

ВІДГУК

**офіційного опонента на дисертаційну роботу
Мірошника Олександра Олександровича
«Моделі та методи підтримки прийняття рішень
в системі керування якістю процесу розподілу електричної енергії»,
що подана на здобуття наукового ступеня доктора технічних наук
за спеціальністю 05.13.03 - системи та процеси керування**

Актуальність теми.

Тенденції до збільшення електроспоживання обумовлюють значне зростання складової втрат та зниження якості в процесі передачі та розподіленні електричної енергії. Особливої актуальності дана проблема набуває в системах керування розподілом електричної енергії, це обумовлено тим, що об'єкт керування характеризується протяжністю, розгалуженістю та використанням низьких класів напруги. На сьогоднішній день існує ряд методів і технічних засобів, що направлені на покращення функціонування систем керування розподілом електроенергії, які не достатньо ефективні та потребують подальшого вдосконалення.

Система керування розподілом електричної енергії вимагає сучасного підходу при аналізі, дослідженні та прийнятті обґрунтованих та ефективних рішень при неоднорідних режимах внаслідок несиметрії та несинусоїдальності напруги. Таким чином, для підвищення ефективності функціонування системи керування розподілом електричної енергії при неоднорідних режимах виникає доцільність розробки нових методів і моделей для підтримки прийняття рішень по покращенню якості електричної енергії та зниженню додаткових втрат. Даний напрямок є актуальною науково-прикладною проблемою, що склав напрямок дисертаційних досліджень.

Актуальність напрямку дисертаційної роботи підтверджується тим, що вона виконувалась у відповідності до планів держбюджетних науково-дослідних робіт ХНТУСГ ім. П. Василенка за темами: «Розробка методів і засобів підвищення ефективності керування режимами і транспорту електричної енергії в електричних мережах» (ДР № 0104U004594), «Розробка методів і засобів

підвищення ефективності керування режимами та транспортуванням електричної енергії у електричних мережах» (ДР № 0110U002506), та за госпдоговірною темою «Розробка та обґрунтування параметрів технічних пристроїв моніторингу кількості та якості електроенергії в системах сільськогосподарського електропостачання» (ПФ «Агроіндустрія»), в яких здобувач був відповідальним виконавцем.

Ступінь обґрунтованості наукових положень, висновків і рекомендацій, сформульованих в дисертаційній роботі.

Наукові положення, висновки і рекомендації є наслідком поглибленого аналізу науково-технічних інформаційних джерел, різнобічних наукових досліджень, що виконав автор при розв'язанні задач, які поставлені у роботі.

Також обґрунтованість наукових положень, висновків і рекомендацій обумовлена грамотно розробленими моделями та методами підтримки прийняття рішень в системах керування розподілом електричної енергії при використанні таких математичних апаратів як вейвлет-аналіз, нейронні мережі, генетичні алгоритми, нечіткі множини.

Результати досліджень доповідались та обговорювались на 33 міжнародних науково-технічних конференціях, а також опубліковані в відповідних наукових фахових виданнях.

Достовірність результатів досліджень.

Достовірність результатів досліджень підтверджується моделями та методами, які побудовані з застосуванням різних математичних апаратів. Завдяки правильно створеним моделям побудовані технічні пристрої, що дозволяють виконувати моніторинг та знижувати неоднорідність режимів в системах керування розподілом електричної енергії.

Структура, логіка і зміст. Дисертаційна робота складається зі вступу, 6 розділів, висновків, списку використаних джерел та додатків. Загальний обсяг дисертації складає 393 сторінки, список використаних джерел містить 251 найменування.

У вступі автор згідно вимог до оформлення дисертацій та авторефератів дисертацій подає основну характеристику роботи, обґрунтовує актуальність роботи, показує її зв'язок з науковими темами, формулює мету й задачі досліджень, визначає об'єкт, предмет та методи досліджень, а також отриману наукову новизну, практичне значення роботи та свій особистий внесок в роботах, що опубліковані у співавторстві.

