

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

ДИПЛОМНА РОБОТА

на тему:

ДОСЛІДЖЕННЯ НАКОПИЧУВАЧА СОНЯЧНОЇ ЕЛЕКТРОСТАНЦІЇ ДЛЯ БАЛАНСУВАННЯ ВИРОБІТКУ ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ

Виконав:

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

_____ **Віталій СІРИЙ**

Керівник: кандидат технічних наук, доцент

_____ **Павло ПОТАПСЬКИЙ**

Оцінка захисту:

Національна шкала _____

Кількість балів _____ Шкала ECTS _____

Допускається до захисту:

« _____ » _____ 2023 р.

Керівник проектної групи
(гарант освітньої програми)

«Електроенергетика,
електротехніка та електромеханіка»
спеціальності 141 «Електроенергетика,
електротехніка та електромеханіка»

кандидат технічних наук, доцент _____ **Ігор ГАРАСИМЧУК**

ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ.....	7
ВСТУП.....	9
РОЗДІЛ 1. АНАЛІЗ МЕТОДІВ ТА ЗАСОБІВ УПРАВЛІННЯ РЕЖИМАМИ ВИКОРИСТАННЯ СОНЯЧНИХ ЕЛЕКТРОСТАНЦІЙ	
1.1 Аналіз підходів щодо управління режимами генерування в локальній мережі.....	12
1.2 Досвід управління режимами використання розосередженої генерації...	14
1.3 Аналіз нормативно-правового та нормативно-технічного забезпечення функціонування маневрених систем.....	16
Висновки до розділу 1.....	17
РОЗДІЛ 2. ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ СОНЯЧНИХ ЕЛЕКТРОСТАНЦІЙ НА РЕЖИМИ РОБОТИ ЛОКАЛЬНОГО СПОЖИВАЧА	
2.1 Дослідження режимів роботи сонячної енергетики в Україні.....	18
2.2 Аналіз впливу режимів роботи СЕС на режим роботи локальних споживачів.....	23
2.3 Методика визначення додаткових грошових витрат систем покращення якості генерації СЕС.....	26
Висновки до розділу 2.....	29
РОЗДІЛ 3. МЕХАНІЗМ УПРАВЛІННЯ РЕЖИМАМИ ВИКОРИСТАННЯ СИСТЕМ НАКОПИЧЕННЯ СОНЯЧНИХ ЕЛЕКТРОСТАНЦІЙ	
3.1 Основна ідея створення та переваги механізму управління режимами генерації електричної енергії сонячними електростанціями.....	30
3.2 Загальний алгоритм функціонування механізму управління режимами генерування електроенергії сонячними електростанціями.....	31
3.3 Розрахунок додаткових грошових витрат систем покращення якості генерації СЕС.....	33
Висновки до розділу 3.....	51

РОЗДІЛ 4. ФУНКЦІОНУВАННЯ СОНЯЧНИХ ЕЛЕКТРОСТАНЦІЙ, ЇХ ВПЛИВ НА ФОРМУВАННЯ БАЛАНСУ ПОТУЖНОСТІ В ОЕС УКРАЇНИ

4.1 Аналіз чинників та параметрів, які визначають ефективність використання Сонячних електростанцій.....	53
4.2 Аналіз фактичного рівня виробітку сонячних електростанцій в об'єднаній енергосистемі України.....	54
4.3 Побудова середньодобових профілів виробітку сонячної електростанції для кожної пори року	56
Висновок до розділу 4.....	57

РОЗДІЛ 5. ОГЛЯД СТАНУ ТА РОЗВИТКУ ЕНЕРГОАКУМУЛЮЮЧИХ ПОТУЖНОСТЕЙ І ТЕХНОЛОГІЙ НАКОПИЧЕННЯ ЕНЕРГІЇ

5.1 Типи систем зберігання електроенергії.....	58
5.2 Вартість систем зберігання та конструкції різного типу батарейних систем.....	63
5.3 Керування попитом.....	66
Висновок до розділу 5.....	67

РОЗДІЛ 6. МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ КОМПЛЕКСНОГО ВУЗЛА СЕС ТА НАКОПИЧУВАЧА ЕНЕРГІЇ ТА АНАЛІЗ РЕЖИМІВ ЇХ РОБОТИ

6.1 Математична модель роботи сонячної електростанції.....	69
6.2 Розробка математичної моделі літію-іонних акумуляторів.....	71
6.3 Визначення економічної ефективності зберігання електричної енергії...	75
6.4 Агрегована розрахункова схема енергосистеми з сонячною електростанцією та акумуляторною батареєю.....	76
Висновок до розділу 6.....	81

ВИСНОВКИ

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....

ВСТУП

Структура та обсяг роботи. Магістерська дисертація на тему «Дослідження накопичувача сонячної електростанції для балансування виробітку електроенергії» складається зі вступу, 6 розділів, висновків, переліку використаних джерел. Загальний обсяг роботи складає 89 сторінок основного тексту, в тому числі 45 рисунків, 28 таблиць, 45 бібліографічних найменувань та додатки.

