

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

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА
на тему:
**ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ ВІДНОВЛЮВАЛЬНИХ
ДЖЕРЕЛ ЕНЕРГІЇ НА ЕЛЕКТРИЧНУ МЕРЕЖУ**

Виконав:

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

_____ **Ігор ПЕТРУНЯК**

Керівник: канд. техн. наук, доцент

_____ **Юрій ПАНЦИР**

Оцінка захисту:

Національна шкала _____
Кількість балів _____ Шкала ECTS _____

Допускається до захисту:

«_____» _____ 2024 р.

Гарант освітньої програми

«Електроенергетика,

електротехніка та електромеханіка»

спеціальності 141 «Електроенергетика,

електротехніка та електромеханіка»

кандидат технічних наук, доцент _____ **Павло ПОТАПСЬКИЙ**

м. Кам'янець-Подільський, 2024р.

ЗМІСТ

ВСТУП	6
РОЗДІЛ 1. ВИКОРИСТАННЯ ІНФОРМАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ ДЛЯ ІМПЛЕМЕНТАЦІЇ ВІДНОВЛЮВАЛЬНИХ ДЖЕРЕЛ ЕНЕРГІЇ В ЕНЕРГОСИСТЕМУ	8
1.1 Аналіз поточного стану енергосистеми України.....	9
1.2 Сучасний стан використання відновлювальних джерел енергії в Об'єднаній енергетичній системі України	12
1.3 Інтегрування відновлювальних джерел енергії засобами SMART GRID	14
1.4 Впровадження систем АСУ ТП і РЗА в Україні	21
1.5 Аналіз проектів цифрових підстанцій.....	22
1.6 Завдання, структура та функції сучасних автоматизованих систем комерційного обліку електроенергії	27
1.7 Досвід закордонних країн в інтегруванні відновлюваних джерел енергії.....	32
1.7.1 Енергетичні стратегії країн Європейського Союзу та деяких країн світу.....	37
1.8 Аналіз впровадження ВДЕ в Україні	42
РОЗДІЛ 2. НАКОПИЧУВАЧІ ЕНЕРГІЇ, ЯК ЗАСІБ ОПТИМАЛЬНОГО ІНТЕГРУВАННЯ ВДЕ В ЕЛЕКТРИЧНІ МЕРЕЖІ	46
2.1 Основні відомості про накопичувачі енергії.....	48
2.2 Гідроакумулючі електростанції.....	48
2.3 Інерційні накопичувачі енергії	52
2.4 Електрохімічні накопичувачі.....	56
2.4.1 Акумуляторні батареї	57
2.4.2 Регенеративні установки з воднево-кисневими ЕХН.....	58
2.4.3 «Розплавлений акумулятор»	62
2.4.4 Накопичувачі стиснутого повітря	63

2.5 Ємнісні накопичувачі	68
2.6 Надпровідникові індуктивні накопичувачі електричної енергії.....	69
РОЗДІЛ 3. ТЕХНІЧНІ АСПЕКТИ ВПРОВАДЖЕННЯ	
ВІДНОВЛЮВАЛЬНИХ ДЖЕРЕЛ ЕНЕРГІЇ	74
3.1 Вплив ВДЕ на роботу електричних мереж.....	74
3.1.1 Вплив на відхилення напруги в вузлах електричної мережі	75
3.1.2 Вплив на втрати електричної енергії в електричній мережі.....	76
3.1.3 Аналіз впливу РДЕ на режими роботи електричних мереж.....	77
3.1.4 Вплив на релейний захист та автоматику	83
3.2 Методи та засоби оптимального інтегрування РДЕ в РЕМ	84
РОЗДІЛ 4. ОЦІНЮВАННЯ ВПЛИВУ ВІДНОВЛЮВАНИХ ДЖЕРЕЛ	
ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ НА ФУНКЦІОНУВАННЯ ЕЛЕКТРИЧНИХ МЕРЕЖ...	86
4.1 Необхідність стимулювання розвитку ВДЕ в Україні та механізми їх підтримки	87
РОЗДІЛ 5. ВПЛИВ ВІДНОВЛЮВАНИХ ДЖЕРЕЛ ЕНЕРГІЇ НА ОПТОВИЙ	
ТАРИФ НА ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЮ.....	89
РОЗДІЛ 6. ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ	
СИТУАЦІЯХ	95
6.1 Задачі розділу.....	95
6.2 Аналіз умов робіт пов'язаних з обслуговуванням ВДЕ, які працюють в складі електроенергетичної системи України.....	97
6.3 Розрахунок захисного заземлення для обладнання в РП-10 кВ.....	97
6.4 Пожежна безпека будівлі РП-10 кВ.....	101
ВИСНОВКИ.....	103
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	105

