Заклад вищої освіти „Подільський державний університет”
Факультет енергетики та інформаційних технологій
Кафедра електротехніки, електромеханіки і електротехнологій

ДИПЛОМНА РОБОТА

на тему:

«ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ СУБ- ТА ІНТЕРГАРМОНІК В ЕЛЕКТРИЧНИХ МЕРЕЖАХ»

Виконав:
здобувач вищої освіти денної форми навчання освітнього ступеня «Магістр», освітньо-професійної програми «Енергетичний менеджмент» спеціальності 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»

САБАДАШ Роман В’ячеславович

Керівник канд. техн. наук, професор_
МИХАЙЛОВА Людмила Миколаївна

Оцінка захисту:
Національна шкала _____
Кількість балів_____Шкала ECTS _____
«___» _____ 2023 р.

Допускається до захисту:
«___» _____ 2023 р.

Гарант освітньо-професійної програми
«Енергетичний менеджмент» спеціальності
141 «Електроенергетика, електротехніка
та електромеханіка»
доктор с.г. наук, канд. техн. наук, доцент **Олег ТКАЧ**

м. Кам'янець-Подільський, 2023

ЗМІСТ

ВСТУП 10
1 ЯКІСТЬ ЕЛЕКТРИЧНОЇ ЕНЕРГІЇ 12
1.1 Основні параметри та нормативні документи, які визначають якість електричної енергії 12
1.2 Вплив наявності інтергармонік на економічну ефективність електроспоживання 20
1.3 Проблема визначення інтергармонік 37
1.4 Обґрунтування необхідності постійного моніторингу наявності інтергармонік в системах електропостачання 40
Висновки до розділу 41
2 РОЗРОБКА СПОСОБУ ТА АЛГОРИТМУ СУБ- ТА ІНТЕРГАРМОНІК В ЕЛЕКТРИЧНІЙ МЕРЕЖІ НА ОСНОВІ ПОБУДОВИ ОПТИМАЛЬНОЇ СТРУКТУРИ БІНАРНОГО ДЕРЕВА ВЕЙВЛЕТ-ПЕРЕТВОРЕНЬ 42
2.1 Електрообладнання, яке генерує інтергармоніки 42
2.2 Основні методи визначення інтергармонік 66
2.3 Розробка способу визначення інтергармонічних підгруп на основі побудови оптимальної структури бінарного дерева вейвлет-перетворень 80
2.3.1Дерево рішень, як один із методів аналізу інформаційних даних 80
2.3.2Бінарне дерево ортогональних вейвлет-перетворень 81
2.3.3Побудова оптимальної структури та алгоритму формування інтергармонічних груп 85
Висновки до розділу 88
3 ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ РОЗРОБЛЕНОГО СПОСОБУ ТА АЛГОРИТМУ СУБ- ТА ІНТЕРГАРМОНІК В ЕЛЕКТРИЧНІЙ МЕРЕЖІ НА ОСНОВІ ПОБУДОВИ ОПТИМАЛЬНОЇ СТРУКТУРИ БІНАРНОГО ДЕРЕВА ВЕЙВЛЕТ-ПЕРЕТВОРЕНЬ 89
Висновки до розділу 94

4 РОЗРОБЛЕННЯ СТАРТАП-ПРОЕКТУ 95
Висновки до розділу 103
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ 104
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ 106

ВСТУП

Актуальність теми. Електрична енергія широко використовується у всіх аспектах людського життя і має своєрідний комплекс властивостей, які впливають на якість інших видів продукції. Кожен електричний пристрій призначений для роботи при певних параметрах електроенергії, тому для забезпечення його нормального функціонування необхідно мати якісну електричну енергію.

Причини втрати електроенергії на підприємствах можна умовно упорядкувати наступним чином:

1. Зовнішній несанкціонований відбір електроенергії, що включає у себе втрати через неуплату споживачами або незаконне відведення електроенергії.
2. Внутрішнє несанкціоноване використання електроенергії, коли працівники підприємства незаконно використовують електроенергію для своїх потреб.
3. Паразитні втрати електроенергії, які виникають через технічні або організаційні недоліки у системі електропостачання.
4. Нерівномірний розподіл навантаження, коли електроенергія споживається неоптимально через неефективне розподілення навантаження між різними пристроями або у різні часові інтервали.
5. Недостатній контроль якості електроенергії, який може призводити до втрат через несправність або несумісність електрообладнання.

