetric and nonlinear consumers developed and presented in the thesis work are characterized by high accuracy, the maximum possible use of computer technology, low computer time and the possibility of complete automation of design and research procedures in solving theoretical and practical tasks related to increasing energy indices and quality of electricity roenergii in power supply systems.

Key words: electrotechnical system, power supply system, asymmetry of currents and voltages, reactive power, symmetric-compensating device, power active filter, optimization variables, optimization criterion, power quality, energy indices.

LIST OF PUBLISHER PUBLICATIONS

1. YAgup E. V. Sintez ehlektricheskoy sistemy vo vremennoy oblasti metodom poiskovoy optimizatsii / V. G. YAgup, E. V. YAgup // Tekhnichna elektrodinamika.– 2015.– № 2. – S. 24 – 29.
2. YAgup E. V. Opredelenie rezhima kompensatsii reaktivnoy moshchnosti v chetyrekhprovodnoy trekhfaznoy sisteme ehlektrosnabzheniya s pomoshch'yu poiskovoy optimizatsii / V. G. YAgup, E. V. YAgup // Tekhnichna elektrodinamika. – 2016. – № 1. – S. 60 – 66.

3. YAgup E. V. Modelirovanie sistemy ehlektrosnabzheniya s aktivnym fil'trom, upravlyaemym po optimizacionnomu algoritmu / E. V. YAgup // Vostochno-Evropejskij zhurnal peredovyh tekhnologij – 2016. –1/8(79).– S. 52 –58.
4. YAgup E. V. Raschyot parametrov simmetro-kompensiruyushchego ustrojstva tryohfaznoj sistemy ehlektrosnabzheniya na osnove dekompozicii sistemy / V. G. YAgup, E. V. YAgup // Tekhnichna elektrodinamika. – 2016. – № 6. – S. 20 – 26.
5. Yagup K. V. Symmetrization of Three-Phase System with Negative Component Filter Using Simulation / V. G. Yagup, K. V. Yagup // Naukovij Visnik Nacional'nogo girnichogo universitetu. – Dnipro. 2017. №3(159). – S. 89 – 94.
6. YAgup E. V. Raschyot parametrov simmetro-kompensiruyushchih ustrojstv dlya dvuh potrebitelej s uchetom vklada kazhdogo iz nih. / V. G. YAgup, E. V. YAgup // Tekhnichna elektrodinamika. – 2017. – № 4. – S. 22 – 28.
7. YAgup E. V. Silovoj aktivnyj fil'tr pri rabote na nesimmetrichnuyu i nelinejnyu nagruzku s upravleniem po optimizacionnomu algoritmu / E. V. YAgup // Elektrotehnika i elektromekhanika – 2017. №5. – S. 23-26.
8. YAgup E. V. Komp'yuternoe modelirovanie perekhodnyh i ustanovivshisya processov v preobrazovatelyah ehlektricheskoy ehnergii / V. G. YAgup, E. V. YAgup // Monografiya. – Har'kov: HNAGH, 2013. – 131 s.
9. YAgup E. V. Primenenie optimizacionnyh metodov dlya resheniya zadach uluchsheniya pokazatelej ehlektricheskikh sistem / V. G. YAgup, E. V. YAgup Monografiya. – Har'kov: HNUGH im. A. N. Beketova, 2017. – 170 s.
10. YAgup E. V. Kompensaciya reaktivnoj moshchnosti trekhfaznogo upravlyaemogo vypryamitelya / V. G. YAgup, M. A. Litvin, D. A. Kuz'menko, E. YA. Ivakina, E. V. YAgup // Svitlotekhnika ta elektroenergetika: mizhnarodnij naukovo-tekhnichnij zhurnal. – Harkiv: HNAMEG, 2009. – №2 (18). – S. 44 – 49.
11. YAgup E. V. Rezhimy raboty nizkochastotnogo korrektora koehfficienta moshchnosti / D. A. Lucenko, E. YA. Ivakina, V. G. YAgup, E. V. YAgup // Svitlotekhnika ta elektroenergetika: mizhnarodnij naukovo-tekhnichnij zhurnal. – Harkiv: HNAMEG, 2009. – №1(17). – S. 56 – 60.
12. YAgup E. V. Raschet rezhima kompensacii reaktivnoj moshchnosti v nesimmetrichnoj sisteme ehlektrosnabzheniya metodom poiskovoj optimizacii / V. G. YAgup, E. V. YAgup // Naukovi praci Donec'kogo nacional'nogo tekhnichnogo universitetu: naukovo- prikladnij zhurnal. – Seriya «Elektrotehnika i energetika». – Donec'k, 2011.– Vip. 11 (186). – S. 449 – 454.
13. YAgup E. V. Matematichna model' dugovogo rozryadu / V. G. YAgup, E. V. YAgup // Visnik Harkivs'kogo nacional'nogo tekhnichnogo universitetu sil's'kogo gospodarstva imeni Petra Vasilenka. – Harkiv: HNTUSG, 2012. – Vip. 129: «Problemi energozabezpechennya ta energozberezhennya v APK Ukraïni». – S. 49 – 50.