У першому розділі автор надав характеристику проблеми керування якістю процесу розподілу електричної енергії, аналізує існуючі методи та технічні засоби для підтримки прийняття рішень в системі керування якістю процесу розподілу електричної енергії, формулює основні шляхи дослідження цієї проблеми. Проблему забезпечення якості керування розподілом електричної енергії автор пов'язує із забезпеченням якості самої електричної енергії. Обрано два основних показники якості електричної енергії – несиметрію та несинусоїдальність напруги, що впливають на неоднорідність режиму. Проаналізовані джерела неоднорідності та існуючі засоби їх усунення. Показана неможливість якісного керування розподілом електричної енергії без урахування неоднорідності об'єкта керування. Також автором підкреслена проблема невизначеності вихідної інформації в системі керування розподілом електричної енергії, особливо оцінка якості електричної енергії як показник якості керування. Проаналізовані існуючі методи розкриття невизначеності та досліджено доцільність їх використання в системі керування розподілом електричної енергії.

У другому розділі запропоновано ряд методів, що дозволяють виконувати оцінку ступеню неоднорідності режимів в системі керування розподілом електричної енергії. В межах стохастичного підходу автором запропоновано методи оцінки неоднорідності режимів об'єкта керування: ймовірностатистичний (на основі використання графіків навантаження, гіпотези про нормальний закон розподілу струмів навантаження), детермінований (матричний метод, метод розподілу симетричних складових). Одним із вагомих показників ефективності керування розподілу електричної енергії є рівень втрат. Автор приділив увагу моделюванню втрат при неоднорідних режимах, додавши у

вирішення даної проблеми своє бачення поряд з існуючими підходами. Автор застосував вейвлет-аналіз для ідентифікації неоднорідних режимів об'єкта керування, що викликані несинусоїдальністю напруги. Обґрунтовано застосування неортогонального вейвлету, що має комплексну вейвлет-функцію, вузького за шириною і з формою затухаючого косинуса.

Третій розділ присвячено статистичним дослідженням та моделюванню неоднорідних режимів об'єкта керування. Автором використані відомі методи математичної статистики та на їх основі розроблені методики для визначення кривих розподілу ймовірностей для характеристик неоднорідного режиму. Виконано обробку великого об'єму експериментальних даних. Методики диференційовані для різних додаткових показників якості електричної енергії. Автором застосовані сучасні засоби моделювання Electronics Workbench, MathCad, Multisim.

Особливу увагу автором приділено розпізнаванню різних типів спотворень. Для цього застосовано апарат штучних нейронних мереж, а також обґрунтована процедура навчання на основі вейвлет-образів. Дана методика доведена до рівня програмної реалізації на мові програмування Delphi, що підвищує практичну значимість даного дослідження.

У четвертому розділі автором розроблено та реалізовано метод прийняття рішень в системі керування процесом розподілу електричної енергії щодо рівномірного розподілу навантажень з використанням генетичних алгоритмів та нейронних мереж. Автор запропонував вирішувати задачу зниження несиметрії навантаження як оптимізаційну із застосуванням генетичних алгоритмів. Причому, в даному випадку розглядається задача прийняття оптимальних рішень при реконструкції об'єкта керування. Тому автор застосував дві цільові функції, одна з яких характеризує несиметрію навантаження, а інша відображає затрати праці на реалізацію варіанту реконструкції. Доцільність опису несиметрії режиму через спожиту електричну енергію за певний період дозволяє застосовувати даний підхід навіть без спеціальних засобів вимірювання, оскільки інформація про електроспоживання є у відповідних організаціях енергозбуту. Для вирішення

оптимізаційної задачі автором застосовано генетичний алгоритм, в якому використано десяткову систему кодування особин. Апробація на конкретному прикладі та подальша перевірка в Multisim доводить ефективність запропонованого методу.

Також автором запропоновано використовувати нейронну мережу для зниження несиметрії навантаження, в якості інформаційного забезпечення використовуються дані від електронних лічильників, що знаходяться у споживачів. Першою цільовою функцією оптимізаційної задачі прийнято математичні сподівання струмів у максимум навантаження, в якості другої цільової функції автором запропоновано використовувати рівень втрат електричної енергії. Запропоновано структуру нейронної мережі та на її базі створено програмний продукт, що дозволяє виконувати рівномірний розподіл навантажень з урахуванням цільових функцій. Достовірність отриманих результатів перевірена на конкретному прикладі використовуючи Multisim, що доводить придатність розробленого методу.

Питання ефективного керування процесом розподілу електричної енергії автором вирішується і на етапі експлуатації системи. Зокрема запропоновано метод компенсації втрат від реактивної складової струму. Даний метод теоретично обгрунтовано та експериментально перевірено.