Актуальність теми. Україна є енергодефіцитною країною та імпортує близько 75% енергоносіїв. Також Українська промисловість є досить енергоємною, оскільки в 3-5 рази перевищує відповідні показники економічно розвинутих країн, тому Україна є надзвичайно чутлива до умов імпортування природних енергоносіїв.

Використання відновлювальних джерел енергії є одним із найбільш важливих напрямів енергетичної політики України. Збільшення частки використання відновлювальних джерел енергії в енергетичній системі України сприятиме підвищенню диверсифікації джерел енергоносіїв, що, в свою чергу, сприятиме зміцненню енергетичної незалежності країни. Однак головною особливістю роботи сонячних електростанцій є погана прогнозованість їх потужності у короткостроковий період, а також значна різниця у виробництві електричної енергії у різні дні, внаслідок впливу метеорологічних умов, що зумовлює значне зростання вимог до маневрених генеруючих потужностей України. В свою чергу розвиток СЕС не знижує потреби в традиційній генерації, оскільки під час максимуму ОЕС України в СЕС проглядається високий спад генерації, що пов'язаний з погодними умовами.

На теперішній час світова практика проектування та будівництва джерел альтернативної енергетики дає нам можливість вирішити проблему з маневреності ОЕС України за допомогою систем накопичення Energy Storage

Метою дипломної роботи є вирішення сучасної проблем об'єднаної енергетичної системи України, а саме енергетична безпека, скупе становище економічної моделі в енергетиці та інтеграція в європейську енергосистему необхідно проаналізувати сучасну ситуацію первинного, вторинного та третинного регулювання частоти та активної потужності ОЕС України, знайти та відмітити тенденцію найбільш динамічного та впроваджувального типу відновлювального джерела електроенергії (ВДЕ), розробити концепт акумуляції регулюючих можливостей первинного, вторинного та третинного регулювання частоти та активної потужності, та можливостей інтеграції цієї моделі до можливостей резервування потужності для послідовного її регулювання.

Об'єктом дослідження є процеси генерування режимами роботи промислової сонячної електростанції.

Предметом дослідження є методи і способи управління режимами використання джерел альтернативної генерації, що сприяють покращенню режиму роботи локальної енергосистеми.

Наукова новизна магістерської роботи. В роботі вперше був проведений аналіз резервів регулюючих можливостей первинного, вторинного та третинного регулювання частоти та активної потужності з боку децентралізації, що сприяє економічному розвитку. Також наведена тенденція ВДЕ та включення їх в систему резервації регулювання тим самим вирішуючи питання енергетичної безпеки України та підвищення можливості включення України в ENTSO-E.

Практична значимість отриманих результатів полягає у тому, що створення та застосування запропонованого механізму управління дозволить активно розвивати в Україні «зелену» енергетику, що не тільки не шкодить рему роботи ОЕС, а ще й дарує змогу додаткового маневрування ліквідації провалів за рахунок систем накопичення. При цьому режими роботи діючих енергоблоків ТЕС значно покращиться, що позитивно вплине на економічну модель ОЕС.

Апробація: результати магістерської дисертації були оприлюднені на III Всеукраїнській студентській науково-практичній конференції «Ефективне використання енергії: стан і перспективи», 09 листопада 2023 року, Факультет енергетики та інформаційних технологій, Заклад вищої освіти «Подільський державний університет».

Публікації: Віталій СІРИЙ / Алгоритм визначення ємності накопичувача для групи станцій електричної мережі // III Всеукраїнська студентська науково-практична конференція «Ефективне використання енергії: стан і перспективи» (09 листопада 2023 року) / Заклад вищої освіти «Подільський державний університет». Кам'янець – Подільський. 2023.

ВИСНОВКИ

В роботі вирішена важлива наукова задача розроблення моделей та засобів забезпечення стабільності частоти і потужності в усталених режимах енергосистем при наявності у їх структурі потужних вітрових і сонячних електростанцій. В процесі виконання роботи отримані наступні результати.

1. Розроблена і всебічно досліджена узагальнена математична модель процесів регулювання частоти і потужності в енергосистемах з потужними ВЕС та СЕС, яка на відміну від існуючих містить формалізацію практично усіх важливих елементів і показників регулювання, а саме, нелінійні обмеження на регулюючі потужності та їх похідні, зони нечутливості, допустимого відхилення частоти, врахування частотних характеристик традиційних генераторів і навантаження, формалізацію натурних даних зміни швидкості вітру та інсоляції, що забезпечує розробленій моделі високий рівень точності і адекватності. Знайдено оптимальне відношення між цими складовими, що забезпечує максимальний регулюючий ефект. Поєднання зазначених складових в одному законі надає якісно кращі результати із забезпечення точності по частоті та стійкості системи регулювання.

