

**Заклад вищої освіти „Подільський державний університет”**  
Факультет енергетики та інформаційних технологій  
Навчально-науковий інститут заочної і дистанційної освіти  
Кафедра електротехніки, електромеханіки і електротехнологій

## **ДИПЛОМНА РОБОТА**

на тему:

### **«ДОСЛІДЖЕННЯ СИСТЕМИ МОНІТОРИНГУ ФЛІКЕРА В СИСТЕМАХ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ»**

**Виконав:**

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

**ЛАВРЕНЮК Віктор Михайлович**

**Керівник 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»  
докт. с-г. наук, канд. техн. наук, доцент

**Олег ТКАЧ**

## ЗМІСТ

<b>ВСТУП</b> .....	9
<b>1 РОЗОСЕРЕДЖЕНА ГЕНЕРАЦІЯ ТА ЇЇ ВПЛИВ НА ЯКІСТЬ ЕЛЕКТРИЧНОЇ ЕНЕРГІЇ В СИСТЕМАХ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ</b> .....	11
1.1 Джерела розосередженої генерації електричної енергії .....	11
1.2 Показники якості електричної енергії.....	19
1.3 Вплив впровадження джерел розосередженої генерації на роботу систем електропостачання.....	29
Висновки до розділу .....	35
<b>2. ВПЛИВ НЕЛІНІЙНИХ СПОЖИВАЧІВ ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ НА НАЯВНІСТЬ ВИЩИХ ГАРМОНІК В ЕЛЕКТРИЧНІЙ МЕРЕЖІ</b> .....	36
2.1 Побудова електричної мережі із наявністю джерел розосередженої генерації .....	36
2.2 Дослідження гармонічного складу електричної енергії, що генерується сонячним, дизель-генератором, вітровою та малою гідроелектростанцією .....	40
2.3 Дослідження взаємного впливу різних джерел енергії на гармонічний склад електричної енергії на дозу флікера .....	42
2.4 Дослідження впливу на дозу флікера інтергармонічних та субгармонічних коливань.....	44
Висновок до розділу.....	47
<b>3 ВИЗНАЧЕННЯ ГАРМОНІЧНОГО СКЛАДУ ТА СТУПЕНЮ СПОТВОРЕННЯ ФОРМИ СИГНАЛУ</b> .....	48
Висновки до розділу .....	61
<b>4 РОЗРОБЛЕННЯ СТАРТАП-ПРОЕКТУ</b> .....	62
4.1 Опис ідеї проекту .....	62
4.2 Технологічний аудит ідеї проекту.....	65
4.3 Аналіз ринкових можливостей запуску стартап-проекту.....	66

4.4 Розроблення ринкової стратегії проекту .....	7
4.5 Розроблення маркетингової програми стартап-проекту .....	75
Висновки до розділу .....	81
<b>ВИСНОВКИ</b> .....	82
<b>СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ</b> .....	84
<b>ДОДАТКИ</b> .....	87

## ВСТУП

**Актуальність теми.** В останні часи спостерігається стрімкий ріст числа установок розподіленої генерації (РГ) у світі, викликаний технічними, політичними та екологічними чинниками. Наразі загальна встановлена потужність РГ в Україні залишається невеликою, і її вплив на енергосистему поки що незначний. Проте зі зростанням встановленої потужності РГ, її вплив на мережу буде збільшуватися.

Україна має значні ресурси вітрової та сонячної енергії. Наприклад, річний технічний потенціал вітрової енергії становить 30 мільярдів кіловат-годин. Використання тихходних багатопалевних вітроенергетичних установок з підвищеним обертовим моментом є ефективним на практиці по всій території України.

До складу системи електропостачання РГ входить різне обладнання, таке як вітро-енергетичні станції (ВЕС), сонячні енергостанції (СЕС), гідроенергетичні станції (ГЕС), гідроакumuлюючі станції (ГАЕС), акумуляторні батареї та перетворювачі для забезпечення живлення і управління.