ВСТУП

Світова електроенергетика традиційно розвивалася шляхом централізації систем генерування при створенні все більш потужного енергетичного обладнання та його об'єднання в енергетичні комплекси. В останні роки спостерігається стійка тенденція до зміни загальної концепції розвитку енергетики. Мова йде про впровадження нової ідеології – енергетики сталого розвитку [1]. Одним з основних елементів такої ідеології є впровадження джерел розподіленого генерування (РГ) – енергетичних установок невеликої потужності. Серед останніх найбільш розповсюдженими є вітрові електростанції (ВЕС) сумарна потужність яких станом на 2015 рік становила 356 ГВт [3] та сонячна енергетика, частка сонячної енергії у світовому споживанні нині становить близько 2% загальною потужністю сонячних електростанцій (СЕС) 280 ГВт [3].

Метою роботи є дослідження засобів інтегрування відновлювальних джерел енергії в електричні мережі для отримання максимального ефекту від їх функціонування

Об'єктом роботи є відновлювальні джерела електроенергії електричних мереж.

Предметом дослідження є методи та засоби підвищення ефективності функціонування відновлювальних джерел енергії електричних мереж.

Відповідно до мети в роботі розв'язані наступні **задачі**:

- дослідження існуючих засобів інтегрування відновлювальних джерел енергії в електричні мережі.
- аналіз основних засад концепції Smart Grid;
- аналіз існуючих накопичувачів, для інтегрування відновлювальних джерел в електричні мережі;
- оцінювання впливу відновлювальних джерел на втрати потужності в електричних мережах.

Методи дослідження. У процесі дослідження застосовувались методи математичного моделювання та чисельні методи визначення оптимальної

встановленої потужності РДЕ в локальній електричній системі. Статистичні методи оброблення інформації використано для аналізу результатів розрахунків та перевірки справедливості отриманих теоретичних положень.

Наукова новизна. Полягає у обгрутуванні ефективності способів оцінки стану розподільних мереж з відновлюваними джерелами енергії.

Особистий внесок. Усі результати, які складають основний зміст роботи отримані автором самостійно.

Апробація результатів роботи. Головні результати кваліфікаційної роботи доповідалися на IV Всеукраїнській студентській науково - практичній конференції «Ефективне використання енергії: стан і перспективи» 09 листопада 2024 року.

Публікації. Ігор ПЕТРУНЯК / ПІДВИЩЕННЯ НАДІЙНОСТІ РОБОТИ РОЗПОДІЛЬНИХ ЕЛЕКТРИЧНИХ МЕРЕЖ // IV Всеукраїнська студентська науково-практична конференція «Ефективне використання енергії: стан і перспективи» (09 листопада 2024 року) / Заклад вищої освіти «Подільський державний університет». Кам'янець – Подільський. 2024.

ВИСНОВКИ

Робота енергетичної галузі в умовах функціонування енергоринку висуває підвищені вимоги до системи обліку, а саме, до рівня її автоматизації, точності, надійності і цілісності. Точність і достовірність системи обліку, в першу чергу, визначається засобами застосовуваної інформаційно-вимірювальної техніки, а також принципами її використання.

Слід зазначити, що в даний час є велика кількість АСКОЕ різного масштабу, накопичений значний досвід їх експлуатації, тому для виявлення переваг та недоліків АСКОЕ, а також тенденцій їх розвитку, доцільно розглянути найбільш типові з них [8].