14. YAgup E. V. Modelirovanie processov v sisteme ehlektropitaniya dugovogo razryada cherez ogranichitel'nyj reaktor / E. V. YAgup // Svitlotekhnika ta elektroenergetika: mizhnarodnij naukovo-tekhnichnij zhurnal. – Harkiv: HNAMEG, 2012. – №3 (31). – S. 82 – 85.

15. YAgup E. V. Issledovanie poverhnostej otklika pri optimizacii rezhima trekhfaznoj sistemy ehlektrosnabzheniya / E. V. YAgup // Vostochno-Evropejskij zhurnal peredovyh tekhnologij. – Har'kov, 2012. – №6/8 (60). – S. 56 – 59.

16. YAgup E. V. K analiticheskomu opredeleniyu emkostej simmetriruyushchih kondensatorov/ V. G. YAgup, E. V. YAgup // Naukovi praci Donec'kogo nacional'nogo tekhnichnogo universitetu. – Seriya «Elektrotehnika i energetika». – Donec'k, 2013. – № 2 (15). – S.293-296.

17. YAgup E. V. Razrabotka komp'yuternoj modeli dlya razryadnoj lampy vysokogo davleniya / V. F. Harchenko, V. G. YAgup, A. A. YAkunin, E. V. YAgup // Svitlotekhnika ta elektroenergetika: mizhnarodnij naukovo-tekhnichnij zhurnal. – Harkiv: HNAMEG, 2013. – №2 (34). – S. 52 – 57.

18. YAgup E. V. SPS-model' dugovogo razryadu dlya biblioteki komponentiv SIMULINK / V. G. YAgup, E. V. YAgup // Visnik Harkivs'kogo nacional'nogo tekhnichnogo universitetu sil's'kogo gospodarstva imeni Petra Vasilenka. – 2013. – Vip. 141. S. 67 – 69.

19. YAgup E. V. Modelirovanie processov kompensacii reaktivnoj moshchnosti v sisteme ehlektrosnabzheniya asinhronnogo dvigatelya / V. G. YAgup, E. V. YAgup // Visnik nac. tekhn. un-tu «Harkivs'kij politekhnichnij institut». Seriya: Problemi avtomatizovanogo elektroprivodu. - №36(1009), 2013. – S. 378 – 379.

20. YAgup K. V. Optimizaciya rezhimu zhivlennya asinhronnogo dviguna v umovah nesimetrii sistemi elektropostachannya / V. G. YAgup, K. V. YAgup // Visnik Vinnic'kogo politekhnichnogo institutu, 2014, vip.. 1 (112). – S. 74 – 77.

21. YAgup E. V. K opredeleniyu parametrov modelej transformatorov / V. G. YAgup, E. V. YAgup // Svitlotekhnika ta elektroenergetika. – 2014. – № 2. – S. 52 – 64.

22. YAgup E. V. Kompensaciya reaktivnoj moshchnosti v tyagovoj sisteme peremennogo toka / V. G. YAgup, E. V. YAgup // Elektrifikaciya transportu. - Dnipropetrovs'k. – 2014. – №7. – S.60–66.

