

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

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА
на тему:
**РОЗРОБКА ТА ДОСЛІДЖЕННЯ МІКРОМЕРЕЖІ
ПОСТІЙНОГО СТРУМУ МАЛОПОТУЖНОЇ ВІТРОВОЇ
ТУРБИНИ ДЛЯ ЖИВЛЕННЯ ПОБУТОВИХ
СПОЖИВАЧІВ**

Виконав:

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

_____ **Іван БУРТНЯК**

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

1 АНАЛІТИЧНИЙ РОЗДІЛ	9
1.1 Мікромережі постійного струму	9
1.2 Робота мікромереж постійного струму в ізольованому режимі.....	12
1.3 Малі вітрові турбін.....	13
1.4 Компоненти малих вітрових турбін	17
1.5 Висновки до розділу	23
2 ПРОЕКТНО-КОНСТРУКТОРСЬКИЙ РОЗДІЛ.....	
2.1 Особливості генерування електроенергії в мікромережі постійного струму	24
2.2 Автономна ВЕУ в мікромережах постійного струму.....	25
2.3 Вибір місця для розміщення МВТ.....	26
2.4 Технології МВТ.....	27
2.5 Характеристики МВТ	29
2.6 Малі вітрогенератори зі змінною швидкістю	31
2.7 Синхронний генератор з постійними магнітами (СГПМ)	33
2.8 Перетворювачі потужності для МВТ.....	35
2.10 Підвищувальний перетворювач постійного струму.....	37
2.12 Мікромережа постійного струму на основі МВТ з керуванням Р&О МРРТ	39
2.13 Реалізація МРРТ для підвищувального перетворювача постійного струму	41
2.14 Висновки до розділу	43
3 РОЗРАХУНКОВО-ДОСЛІДНИЦЬКИЙ РОЗДІЛ.....	44
3.1 Опис мікромережі	44
3.2 Профіль навантаження	45
3.3 Розробка моделі.....	46
3.3.1 Аеродинамічне моделювання вітрової турбіни	46
3.3.2 Моделювання СГПМ	49
3.3.3 Динамічна модель ПМСГ.....	49
3.4 Моделювання силової електроніки	51

3.4.1 Моделювання перетворювача змінного струму в постійний.....	51
3.4.2 Підвищувальний перетворювач постійного струму в постійний.....	52
3.4.2.1 Конструктивні особливості.....	52
3.4.2.2 Залежність між напругою і струмом.....	53
3.4.3 Пульсації напруги	57
3.5 Керування підвищувальним перетворювачем для отримання максимальної потужності.....	58
3.6 Стратегія керування методом збурення та спостереження	59
3.7 Загальний опис блок-схеми вітроенергетичної системи	64
3.7.1 Модель малої вітрової турбіни	66
3.7.2 Модель електричної системи.....	66
3.7.3 Імітаційна модель керування	66
3.8 Результати моделювання.....	67
3.8.1 Результати роботи вітрової турбіни	67
3.8.2 Результати моделювання МВТ	69
3.8.3 Аналіз результатів роботи підвищувального перетворювача постійного струму	72
3.9 Висновки до розділу	77
4 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ.....	
4.1 Вплив шуму на організм людини та розробка заходів щодо його зниженню до допустимих величин.....	79
4.2 Особливості електротравматизму, електричний струм як чинник небезпеки	80
4.3 Цивільний захист на об'єкті енергетики	82
4.4 Організація оповіщення персоналу об'єктів та населення про НС техно-генного і природного характеру	83
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ	85
ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ	86

ВСТУП

Актуальність теми.

Внаслідок екологічних проблем, вичерпання викопного палива та зростання попиту на енергію, проникнення відновлюваних джерел розширюється з кожним днем. Однак, через свою залежність від погодних умов, відновлювані джерела створюють нові виклики для енергосистеми. Для того, щоб інтегрувати ці джерела в традиційну енергосистему, необхідно змінити структуру енергосистеми. Концепція мікромереж розглядається як відповідне рішення для інтеграції відновлюваних джерел в енергосистему. Мікромережі - це невеликі енергосистеми з можливостями управління, що працюють в режимі підключення до мережі та в автономному режимі. Мікромережі можна класифікувати як мікромережі постійного струму, змінного струму або гібридні мікромережі. Мікромережі постійного струму з'явилися як стійкі рішення, що поєднують в собі як зберігання енергії, так і розподілену генерацію для забезпечення електроенергією навантажень постійного струму, таких як світлодіодні ліхтарі, комп'ютерні зарядні пристрої, електромобілі, комп'ютери, ноутбуки, телевізори, планшети, телефони, принтери тощо. У даній кваліфікаційній роботі розглядається мікромережа постійного струму на основі малої вітрової турбіни.