Одним з шляхів компенсації імовірнісного характеру генерування ВДЕ є накопичувачі. Накопичувачі електричної енергії володіють найбільшим діапазоном енергоємності і високою швидкодією. Отже, вони можуть використовуватися як для вирівнювання графіків навантаження, так і для підвищення стійкості і надійності ЕЕС. Вони інваріантні до місця установки, можуть бути розташовані в центрах навантаження і безпосередньо у споживача. Накопичувачі електричної енергії практично безшумні в роботі, достатньо надійні, оскільки не мають рухомих частин. Отже, їх можна комплексно використовувати в ЕЕС.

Складність задачі оцінювання впливу режимів роботи РДЕ на втрати потужності в ЕМ полягає в тому, що втрати потужності залежать від перетоків у вітках схеми мережі нелінійно і прямо скористатися методом накладання неможливо. На даний момент в інженерній практиці використовується ряд методів, що дозволяють виконувати розрахунок зазначеної складової втрат як з однозначно заданою інформацією, так і з імовірісно-статистичним оцінюванням втрат. Використання даних методів в розімкнених розподільних мережах, як правило, призводить до виникнення похибки, допустимої на етапі планування режимів ЕМ.

Однак, у замкнених розподільних ЕМ збільшується вплив нелінійності функції втрат потужності, що може викликати суттєві помилки обчислення додаткових технічних втрат електроенергії у випадку відхилення режиму ЕМ від планового.

Засвідчую, що у цій кваліфікаційній роботі немає запозичень з праць інших авторів без відповідних посилань.

Здобувач вищої освіти _____ Ігор ПЕТРУНЯК

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Стогній Б.С. Інтелектуальні електричні мережі електроенергетичних систем та їхнє технологічне забезпечення / Б.С. Стогній, О.В. Кириленко, С.П. Денисюк // Техн. електродинаміка. – 2010. – № 6. – С. 44–50.
2. R. W. Wies, R. A. Johnson, J. Aspnes. Design of an energy efficient standalone distributed generation system employing renewable energy sources and smart grid technology // Proceedings of IEEE Power & Energy Society General Meeting. – 2010. – P. 1-8.
3. Кириленко О. В., Трач І. В. Технічні особливості функціонування енергосистем при інтеграції джерел розподіленої генерації / О. В. Кириленко, І. В. Трач // Праці Інституту електродинаміки НАН України. – 2009. – Вип. 24. – С. 3–7. – ISSN 1727-9895.
4. Рубаненко О.О. Використання локальних джерел електроенергії для оптимізації структури ЕЕС. / Рубаненко О.О., Матвійчук В.А., Собчук Н.В. // Вісник Хмельницького національного університету. Серія: Технічні науки . – 2018. – № 4.– С. 208-214.
5. Рубаненко О.О. Моніторинг технічного стану електричних мереж з ізольованою нейтраллю на основі розподіленої системи RC-фільтрів з обмежувачами перенапруг та телеметрією напру / Рубаненко О.О., Матвієнко С.В., Янович В.П., Явдик В.В. // Збірник наукових праць ВНАУ: Серія техніка, енергетика транспорт АПК– 2018. – № 2. – С. 48-53
6. Тугай Ю.І. Інтеграція поновлюваних джерел енергії в розподільні електричні мережі сільських регіонів / Ю.І. Тугай, В.В. Козирський, О.В. Гай, В.М. Бодунов // Технічна електродинаміка.– 2011.– № 5. – С. 63-67.
7. NIST Releases Report on Smart Grid Development // National Institute of Standards and Technology (USA) – Recognized Standards for Inclusion In the Smart Grid Interoperability Standards Framework, Release 1.0 (електронний ресурс). Режим доступу: http://collaborate.nist.gov/twiki-sggrid/bin/view/_SmartGridInterimRoadmap/InterimRoadmapFinal.

8. Національному плані дій з розвитку ВДЕ (Розпорядження КМУ № 902-р від 01.10.14). В проекті ж НЕС планується досягнення «понад 7%» ВДЕ в кінцевому споживанні

9. Sharat Ranjan. DECENTRALISED POWER GENERATION AND DISTRIBUTION // Proceedings of the Himalayan Small Hydropower Summit. – Dehradun, India. – 2006. – P. 147-155.