Впровадження розподіленої генерації на основі відновлюваних джерел є актуальним та можливим на підприємствах. Однак для енергоефективного використання таких мініелектростанцій у структурних системах електропостачання необхідно ретельно аналізувати питання, пов'язані з їх приєднанням. Оцінка впливу РГ є складною науково-технічною задачею, оскільки потребує аналізу різних аспектів, таких як функціонування системи контролю напруги, втрат, якість електроенергії та надійність.

**Мета і задачі дослідження.** З метою підвищення точності та швидкості вимірювання параметрів якості електричної енергії в системі електропостачання на основі аналізу інтер та субгармонік, були вирішені такі завдання:

- Проведено аналіз сучасного стану методів та засобів оцінювання наявності вищих гармонік в електричній мережі.
- Досліджено вплив нелінійних споживачів електричної енергії на

наявність вищих гармонік в електричній мережі та їх спільну роботу.

– Розроблено спосіб та здійснено визначення інтер та субгармонік в електричній мережі.

**Об'єктом дослідження** є процес оцінювання наявності вищих гармонік в електричній мережі.

**Предметом дослідження** є методи та засоби оцінювання наявності вищих гармонік в електричній мережі.

**Методи дослідження.** Магістерська кваліфікаційна робота ґрунтується на методах ортогональних перетворень, методах Фур'є та вейвлет-аналізу. Для проведення досліджень використовувався програмний комплекс Matlab Simulink.

**Наукова новизна одержаних результатів** полягає в наступному:

- Розроблено метод та методика оцінки гармонічного складу електричної напруги шляхом групування інтер та субгармонік, що дозволило здійснювати онлайн моніторинг якості електричної енергії.

- Збільшено швидкість оцінки частоти окремих гармонічних складових та підвищено точність визначення гармонічних та інтергармонічних груп та підгруп в електромережі.

## ВИСНОВКИ

1) Проведено аналіз сучасного стану вироблення та споживання електроенергії в Україні та за її межами, в тому числі звернуто увагу на загальносвітову тенденцію відмови від централізованого енергопостачання. Досліджено перехід від єдиної енергетичної системи до малої розподіленої генерації, що полягає в будівництві компактних або мобільних джерел енергії та розподільних мереж, що постачають теплову та електричну енергію для власних потреб і надлишки в загальну мережу.

2) Для вирішення цієї мети проаналізовано вплив нелінійних споживачів електроенергії на наявність вищих гармонік у електричній мережі. Досліджено сумісну роботу джерел енергії та проблеми оптимального вибору електроенергії та споживання її електроустановками. Виявлено взаємний вплив різних джерел енергії на гармонічний склад електричної енергії.

3) Проведено огляд алгоритмів визначення гармонічного складу та ступеня спотворення сигналу. Звернуто увагу на застосування вейвлет-перетворення для визначення окремих показників якості електричної енергії. Досліджено, що вейвлет-аналіз є найбільш точним методом визначення гармонічного складу напруги та струму у випадку наявності нелінійних викривлень в електричній мережі.