Мікромережі постійного струму мають наступні переваги над традиційними електромережами змінного струму, зокрема:

- Підвищена ефективність: Мікромережі постійного струму усувають необхідність перетворення енергії з постійного струму в змінний, що призводить до вищої ефективності та менших втрат енергії.
- Більша гнучкість: Мікромережі постійного струму можуть включати широкий спектр джерел енергії та технологій зберігання енергії, що забезпечує більшу гнучкість та адаптивність.

- Підвищена надійність: Мікромережі постійного струму можуть працювати незалежно від основної електромережі, забезпечуючи резервне живлення в разі відключення електроенергії або інших збоїв.

- Нижчі витрати: Мікромережі постійного струму можуть бути встановлені за нижчою вартістю порівняно з традиційними електромережами змінного струму, особливо у віддалених або автономних районах.

Отже технологія постійного струму має очевидні технічні переваги у світі, де домінують локальні системи зберігання енергії, акумулятори, електромобілі, світлодіодне освітлення, фотоелектричні модулі, цифрове обладнання та енергоефективні системи опалення, вентиляції та кондиціонування. Впровадження технології постійного струму підвищить ефективність перетворення та можливості передачі енергії, одночасно знижуючи інвестиційні та експлуатаційні витрати.

Мета і завдання дослідження. Метою даної роботи є: розробка автономної мікромережі постійного струму на основі вітротурбіни потужністю 3 кВт для забезпечення електроживлення побутових приладів.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити такі завдання:

1. Провести огляд роботи мікромереж постійного струму.
2. Проаналізувати алгоритми відстеження точки максимальної потужності вітрових турбін.
3. Розробити модель мікромережі постійного струму малої вітротурбіни.
4. Розробити модель мікромережі постійного струму малої вітрової турбіни в MATLAB Simulink.

Об'єкт дослідження – процес перетворення енергії вітру у електроенергію та її подальший розподіл.

Предмет дослідження – мікромережа постійного струму, у складі якої функціонує малий вітрогенератор.

Наукова новизна отриманих результатів.

Дістав подальший розвиток підхід до моделювання електромережі, до якої входять вітрогенератор на основі синхронного генератора з постійними

магнітами, діодний випрямляч і підвищувальний перетворювач постійного струму.

Практичне значення отриманих результатів.

Мікромережі постійного струму є практичним рішенням, що включає в себе зберігання енергії та розподілену генерацію для забезпечення живлення різних типів навантажень постійного струму, включаючи світлодіодні ліхтарі, електромобілі, комп'ютери, ноутбуки, телевізори, планшети, телефони, принтери тощо. Крім того, системи постійного струму стають ефективним рішенням для промислового використання. Енергогенеруючі установки на основі відновлювальних джерел енергії, такі як фотоелектричні панелі та паливні елементи, можуть бути легко інтегровані з системами постійного струму.

Апробація. Результати досліджень за темою кваліфікаційної роботи були представлені на IV Всеукраїнській студентській науково-практичній конференції «Ефективне використання енергії: стан і перспективи» 09 листопада 2024 року.

Структура роботи. Робота складається зі вступу, 4 розділів, висновків, переліку посилань (30 найменувань) .

Загальний обсяг текстової частини – 89 сторінок, 5 таблиць, 47 рисунків.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

Дана робота присвячене проектуванню та моделюванню мікромережі постійного струму невеликої вітрової турбіни для забезпечення електроенергією побутового навантаження у випадку дефіциту або перебоїв в електропостачанні.