П'ятий розділ присвячено розробці та використанню методу оцінки якості електричної енергії в умовах невизначеності з застосуванням нечіткої логіки. Варто відмітити, що поняття якості електричної енергії до сих пір чітко не визначено. Тому в міжнародному стандарті існує ряд показників, для визначення яких необхідно провести ряд вимірювань та обчислень. Для показників якості введені норми, порушення будь-якої з них призводить до висновку про неякісну електричну енергію. Даний підхід має недоліки. В нормах якості уже закладена нечіткість, оскільки є допустимі та граничнодопустимі межі. Крім того, різні типи навантаження по-різному реагують на порушення тих чи інших показників якості і поняття якості електричної енергії не може розглядатися відокремлено від вимог споживачів. Тому цілком обгрунтованим є застосований автором

нечіткий підхід до оцінки якості електричної енергії за окремими показниками. Особливо варто відмітити застосований автором підхід до нечіткої інтегральної оцінки якості електричної енергії за групами споживачів. Даний підхід не виключає проведення вимірювань, але дає додаткові можливості при прийнятті рішень в системі керування.

У шостому розділі представлено практичну реалізацію наукових досліджень. З позицій комплексного підходу запропоновано технічні засоби моніторингу та зниження неоднорідності режимів. Зокрема розроблено пристрої для моніторингу показників якості електричної енергії та допустимого навантаження електродвигунів, а також визначення коефіцієнта збільшення втрат потужності при нерівномірності навантажень. Дані пристрої дозволяють забезпечувати інформаційне забезпечення системи керування розподілом електричної енергії.

Також розроблені пристрої для симетрування навантажень при неоднорідних режимах, покращення якості електричної енергії та зниження додаткових втрат, а також зниження несинусоїдальних та несиметричних режимів. Ці пристрої дозволяють системі керування розподілом електричної енергії виконувати безпосередній вплив на режим функціонування всієї системи в цілому.

В додатках висвітлені теоретичні та експериментальні дані, а також результати моделювання. Наведено текст керуючих програм та акти впровадження результатів дисертаційної роботи.

До основних нових наукових результатів дисертації слід віднести наступне:

1. Вперше для визначення рівнів напруги у споживачів, а також втрат електричної енергії запропоновано метод оцінки неоднорідних режимів, що дозволило підвищити ефективність керування процесом розподілу електричної енергії.

2. Для визначення образу спотвореного сигналу удосконалено метод ідентифікації джерел несинусоїдальності напруги із застосуванням вейвлет-

аналізу та нейронної мережі, що дозволяє отримати інформацію для прийняття рішення з визначення адресності спотворення.

3. Вперше за ймовірнісними характеристикам навантажень об'єктів електроспоживання сформовано ймовірнісно-статистичну модель оцінки неоднорідних режимів роботи, що дозволяє в системах керування розподілом електричної енергії визначати робочі режими.

4. Для вибору Парето-оптимальних рішень за критеріями рівня зниження втрат та кількості перекомутацій удосконалено метод рівномірного розподілу навантажень в основі якого лежать генетичні алгоритми, що дозволяє підвищити ефективність прийняття рішень.

5. Вперше при неоднорідних режимах в системах керування розподілом електричної енергії розроблено метод підтримки прийняття рішення щодо рівномірного розподілу навантажень з застосуванням нейронної мережі, що дозволяє знизити додаткові втрати електричної енергії.

6. Для оцінки ступеню відповідності показників якості електричної енергії нормам отримав подальший розвиток метод оцінки якості електричної енергії в нечіткому вигляді, що дозволяє підвищити ефективність прийняття рішень з керування навіть, якщо основні показники не виходять за межі допустимих значень.

7. Для оцінки режиму роботи конкретних груп споживачів в системах керування розподілом електричної енергії удосконалено інтегральний показник якості електричної енергії, який дозволяє оцінити в нечіткому вигляді ступінь впливу окремих показників якості на ефективність функціонування обладнання при неоднорідних режимах.

Значимість отриманих результатів для науки і практичного використання.

Важливі наукові результати, що описані математичними моделями на базі вейвлет-аналізу та нейронних мереж, програмно реалізовані, і дозволяють на основі розпізнавання вейвлет-образів ідентифікувати неоднорідні спотворення, що дає змогу системі керування розподілом електричної енергії визначити

адресність спотворення. Розроблено комплекс технічних засобів для моніторингу та покращення якості електричної енергії, а також зниження втрат електричної енергії, усі технічні засоби захищені патентами України.