4) Здійснено маркетинговий аналіз стартап-проекту "Впровадження автоматизованої системи показників якості електричної енергії (АСКПЯЕ) на промислових підприємствах", включаючи технологічний аудит ідеї проекту, аналіз ринкових можливостей, розробку ринкової стратегії та програми проекту.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Сінчук О.М., Сінчук І.О., Бойко С.М., Караманиць Ф.І., Ялова О.М., Пархоменко Р.О. Відновлювальні джерела електричної енергії в структурах систем електропостачання залізничних підприємств (Аналіз, перспективи, проекти): монографія. Кривий Ріг: Видавництво ПП Щербатих О.В., 2017.152 с.
2. Бойко С.М., Некрасов А.В., Борисенко О.М., Бондарець О.А., Онищенко А.О. Аспекти моделі прогнозування електроспоживання підприємств за умови впровадження до системи їх електропостачання розосередженої генерації. Вчені записки ТНУ ім. В.І. Вернадського. Серія: технічні науки, том 29 (68) ч.2 №6 2018 с. 30.
3. Розпорядженням КМУ від 18 серпня 2017 р. № 605-р Енергетична стратегія України до 2035 року «Безпека енергоефективність конкурентноспроможність».
4. Франк Майсснер і Фалько Укердт Розвиток відновлюваних джерел енергії в Україні: потенціал, перешкоди і рекомендації щодо економічної політики. 2010 BE Berlin Economics GmbH.
5. А. Рожко Міжнародне партнерство України в сфері відновлюваної енергетики//Наука молода №19, 2013.с.77-82.
6. Розвиток відновлюваних джерел в Україні: потенціал, перешкоди і рекомендації щодо економічної політики (18.11.2010) [Електронний ресурс]. – Режим доступу: [http://www.ier.com.ua/files/Projects/2010/2010\\_13/BE-Studie-Erneuerbare\\_Energien-ukr\\_final.pdf](http://www.ier.com.ua/files/Projects/2010/2010_13/BE-Studie-Erneuerbare_Energien-ukr_final.pdf).
7. ДСТУ:EN 50160-2014 «Норми якості електричної енергії в системах електропостачання загального призначення».
8. Шестеренко В.Є. Оптимізація систем електроспоживання промислових підприємств / В.Є. Шестеренко –К. ЧП “Глана”, 2001.с.- 213.

9. О. О. Синявська, П. В. Слюсарчук. Ряди Фур'є. Навчальний посібник для студентів спеціальностей математика, прикладна математика, статистика. – Ужгород, 2015. – 70 с.
10. Харченко В.Ф. Електропостачання міст і промислових підприємств: Конспект лекцій для студентів 4 - 5 курсів денної і заочної форм навчання напряму підготовки 0906 „Електротехніка” (6.050701 „Електротехніка та електротехнології”) / В.Ф. Харченко; Харк. нац. акад. міськ. госп-ва. – Х.: ХНАМГ, 2011. – 168 с.
11. Основи вітроенергетики: підручник / Г. Півняк, Ф. Шкрабець, О75 Н. Нойбергер, Д. Ципленков; М-во освіти і науки України, Нац. гірн. ун-т. – Д.: НГУ, 2015. – 335 с.
12. Навчальний посібник за курсом "Автономні перетворювачі" для студентів спеціальності 7.090803, 8.090803 "Електронні системи" денної і заочної форм навчання / Укладачі: О.О. Махно, В.В. Семенов, О.В. Будьонний, Н.А. Омельчук / За редакцією В.Я. Жуйкова – Запоріжжя: ЗДІА, 2009. – 126 с.
13. Шкрабець Ф.П. Електропостачання: навч. посіб. / Ф.П. Шкрабець; М-во освіти і науки України, Нац. гірн. ун-т. – Д.: НГУ, 2015. – 540 с.
14. Волошко А.В. Выполнение гармонического анализа с помощью вейвлет преобразования//Электронное моделирование. – 2012. – « 4. – С. 65 – 77.
15. Волошко А.В. Устранение влияния неустойчивости частоты сети на точность определения качества электрической энергии/А.В. Волошко, О.В. Коцарь//Техническая электродинамика. – 1994. – « 4. – С. 73 – 77.



16. Перелигін Б.В., Ткач Т.Б., Гор'єв С.А. Спектрально-часовий аналіз даних моніторинга: навчальний посібник / Одеський державний екологічний університет. Одеса: ТЕС, 2017. 124 с.

17. Волошко А.В. Выполнение гармонического анализа с помощью вейвлетпреобразования//Электронное моделирование. – 2012. – « 4. – С. 65 – 77.

18. Методичні рекомендації до виконання розділу магістерських дисертацій для студентів інженерних спеціальностей «Розроблення стартар-проекту»/ Київ, НТУУ «КПІ ім. Ігоря Сікорського», 2016 р.

19. СОУ НЕК 03.120.4-14:2019/Забезпечення контролю і дотримання показників якості електричної енергії у процесі її передачі магістральними та міждержавними електричними мережами ДП «НЕК «УКРЕНЕРГО»/ ДП «НЕК «Укренерго», 2019.