Однією зі складових якості електроенергії є її інтергармоніки, які наразі досить мало вивчені. Інтергармоніки є важливою складовою, оскільки їх наявність у мережі може призвести до значних економічних збитків у виробництві. Це може відбуватися через погіршення показників якості напруги, таких як асиметрія напруги або ефект флікеру. Тому контроль цих показників є першочерговою задачею для забезпечення сталого виробництва.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Дослідження, проведені у роботі, відповідають передбачуваному розвитку науки і техніки у

напрямку енергетики та енергоефективності відповідно до Закону України «Про пріоритетні напрями розвитку науки і техніки».

Мета й завдання дослідження.

Завдання дослідження включають наступне:

1. Провести аналіз поточного стану методів та засобів визначення інтергармонік у електричних мережах.
2. Вивчити вплив інтергармонік на економічну ефективність електрообладнання.
3. Розробити метод визначення інтергармонічних підгруп на основі побудови оптимальної структури бінарного дерева вейвлет-перетворень.

Об’єкт дослідження. Процес оцінювання якості електричної енергії в децентралізованих системах електропостачання.

Предмет дослідження. Методи та засоби оцінювання якості електричної енергії.

Методи дослідження. Математичні методи, які базуються на пакетних вейвлет-перетвореннях, дозволяють отримати збалансоване бінарне дерево.

Ієрархізація використовується як метод для побудови дерева рішень, що упорядковує існуючі правила, щоб встановити співвідношення кожного об'єкту до вузла.

Методи обробки одномірних масивів використовуються для визначення та ідентифікації інтергармонічних груп.

Методи статистичної обробки даних застосовуються для аналізу значень вузлів оптимального дерева з метою визначення порогових значень.

Наукова новизна одержаних результатів. Спроектовано метод визначення інтергармонічних підгруп, який ґрунтується на створенні оптимальної структури бінарного дерева вейвлет-перетворень з метою синхронізації з основною частотою.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

1. Якість електроенергії визначається комплексом властивостей, що впливають на роботу електрообладнання та контролюються параметрами якості електричної енергії. Проте електрообладнання може створювати завади в мережі, такі як інтергармоніки, що погіршують показники якості електроенергії. Проблема дослідження інтергармонік стає все більш актуальною.
2. Інтергармоніки виникають як додаткові завади до гармонік, що створюються електрообладнанням. Специфіка роботи багатьох пристроїв, таких як перетворювачі частоти чи регульовані електроприводи, призводить до появи інтергармонік, що важливо визначити та вирішити.
3. Поміж стандартними проблемами, які виникають при наявності гармонік, інтергармоніки призводять до різноманітних проблем, таких як перегрів електрообладнання, миготіння світла, порушення сигналів управління, акустичні збурення та інші, що мають серйозний вплив на економічну ефективність електроспоживання.
4. Використання інтергармонічних груп є більш ефективним методом визначення інтергармонік, оскільки методи, що базуються на перетвореннях Фур’є, не завжди забезпечують синхронізацію з основною частотою.
5. Для ефективного дослідження інтергармонічних груп використовують пакетні вейвлет-перетворення для створення балансованого бінарного дерева вейвлет-перетворень.
6. Оскільки інтерес до вирішення проблем, пов'язаних з інтергармоніками, зростає, розробка методу їх визначення з подальшою комерціалізацією може бути важливим кроком для зменшення негативного впливу цих завад на електромережу.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Жаркин А.Ф. Нормативные и технические аспекты обеспечения стандартных характеристик напряжения в системах электроснабжения Украины / А. Ф. Жаркин, В. А. Новский, С. А. Палачев // Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Техніка та електрофізика високих напруг. – Х.: НТУ «ХПІ», 2012. – № 52 (958). – С. 76-83.

2. Характеристики напруги електропостачання в електричних мережах загального призначеності (EN 50160:2010, IDT) : ДСТУ EN 50160: 2014. – [Чинний від 2014-10-01]. – К.Мінекономрозвитку України, 2014. – 33 с. – (Національний стандарт України)

3. Жежеленко И.В. Показатели качества электроэнергии и их контроль на промышленных предприятиях : [3-е издание, переработанное и дополненное] / И.В. Жежеленко, Ю.Л. Саенко. – М.: Энергоатомиздат, 2000. – 252 с.