23. YAgup E. V. Raschyot parametrov simmetriruyushchego ustrojstva dlya tyagovoj podstancii peremennogo toka na vizual'noj modeli / V. G. YAgup, E. V. YAgup // Vostochno-Evropejskij zhurnal peredovyh tekhnologij. – 2014. – № 4(8). – S. 23 – 28.

24. YAgup E. V. Ob uravnoveshivanii i kompensacii reaktivnoj moshchnosti v nesimmetrichnyh trekhfaznyh ehlektricheskikh sistemah s primeneniem poiskovoj optimizacii / V. G. YAgup, E. V. YAgup // Komunal'ne gospodarstvo mist. Seriya: Energoefektivna tekhnika ta tekhnologii v zhitlovo-komunal'nomu gospodarstvi. – Vip. 118(1). – 2014. – S. 179 – 182.

25. YAgup E. V. Raschet parametrov ustrojstva kompensacii reaktivnoj moshchnosti s ispol'zovaniem modeli i poiskovoj optimizacii / E. V. YAgup // Zbirnik naukovih prac' Ukraïns'koï derzhavnoï akademii zaliznichnogo transportu, 2014, vip. 150. – S. 115 –120.
26. YAgup E. V. Raschet parametrov simmetro-kompensiruyushchego ustrojstva metodom ehkvivalentirovaniya nagruzki / V. G. YAgup, E. V. YAgup // Svitlotekhnika – 2015. – №1 (41).–S. 23 – 30.
27. YAgup E. V. Raschet parametrov ustrojstva kompensacii reaktivnoj moshchnosti seti ehlektrosnabzheniya s transformatorom na vizual'noj modeli. / E. V. YAgup // Zbirnik naukovih prac' Ukraïns'koï derzhavnoï akademii zaliznichnogo transportu, 2015, vip. 153. – S. 25 –32.
28. YAgup K. V. Modelyuvannya ta optimizaciya rezhimu elektrichnoï sistemi z dugovim rozryadom / V. G. YAgup, K. V. YAgup // Visnik Harkivs'kogo nacional'nogo tekhnichnogo universitetu sil's'kogo gospodarstva imeni Petra Vasilenka. – Vip. 164. – Harkiv: HNTUSG, 2015. – S. 127 –130.
29. YAgup E. V. EHlektropitanie asinhronnogo dvigatelya v sisteme s silovym aktivnym fil'trom, upravlyaemym po optimizacionnomu algoritmu / V. G. YAgup, E. V. YAgup // Vestnik Nacional'nogo tekhnicheskogo universiteta «HPI», 2015, Vyp. 12 (1121). – S. 453 –457.
30. YAgup E. V. Model' aktivnogo fil'tra dlya trekhfaznoj ehlektricheskoy sistemy s nesimmetrichnoj nagruzkoj i upravlenniem po optimizacionnomu algoritmu/ V. G. YAgup, E. V. YAgup // Elektromekhanichni i energozberigayuchi sistemi. – Kremenchuk: KrNU, 2015. –Vip. 3/2015(31). – S.103-109.
31. YAgup E. V. Modelirovanie nesimmetrichnoj sistemy ehlektrosnabzheniya s ispol'zovaniem optimizacii dlya opredeleniya parametrov simmetriruyushchego ustrojstva / E. V. YAgup // Zbirnik naukovih prac' Ukraïns'kogo derzhavnogo universitetu zaliznichnogo transportu. - 2016.– Vip. 161. – S. 130–138.
32. YAgup E. V. Optimizaciya rezhima raboty trekhfaznoj sistemy ehlektrosnabzheniya s ispol'zovaniem transformatornogo simmetriruyushchego ustrojstva/ E. V. YAgup // Visnik Harkivs'kogo nacional'nogo tekhnichnogo universitetu sil's'kogo gospodarstva imeni Petra Vasilenka–2016.–№175.–S.88 – 90.
33. YAgup K. V. Utochnenij rozrahunok parametriv kompensacijno-simetruval'nogo pristroyu na osnovi poperedn'ogo analizu kompensovanogo rezhimu/ V. G. YAgup, K. V. YAgup // Visnik Vinnic'kogo politekhnichnogo institutu 2016.–№ 3.–S.41–45.
34. YAgup E. V. Optimizaciya rezhima nesimmetrichnoj trekhfaznoj sistemy s ispol'zovaniem aktivnogo fil'tra i modifizirovannogo algoritma upravleniya / E. V. YAgup // Visnik NTU «HPI», Seriya: Novi rishennya v suchasnih tekhnologiyah. – Harkiv: NTU«HPI». – 2016. – № 42 (1214). – S. 124 – 128.
35. YAgup E. V. Analiz ehnergeticheskikh pokazatelej tyagovogo vypryamitelya s shirotno-impul'snym regulirovaniem. / V. G. YAgup, E. V. YAgup, E. YA. Ivakina //