1. Проведено огляд роботи мікромереж постійного струму в автономному режимі, а також малих вітрових турбін, включаючи їх компоненти та поточний ринок.
2. Виконано огляд підходів до керування потужністю вітрових турбін та алгоритми відстеження точки максимальної потужності.
3. Проведено коротке дослідження автономної малої вітрової турбіни в мікромережах постійного струму, в тому числі вибір місця, технології, топології силових електронних перетворювачів та методи визначення точки максимальної потужності.
4. Розроблено модель мікромережі постійного струму малої вітротурбіни і описано профіль навантаження, модель аеродинаміки вітру, модель компонент мікромережі, такі як синхронний генератор з постійними магнітами, повномостовий діодний випрямляч і підвищувальний перетворювач постійного струму в постійний.
5. Для перевірки ефективності розробленої системи розроблена модель мікромережі постійного струму малої вітрової турбіни в MATLAB Simulink. Загальні результати показали хорошу продуктивність системи.

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

Здобувач вищої освіти _____ Іван БУРТНЯК

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Буртняк І. В. Відновлювальні джерела енергії як шлях для надійного електропостачання // І. В. Буртняк ; П. В. Потапський; М. В. Вусатий; / 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.
2. Левчук П. П. Зарядка електричних транспортних засобів на основі безпроводної передачі енергії / П. П. Левчук, В. П. Коваль // Збірник тез доповідей IX Міжнародної науково-технічної конференції молодих учених та студентів „Актуальні задачі сучасних технологій“, 25-26 листопада 2020 року. — Т. : ТНТУ, 2020. — Том 2. — С. 117. — (Електротехніка та енергозбереження).
3. Kumar, J., Agarwal, A., & Agarwal, V. (2019). A review on overall control of DC microgrids. Journal of energy storage, 21, 113-138.
4. Bohdan Orobchuk, Ivan Sysak, Oleh Buniak, Serhii Babiuk, Vadym Koval (2023) Development of the reactive power compensation laboratory bench and its integration into the training simulator of dispatch control system. The 3rd International Workshop on Information Technologies: Theoretical and Applied Problems 2023 (ITTAP 2023).
5. Коваль В. П. Підвищення ефективності використання вітрового потоку у вітрових енергоустановках / В. П. Коваль // Матеріали Міжнародної науково-технічної конференції „Фундаментальні та прикладні 75 проблеми сучасних технологій— до 60-річчя з дня заснування Тернопільського національного технічного університету імені Івана Пулюя та 175-річчя з дня народження Івана Пулюя, 14-15 травня 2020 року. — Т. : ТНТУ, 2020. — С. 204.
6. Vadym Koval, Serhii Martsenko, Myroslav Zin (2023). Designing and Implementing Intelligent Lighting Control System. The 1st International Workshop on Computer Information Technologies in Industry 4.0 (CITI 2023). Ternopil, Ukraine, June 14-16, Vol. 3468, Pages 241-249
7. Керя Ю.Б. Роль системи накопичення енергії у електроенергетичній

системі //Ю.Б.Керя, В.П.Коваль /Актуальні задачі сучасних технологій : зб. тез доповідей XI міжнар. наук.-практ. конф. Молодих учених та студентів, (Тернопіль, 7–8 груд. 2022.) / М-во освіти і науки України, Терн. націон.техн. ун-т ім. І. Пулюя [та ін.]. – Тернопіль: ФОП Паляниця В. А., 2022. – С. 68.

8. Коваль В. П. Суміщене електропостачання від поновлювальних джерел енергії / Вадим Коваль // Матеріали IV Міжнародної науково-технічної конференції „Теоретичні та прикладні аспекти радіотехніки, приладобудування і комп’ютерних технологій— присвячена 80-ти річчю з дня народження професора Я.І. Проця, 20-21 червня 2019 року. — Т. : ФОП Паляниця В. А., 2019. — С. 294.

9. Філюк Я. О. Світлотехнічні установки з автономним живленням на основі сонячних батарей з акумулюючими елементами / Філюк Я. О., Андрійчук В. А., Коваль В. П. // Матеріали міжнародної науково-практичної конференції „Сучасні особливості формування і управління інноваційним потенціалом регіонального розвитку туризму та рекреації із залученням молодіжного ресурсу“, 15-17 жовтня 2015 року — Т. : ТНТУ, 2015 — С. 185-186.

10. Рудик А. І. Енергоефективність двороторної вітроенергетичної установки / А. І. Рудик, В. П. Коваль // XI Міжнародна науково-практична конференція молодих учених та студентів „Актуальні задачі сучасних технологій“, 7-8 грудня 2022 року. — Т. : ТНТУ, 2022. — С. 70. — (Електротехніка та енергозбереження).