Значна частина отриманих здобувачем результатів впроваджена в АК «Харківобленерго», ПАТ «Харківський тракторний завод ім. С. Орджонікідзе», ПФ «Агроіндустрія», про що свідчать акти впровадження. Також результати дисертаційної роботи впроваджені у навчальний процес кафедри автоматизації та комп'ютерно-інтегрованих технологій і кафедри електропостачання та енергетичного менеджменту ХНТУСГ ім. П. Василенка.

Повнота викладення результатів досліджень в опублікованих працях.

Викладені результати дисертаційної роботи відображені у фахових виданнях та монографіях, зокрема опубліковано 70 друкованих праць, з них: 2 монографії, 38 статей у фахових виданнях України, 4 статті в іноземних періодичних виданнях, з них 11 внесені до міжнародних наукометричних баз даних, таких як SCOPUS, РІНЦ, Index Copernicus, 6 статей у матеріалах конференцій та семінарів, отримано 20 патентів України.

В цілому рівень і кількість публікацій та апробації матеріалів дисертації на конференціях повністю відповідають вимогам МОН України.

Матеріали, що викладені у відповідних розділах автореферату, дають повне та цілісне уявлення відносно дисертаційної роботи, а також у повній мірі розкривають її зміст.

По дисертаційній роботі можна зробити наступні зауваження:

1. В дисертаційній роботі при описі методів оцінки ймовірнісної несиметрії слід було б вказати про недоцільність застосування технічних засобів для її усунення.

2. Автором запропоновано метод для визначення втрат електричної енергії та запропоновано визначати їх кратність, але не вказано при якому рівні несиметрії режимів доцільно використовувати даний метод.

3. У третьому розділі дисертаційної роботи проведено статистичний аналіз додаткових показників якості електричної енергії. Доцільно б було описати їх вплив на споживачів при неонорідності режиму.

4. В дисертації для алгоритмічного забезпечення системи керування розподілом електричної енергії недостатньо обгрунтовані дослідження графіків навантажень, не вказано діапазон їх варіювання.

5. При аналізі неоднорідних режимів внаслідок несинусоїдальності напруги недостатньо обгрунтовані переваги вейвлет-аналізу перед Фур'є-аналізом.

6. При створенні генетичного алгоритму використана десяткова система кодування, але не зрозуміла її доцільність.

7. У п'ятому розділі дисертаційної роботи не достатньо обгрунтовано вид функцій приналежності показників якості на стадії фазифікації. Можливо функції Гауса або трапецієвидні були б ефективніші.

8. При описі комплексу технічних засобів не зрозуміло, для якого саме виду неоднорідності режиму доцільно використовувати той чи інший засіб.

9. В дисертаційній роботі є рисунки, які оформлені з порушенням існуючих вимог.

10. Щодо загальної оцінки змісту, структури та оформлення результатів роботи. У роботі є стилістичні неточності та описки, але кількість їх незначна.

Вказані недоліки не впливають на загальну позитивну оцінку виконаної роботи.

ВИСНОВОК

Дисертація Мірошника О. О. є закінченою науковою роботою, в якій наведено теоретичне узагальнення і нове вирішення науково-практичної проблеми підвищення ефективності системи керування розподілом електричної енергії при неоднорідних режимах в умовах невизначеності, яка полягає в

створенні моделей, методів, алгоритмічного та інформаційного забезпечення для підтримки прийняття рішень. За актуальністю теми, мірою обґрунтованості наукових положень, достовірністю та новизною результатів вона відповідає вимогам, що пред'являються п.п. 9, 10, 12 «Порядку присудження наукових ступенів і присвоєння вченого звання старшого наукового співробітника», затвердженого постановою Кабінету Міністрів України від 24 липня 2013 року №567 щодо докторських дисертацій. Автор цієї роботи Мірошник Олександр Олександрович заслуговує присудження йому наукового ступеня доктора технічних наук за спеціальністю 05.13.03 – системи та процеси керування.

Офіційний опонент

завідувач кафедри економічної кібернетики

та управління економічною безпекою

Харківського національного

університету радіоелектроніки

доктор технічних наук, професор



В. О. Тимофеев



І. В. Владислав