Zbirnik naukovih prac' Ukraïns'kogo derzhavnogo universitetu zaliznichnogo transportu. – 2016. Vip. 143. – S. 169 – 176.

36. YAgup E. V. Analiz rezhima sistemy ehlektrosnabzheniya s silovym aktivnym fil'trom po optimizacionnomu algoritmu / V. G. YAgup, E. V. YAgup // Elektrotehnika i elektromekhanika.–2016.–Vip.4(2) – S.105–108.

37. YAgup E. V. Metod rascheta parametrov simmetriruyushchego ustrojstva v tyagovoj sisteme ehlektrosnabzheniya peremennogo toka pri pitanii neskol'kih nagruzok / E. V. YAgup // Informacijno-keruyuchi sistemi na zaliznichnomu transporti. – 2017. № 3. – S. 22 – 28.

38. YAgup E. V. Silovoj aktivnyj fil'tr so stabilizaciej napryazheniya na nakopitel'nom kondensatore po diskretam s pomoshch'yu poiskovoj optimizacii. / E. V. YAgup // Vestnik Nacional'nogo tekhnicheskogo universiteta «Har'kovskij politekhnicheskij institut». – 2017. Vyp. 27(1249). – S. 226 – 229.

39. YAgup E. V. Raschyot parametrov simmetriruyushchego ustrojstva v tyagovoj sisteme ehlektrosnabzheniya peremennogo toka pri izmenyayushchejsya nagruzke / V. G. YAgup, E. V. YAgup // Elektrifikaciya transportu. - Dnipropetrovs'k. – 2017. - №13. – S.21–27.

40. YAgup K. V. Uzagal'neni metodi dlya optimizacii rezhimiv v trifaznih sistemah z nesimetrichnimi ta nelinejnymi navantazhennyami / K. V. YAgup // Visnik Harkivs'kogo nacional'nogo tekhnicheskogo universitetu sil's'kogo gospodarstva imeni Petra Vasilenka– 2017. – № 186. – S. 213 – 125.

41. YAgup E. V. Optimizaciya rezhima trekhfaznoj sistemy ehlektrosnabzheniya s tiristornym kompensatorom s odnostupenchatoj kommutaciej / V. F. Harchenko, YA. V. SHCHerbak, E. V. YAgup // Svitlotekhnika ta elektroenergetika: mizhnarodnij naukovotekhnichnij zhurnal. – Harkiv: HNAMEG. 2017. – №2 (49). – S. 34 – 40.

42. YAgup E. V. Modelirovanie sistem ehlektrosnabzheniya kak sredstvo dlya rascheta optimal'nyh rezhimov trekhfaznyh sistem / V. G. YAgup, E. V. YAgup // Sbornik trudov konferencii Modelirovanie-2016 SIMULATION-2016 – Kiev: Institut problem modelirovaniya v ehnergetike im. G. E. Puhova NAN Ukrainy, 2016. – S. 255 – 258.

43. YAgup E. V. Aktivnyj fil'tr dlya trekhfaznoj sistemy ehlektrosnabzheniya s nesimetrichnoj nagruzkoj s upravleniem po optimizacionnomu algoritmu / V. G. YAgup, E. V. YAgup // Problemi energoresursozberezhennya v elektrotekhnichnih sistemah. – Vip. 1/2015(3). – Kremenichuk, 2015. – S. 192 – 194.