10. Taro Kondo, Jumpei Baba, Akihiko Yokoyama. Voltage control of distribution network with a large penetration of photovoltaic generations using FACTS devices // IEEE Transactions on Power and Energy. – 2006. – Vol. 126. – № 3. – P. 347-358.

11. B. Mahdad, K. Srairi and T. Bouktir. Optimal coordination and penetration of distributed generation with shunt FACTS using GA/fuzzy rules // Journal of Electrical Engineering & Technology. – 2009. – Vol. 4. – № 1. – P. 1-12.

12. H. Hatta, S. Uemura and H. Kobayashi. Cooperative control of distribution system with customer equipments to reduce reverse power flow from distributed generation // Proceedings of IEEE Power&Energy Society General Meeting. – 2010. – P. 1-6.

13. Кулик В.В. Оптимальне керування розосередженими джерелами електроенергії з асинхронними генераторами засобами Smart Grid [Електронний ресурс] / В.В. Кулик, Т.Є. Магас, Ю.В. Малогулко // Наукові праці ВНТУ. Енергетика та електротехніка. – 2011. – №4. – С. 1-6. Режим доступу: <http://praci.vntu.edu.ua/article/view/1404/999>. – ISSN 2307-5376.

14. Бурикін О.Б. Оптимізація режиму локальних електричних систем з відновлюваними джерелами енергії [Текст] / О.Б. Бурикін, Ю.В. Малогулко // Наукові праці Донецького національного технічного університету. Серія «Електротехніка та електротехнології». – 2013. – №2. – Вип. 15 (338). – С. 42-46. – ISSN 2074-2630.

15. Кулик В.В. Оптимізація перетікань активної та реактивної потужностей у розподільних електромережах засобами розосередженого

генерування [Текст] / В.В. Кулик, О.Б. Бурикін, Ю.В. Малогулко // Вісник Вінницького політехнічного університету. Енергетика та електротехніка. – 2014. – №1. – С. 90-93. – ISSN: 1997-9274.

16. Рубаненко О.Є. Вдосконалення математичного забезпечення комп'ютерних систем оптимізації режимів локальних електричних систем з відновлюваними джерелами енергії [Текст] / О.Є. Рубаненко, О.Б. Бурикін, Ю.В. Малогулко // Науковий вісник Чернівецького університету. Серія «Комп'ютерні системи та компоненти». – 2014. – №2 (5). – С. 85-93. – ISSN 2311-9276.

17. Лежнюк П.Д. Оптимізація функціонування розосереджених джерел енергії в локальних електричних системах. енергії [Текст] / П.Д. Лежнюк, О.Є. Рубаненко, Ю.В. Малогулко // Вісник Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут». – 2014. – №60 (1102). – С. 68-77. – ISSN 2079-4525.

18. Кулик В.В. Дослідження ефективності сумісної експлуатації локальних електричних мереж з ВДЕ та систем централізованого електропостачання [Текст] / В.В. Кулик, О.Б. Бурикін, Ю.В. Малогулко // Вісник Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут». Серія «Гірництво». Електрифікація та автоматизація гірничих робіт». – 2014. – Вип. 25. – С. 113-120. – ISSN 2079-5688.

19. Бурикін О.Б. Стандартизація функціонування локальних енергосистем при їх інтеграції у системи централізованого живлення на базі концепції Smart Grid [Текст] / О.Б. Бурикін, Ю.В. Томашевський, Ю.В. Малогулко // Енергетика и электрификация. – 2012. – № 12. – С. 46-48. – ISSN 0424-9879.

20. Кулик В.В. Оптимальне керування відновлюваними джерелами електроенергії на підставі Smart Grid / В.В. Кулик, О.Б. Бурикін, Ю.В. Малогулко // Відновлювана енергетика XXI століття: XII міжнарод. наук.-техн. конф.: матеріали конференції. – АР Крим: Інститут відновлюваної

енергетики НАН України, 2011.

21. Бурикін О.Б. Перспективи інтеграції розподілених джерел енергії у локальні енергосистеми на базі концепції Smart Grid / О.Б. Бурикін, Ю.В. Малогулко // «Підвищення рівня ефективності енергоспоживання в електротехнічних пристроях і системах». IV міжнарод. наук.-техн. конф.: матеріали конференції. – Луцьк : РВВ ЛНТУ, 2012. – С. 37 – 40.