11. Kishore, R. A., Coudron, T., & Priya, S. (2013). Small-scale wind energy portable turbine (SWEPT). Journal of wind engineering and industrial aerodynamics, 116, 21-31.

12. Wu, B., Lang, Y., Zargari, N., & Kouro, S. (2011). Power conversion and control of wind energy systems (Vol. 76). John Wiley & Sons.

13. El Chaar, L., Lamont, L. A., & Elzein, N. (2011, July). Wind energy technology—Industrial update. In 2011 IEEE Power and Energy Society General Meeting (pp. 1-5). IEEE.

14. Nayar, C., Dehbonei, H., & Chang, L. (2005, September). A low cost

power electronic interface for small scale wind generators in single phase distributed power generation system. In Australasian Universities Power Engineering Conference (AUPEC) (pp. 25-28).

15. Енергоощадна інтелектуальна система керування механічною системою / Богдан Оробчук, Іван Сисак, Ярослав Осадца, Вадим Коваль, Сергій Бабюк // МММТЕС, 22-23 листопада 2022 року. — Т. : ФОП Паляниця В. А., 2022. — С. 128–130. — (Прикладні застосування механіки в задачах енергозбереження).

16. Rosato, M. A. (2018). Small wind turbines for electricity and irrigation: design and construction. CRC Press.

17. Rakesh, N., Nitya, A., & Ram, G. (2014, July). Modelling and simulation of the wind energy electric conversion system to extract the maximum power from the wind using matlab. In 2014 Annual International Conference on Emerging Research Areas: Magnetism, Machines and Drives (AICERA/iCMMD) (pp. 1-6). IEEE.

18. Haque, M. E., Muttaqi, K. M., & Negnevitsky, M. (2008). A control strategy for output maximisation of a CPTM-based variable-speed wind turbine. Australian Journal of Electrical and Electronics Engineering, 5(3), 263-270.

19. Ayodele, T. R., Ogunjuyigbe, A. S. O., & Adetokun, B. B. (2017). Optimal capacitance selection for a wind-driven self-excited reluctance generator under varying wind speed and load conditions. Applied Energy, 190, 339-353.

20. Daili, Y., Gaubert, J.P. & Rahmani, L. (2015). Implementation of a new maximum power point tracking control strategy for small wind energy conversion systems without mechanical sensors. Energy Conversion and Management, 97: 298–306.

21. John, A.R. & Divya, N.A. 2016. Performance Comparison of Grid Integrated Micro Wind System with Diode Rectifier and Active Rectifier. : 2370–2375.

22. Ayodele, T.R., Ogunjuyigbe, A.S.O. & Adetokun, B.B. 2017. Optimal capacitance selection for a wind-driven self-excited reluctance generator under

varying wind speed and load conditions. *Applied Energy*, 190: 339–353.

23. Matayoshi, H., Howlader, A.M., Datta, M. & Senju, T. 2018. Control strategy of СГПМ based wind energy conversion system under strong wind conditions. *Energy for Sustainable Development*, 45: 211–218.

24. Fan, S., Lim, T., Zhang, H. & Finney, S. 2011. Design and control of wind energy conversion system based on resonant DC/DC converter. *Generation (RPG 2011)*.

25. Жидецький В.Ц. Основи охорони праці. Підручник/ В.Ц.Жидецький, В.С Джигирей, О.В.Мельников. – Вид. 5-те, доповнене. – Львів: Афіша, 2000. – 350 с.

26. Стеблюк М.І. Цивільна оборона та цивільний захист: Підручник. – 2-ге вид., перероб. Затверджено МОН / М.І. Стеблюк.– К., 2010. – 487 с

27. Техноекологія та цивільна безпека. Частина «цивільна безпека»/ автор-укладач В.С. Стручок– Тернопіль: ФОП Паляниця В. А., – 156 с.

28. 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.

29. Конспект лекцій з дисципліни “Основи електропостачання ” (скорочений курс лекцій, частина 1) для здобувачів вищої освіти першого (бакалаврського) рівня освіти денної та заочної форми навчання спеціальності 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка» / Микола ВУСАТИЙ, Павло ПОТАПСЬКИЙ, Ігор ГАРАСИМЧУК (За загальною редакцією Павла ПОТАПСЬКОГО). – Кам'янець – Подільський: ЗВО «ПДУ», 2023. – 127с.

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