44. YAgup E. V. Raschet simmetriruyushchego ustrojstva trekhfaznoj sistemy putyom optimizacii po kriteriyu vyravnivaniya pitayushchih tokov / V. G. YAgup, E. V. YAgup // Zavalishinskie chteniya 16, – Sankt-Peterburg, GUAP, 2016. – S. 302 –306.

45. YAgup E. V. Using generalized method for solving the problem determining mode of reactive power compensation / V. G. YAgup, E. V. YAgup // Praci Mizhnarodnoi naukovoï konferencii “UNITEX’15” –Gabrovo, 2015. – P. 98 –102.

46. Sposib upravlinnya silovim aktivnim fil'trom u skladi intelektual'noï elektrichnoï sistemi: pat. № 122457 Ukraïna, MPK N02J 3/18, H02J 3/26, H02J 3/32 / YAgup V. G., YAgup E. V.; Zayavnik ta vlasnik patentu Hark. nac. un-t. mis'k. gosp-va imeni O.M.Beketova. – № u2017707318; zavl. 11.07.2017; opubl. 10.01.2018. Byul. №1/2018.

ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ.....	5
ВСТУП.....	6
РОЗДІЛ 1. ЯКІСТЬ ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ І ПОВ'ЯЗАНІ З НЕЮ ПРОБЛЕМИ.....	18
1.1 Проблеми якості електричної енергії.....	18
1.2 Показники якості електричної енергії.....	22
1.3 Проблеми аналізу режимів і синтезу пристроїв для симетрування та компенсації реактивної потужності.....	28
1.4 Мета і завдання дисертаційного дослідження.....	32
Висновки за розділом 1.....	34
РОЗДІЛ 2. СУТНІСТЬ МЕТОДУ ПОШУКОВОЇ ОПТИМІЗАЦІЇ І ЙОГО РЕАЛІЗАЦІЯ ДЛЯ ЕЛЕКТРИЧНИХ СИСТЕМ.....	35
2.1 Математична сутність методу пошукової оптимізації.....	35
2.2 Вибір параметрів і критеріїв оптимізації.....	37
2.3 Методи реалізації моделей систем електропостачання.....	40
2.4 Методи і програмні засоби для оптимізації режимів роботи систем електропостачання.....	46
2.5 Приклад реалізації методу пошукової оптимізації.....	53
2.6 Особливості процесу пошукової оптимізації щодо електротехнічних систем.....	61
Висновки за розділом 2.....	62
РОЗДІЛ 3. ОПТИМІЗАЦІЯ РЕЖИМІВ ТРИФАЗНОЇ ЕЛЕКТРИЧНОЇ СИСТЕМИ БЕЗ НУЛЬОВОГО ПРОВОДУ.....	64
3.1 Еквівалентна розрахункова схема і рівняння трифазної трипровідної системи електропостачання.....	64
3.2 Дослідження несиметричного режиму.....	67
3.3 Розрахунок параметрів компенсуючого пристрою і симетричного режиму.....	70
3.4 Аналітичний розрахунок ємностей симетрувальних конденсаторів.....	75
3.5 Розрахунок параметрів пристрою компенсації реактивної потужності з використанням SPS-моделі і пошукової оптимізації.....	79
3.6 Розрахунок параметрів симетро-компенсуючого пристрою методом еквівалентування навантаження.....	88
3.7 Оптимізація режиму несиметричної трифазної системи на моделі за допомогою фільтрів симетричних складових.....	94
3.8 Розрахунок симетруючого пристрою трифазної системи шляхом оптимізації за критерієм вирівнювання живильних струмів.....	100
Висновки за розділом 3.....	107
РОЗДІЛ 4. ОПТИМІЗАЦІЯ РЕЖИМІВ ТРИФАЗНОЇ ЕЛЕКТРИЧНОЇ СИСТЕМИ З НУЛЬОВИМ ПРОВОДОМ.....	110
4.1 Визначення режиму компенсації реактивної потужності за допомогою SPS-моделі і пошукової оптимізації.....	110