22. Бурикін О.Б. Спосіб узгодження графіків генерування сонячних електростанцій та споживачів енергії локальних електричних систем / О.Б. Бурикін, Ю.В. Малогулко, О.В. Нікіторович // Відновлювана енергетика XXI століття: XV міжнарод. наук.-техн. конф.: матеріали конференції. – Київ: Інститут відновлювальної енергетики НАН України, 2014. – С. 52-55.

23. Малогулко Ю.В. Ефективність сумісної експлуатації локальних електричних мереж з відновлюваними джерелами енергії / Ю.В. Малогулко // «Підвищення рівня ефективності енергоспоживання в електротехнічних пристроях і системах». V міжнарод. наук.-техн. конф.: матеріали конференції. – Луцьк: РВВ ЛНТУ, 2014. – С. 146-149.

24. European Smart Grid, 2011 [Online]. Available: <http://www.smartgrids.eu/>.

25. National Institute of Standards and Technology, Standards Identified for Inclusion in the Smart Grid Interoperability Standards Framework, Release 1.0, Sept. 2009, [Online]. Available: <http://www.nist.gov/smartgrid/standards.html>.

26. M. Uslar, S. Rohjans, R. Bleiker, J. González, M. Specht, T. Suding and T. Weidelt. SURVEY OF SMART GRID STANDARDIZATION STUDIES AND RECOMMENDATIONS // Proceedings of 2010 Innovative Smart Grid Technologies Conf. Europe (ISGT Europe), Gothenburg, Oct. 2010.

27. Electric Power Research Institute Tech. Rep. – THE SMART GRID INTEROPERABILITY STANDARDS ROADMAP. – Aug. 2009, [Online]. Available:http://collaborate.nist.gov/twikisggrid/pub/SmartGridInterimRoadmap/InterimRoadmapFinal/Report_to_NIST1August10.pdf

28. Reed, G.F., Philip, P.A., Barchowsky, A., Lippert, C. J., Sparancino, A. – SAMPLE SURVEY OF SMART GRID APPROACHES AND TECHNOLOGY GAP ANALYSIS // Proceedings of 2010 Innovative Smart Grid

Technologies Conf. Europe (ISGT Europe), pp. 1-8, Gothenburg, Oct. 2010.

27. Буславець О. А., Кулик В. В., Лежнюк П. Д., Тептя В. В. Оцінювання впливу відновлюваних джерел електроенергії на функціонування електричних мереж [Електронний ресурс]. Режим доступу: journals.uran.ua/index.php/wissn021/article/download/.../55376

28. Рубаненко О.Є. Дослідження системи моніторингу параметрів режиму роботі сонячної панелі. / О.Є. Рубаненко, О.О. Рубаненко, І.О. Гунько // Техніка, енергетика, транспорт АПК. – 2018. – №1 (100). – С. 91-98

29. European Smart Grids Technology Platform // European Commission. Directorate-General for Research Sustainable Energy System, EUR 22040, 2006. – 44 p.

30. Інтегрування відновлювальних джерел енергії засобами SMART GRID Клендій Г.Я., Піхура В. С. Матеріали І Міжнародної науково-практичної конференції «Сталий розвиток аграрної сфери: інженерно-економічне забезпечення» . - Бережани, 2020 – С.216-217.

31. Методичні рекомендації щодо виконання та оформлення кваліфікаційної роботи магістра / Т.Д.Гуцол, Л.М.Михайлова, І.Д.Гарасимчук, В.М.Дубік, О.В.Ткач, П.В.Потапський. (За загальною редакцією Михайлової Л. М.) – ПДАТУ, 2019. – 30 с.

32. Основи безпечної експлуатації електроустановок: Підручник / С. В. Панченко, О. І. Акімов, М. М. Бабаєв та ін. – Харків: УкрДУЗТ, 2021. – 149 с.

33. Система дистанційного навчання Moodle 2.7. – «ЗВО «ПДУ»». Режим доступу: <http://pdatu.net.ua/>. – Назва з екрана.