4. Иванов В.С. Режимы потребления и качество электроэнергии систем электроснабжения промышленных предприятий / В.С. Иванов, В.И. Соколов. – М.: Энергоатомиздат, 1987. – 336 с. – (Экономия топлива и электроэнергии).

7. Мельник Л.Г. Економіка енергетики : [підручник] / Л.Г. Мельник, І.М. Сотник. – Суми: Університетська книга, 2015. – 378 с.

8. Сапунов М. В. Вопросы качества электроэнергии / М. В. Сапунов // Новости электротехники. — 2001. — № 4.

9. Лопатин А.А. Преобразовательная техника : [Конспект лекций] / А.А. Лопатин. – Красноярск: ИПЦ ПИ СФУ, 2007. – 144 с.

10. Гельман М.В. Преобразовательная техника : [учебное пособие] / М.В. Гельман, М.М. Дудкин, К.А. Преображенский. – Челябинск: Издательский центр ЮУрГУ, 2009. – 425 с.

11. O’Connell K. Heating effects Through Harmonic Distortion on Electric Cables in the Built Environment: дис. … доктора. філософії : 23.07.2013 / Kevin O’Connell. – Dublin, 2013. – 237 p.

12. Сапунов М. В. Вопросы качества электроэнергии / М. В. Сапунов // Новости электротехники. — 2001. — № 5.

13. Шидловский А.К. Высшие гармоники в низковольтных электрических сетях / А.К. Шидловский, А.Ф. Жаркин. – Киев: Наукова думка, 2005. – 211 с.

14. Пивняк Г.Г. Інтергармоніки в системах електропостачання / Г.Г. Пивняк, І.В. Жежеленко, Ю.А. Папаїка, О.Г. Лисенко // Науковий вісник НГУ. – 2017. – №6. – С.109-114.

15. Иванов В.С. Режимы потребления и качество электроэнергии систем электроснабжения промышленных предприятий / В.С. Иванов, В.И. Соколов. – М.: Энергоатомиздат, 1987. – 336 с. – (Экономия топлива и электроэнергии).

16. Shah N. Harmonics in power systems Causes, effects and control // Whitepaper [Електронний ресурс]. – USA: Siemens Industry, Inc. – 2013. – Режим доступу: http://usa.siemens.com/lv-drives

17. Білинський Й.Й. Електронні системи : [навчальний посібник] / Й.Й. Білинський, К.В. Огороднік, М.Й. Юкиш. – Вінниця: ВНТУ, 2011. – 208 с.

18. Колєнов С.О. Цифрова обробка інформації : [Методичний посібник до лабораторного практикуму для студентів радіофізичного факультету] – Київ: Радіофізичний факультет Київського національного університету імені Тараса Шевченка, 2008. – 56 с.

19. 11. Воробьев В.И. Теория и практика вейвлет-преобразования / В.И. Воробьев, В.Г. Грибунин. – С.-Петербург: ВУС, 1999. – 204 с.

20. Mehrdad M. Influence of Voltage and Current Harmonics on Behavior of Electric Devices / M. Mehrdad, E.K. Stanek, A.S. Jannati – John Wiley and Sons Inc., 2012. – 136 p.

21. Soltani H. Interharmonics Analysis and Mitigation in Adjustable Speed Driver: дис. … доктора. філософії : 28.02.2016 / Hamid Soltani. – Aalborg, Denmark, 2013. – 133 p.

22. Бурков А.Т. Электронная техника и преобразователи : [Учеб. для вузов ж.-д. трансп.] / А.Т. Бурков. – М.: Транспорт, 1999. – 464 с.

23. Hanzelka Z. Power Quality Application Guide : [Harmonics Interharmonics] / Z.Hanzelka, A. Bien. – AGH University of Science and Technology, 2004. – 22 p.

24. Волошко А.В. Щодо застосування вейвлет-перетворення для визначення та оцінки показників якості електричної енергії / А.В. Волошко, А.Л. Харчук // Енергетика: економіка, технології, екологія. – 2013. – №1. – С. 30-34.