4.2 Визначення режиму компенсації реактивної потужності при звільненні параметрів оптимізації.....	118
4.3 Визначення режиму компенсації реактивної потужності при декомпозиції системи електропостачання.....	125
Висновки за розділом 4.....	138
РОЗДІЛ 5. ОПТИМІЗАЦІЯ РЕЖИМІВ ЕЛЕКТРОТЕХНІЧНИХ СИСТЕМИ З ІНДУКТИВНИМИ ЗВ'ЯЗКАМИ.....	141
5.1 Підвищення енергетичних показників мережі електропостачання з трансформатором на візуальній моделі.....	142
5.2 Компенсація реактивної потужності в тяговій системі змінного струму.....	151
5.3 Розрахунок параметрів симетруючого пристрою в тяговій системі електропостачання змінного струму при навантаженню, що змінюється.....	161
5.4 Оптимізація режиму роботи трифазної системи електропостачання з використанням трансформаторного симетруючого пристрою.....	171
5.5 Урівноваження і балансування системи електропостачання з нейтраллером.....	176
5.6 Моделювання процесів компенсації реактивної потужності в системі електропостачання асинхронного двигуна.....	186
5.7 Оптимізація режиму живлення асинхронного двигуна в умовах асиметрії системи електропостачання.....	189
Висновки за розділом 5.....	193
РОЗДІЛ 6. СИСТЕМИ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ З НЕЛІНІЙНИМИ ТА СИЛОВИМИ НАПІВПРОВІДНИКОВИМИ ЕЛЕМЕНТАМИ.....	195
6.1 Оптимізація режиму системи електропостачання з дуговим розрядом.....	195
6.2 Розробка комп'ютерної моделі для розрядної лампи високого тиску і оптимізація режиму електроживлення лампи.....	205
6.3 Оптимізація процесів в тиристорному компенсаторі реактивної потужності.....	215
6.4 Оптимізація режиму системи електропостачання з тиристорним компенсатором реактивної потужності з одноступеневою комутацією.....	220
6.5 Моделювання системи електропостачання з активним фільтром, керованим за оптимізаційним алгоритмом.....	230
6.6 Активний фільтр для трифазної електричної системи з несиметричним навантаженням і управлінням за оптимізаційним алгоритмом за критерієм балансу активних потужностей.....	239
6.7 Силовий активний фільтр зі стабілізацією напруги на накопичувальному конденсаторі за дискретами за допомогою пошукової оптимізації.....	246

6.8 Електроживлення асинхронного двигуна в системі з силовим активним фільтром, керованим за оптимізаційним алгоритмом.....	252
Висновки за розділом 6.....	259
РОЗДІЛ 7. ОПТИМІЗАЦІЯ РЕЖИМІВ У ЕЛЕКТРИЧНИХ СИСТЕМАХ З ДЕКІЛЬКОМА НАВАНТАЖЕННЯМИ.....	263
7.1 Розрахунок параметрів симетро-компенсуючих пристроїв для двох споживачів з урахуванням вкладу кожного з них.....	263
7.2 Розрахунок параметрів симетро-компенсуючих пристроїв для двох паралельно ввімкнених споживачів з урахуванням вкладу кожного з них.....	274
7.3 Оптимізація режиму трифазної системи з трьома розділеними навантаженнями з урахуванням внеску кожного з них.....	285
7.4 Оптимізація режиму трифазної системи з трьома розділеними навантаженнями з використанням засобів пошукової оптимізації MathCAD	292
7.5 Оптимізація режиму системи з несиметричним і нелінійним навантаженнями за допомогою силового активного фільтра, що керується за оптимізаційним алгоритмом	303
Висновки за розділом 7.....	310
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ ПО ДИСЕРТАЦІЇ.....	312
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	317
ДОДАТОК А. ДРУГИЙ РЕЖИМ ПОВНОЇ КОМПЕНСАЦІЇ РП	337
ДОДАТОК Б. ВИЗНАЧЕННЯ ПАРАМЕТРІВ МОДЕЛЕЙ ІНДУКТИВНО-ЗВ'ЯЗАНИХ СИСТЕМ ТА ТРАНСФОРМАТОРІВ....	339
ДОДАТОК В. АКТИ ВПРОВАДЖЕННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ РОБОТИ...	348
ДОДАТОК Г. СПИСОК ПУБЛІКАЦІЙ ЗДОБУВАЧА	354