Отримано сучасний інструментарій для вирішення широкого класу задач режимного і структурного характеру для енергосистем з великими обсягами потужностей ВЕС та СЕС.

Встановлено, що для забезпечення національних і європейських вимог стабільності по частоті потужність АБ в енергосистемі повинна бути не меншою сумарної потужності ВЕС та СЕС, якщо регулювання забезпечується лише за допомогою акумуляторних батарей.

2. У випадку, коли регулювання по частоті в енергосистемі забезпечують лише ГЕС, їх робоча потужність повинна бути у 3 – 5 разів більшою за сумарну потужність ВЕС в залежності від швидкості зміни цієї потужності.

Сумісне використання АБ в контурі стабілізації частоти енергосистеми з потужними ВЕС та СЕС є доцільним, оскільки згідно виконаних в роботі досліджень через свою високу швидкодію входить в роботу АБ.

В результаті ефективна робоча потужність регулювання буде дорівнювати різниці потужностей АБ.

3. Наявність узагальненої математичної моделі для дослідження режимів роботи і структури системи регулювання частоти і потужності в енергосистемі з великими потужностями ВЕС та СЕС у її складі надає можливість удосконалення структури Об'єднаної енергосистеми України у напрямках обґрунтованого збільшення потужностей відновлюваних джерел енергії.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Smart grid [Електронний ресурс] // Wikipedia. – 2018. – Режим доступу до ресурсу: https://uk.wikipedia.org/wiki/Розумна_енергосистема.
2. Україна в рейтингу Doing Business [Електронний ресурс] // Doing Business.org. – 2018. – Режим доступу до ресурсу: <http://russian.doingbusiness.org/data/exploreeconomies/ukraine>.
3. Ukraine: Council adopts EU-Ukraine association agreement [Електронний ресурс]. – 2017. – Режим доступу до ресурсу: <http://www.consilium.europa.eu/en/press/press-releases/2017/07/11/ukraine-association-agreement/>.
4. Енергетична стратегія України на період до 2035 року [Електронний ресурс] // БІЛА КНИГА. – 2014. – Режим доступу до ресурсу: <http://mpe.kmu.gov.ua/minugol/doccatalog/document?id=245213112>.
5. План розвитку об'єднаної енергосистеми України на наступні 10 років [Електронний ресурс] // Київ. – 2014. – Режим доступу до ресурсу: <http://mpe.kmu.gov.ua/minugol/doccatalog/document?id=244996562>.
6. Микитенко В. В. Теоретико-методологічне обґрунтування енергозбереження як економічної категорії / В. В. Микитенко // Наука та наукознавство. – 2012. – № 2. – С. 72–79.
7. Циганенко Б. В. Ефективність роботи розподільних електричних мереж при підвищенні їх класу напруги : дис. канд. техн. наук : 05.14.02 / Циганенко Борис Володимирович – Київ, 2017. – 209 с.
8. Боюн В. П. Аналіз нормативних документів з якості комунальних послуг / В. П. Боюн, О. В. Багацький. – Київ: Комп'ютерні засоби, мережі та системи, 2012. – 10 с.
9. Сидорова Д. С. Проблеми та перспективи розвитку альтернативної енергетики в світі / Д. С. Сидорова. – Харків: Актуальні проблеми міжнародних відносин, 2014. – 10 с. – (122).

10. Діхтярук І. В. Вплив секціонування розподільних мереж напругою 6-10 кВ автотичними роз'єднувачами на інтегральні показники надійності / І. В. Діхтярук., 2016. – 5 с. – (2/1(28)).

11. Основні питання політики розвитку електроенергетичної галузі України / А. І.Шевцов, В. О. Бараннік, М. Г. Земляний, Т. В. Рязова. – Дніпропетровськ: Національний інститут стратегій і досліджень, 2011. – 89 с.

12. Ахромкін А. О. Сучасні характеристики електричних мереж України: регіональний аспект / А. О. Ахромкін., 2015. – 4 с. – (6). – (223).

13. Стратегія енергозбереження в Україні: аналітично-довідкові матеріали : у 2-хт. / Національна академія наук України; Інститут газу НАН України; Інститут загальної енергетики НАН України; редколегія: Б. С. Стогній та ін. – К.: Академперіодика, 2006 – 529 с.

14. План розвитку розподільних електричних мереж на 2016-2025 роки [Електронний ресурс] // Офіційний сайт Міністерства енергетики та вугільної промисловості України – Режим доступу: http://mpe.kmu.gov.ua/minugol/control/uk/publish/officialcategory?cat_id=244972812.

15. Циганенко Б. В. Ефективність роботи розподільчих електричних мереж при підвищенні їх класу напруги : дис. канд. техн. наук : 05.14.02 / Циганенко Борис Володимирович – Київ, 2017. – 271 с.

16. Буславець О. А. Методи та засоби підвищення достовірності розрахунку та аналізу технологічних витрат електроенергії для обгрунтування їх зменшення : дис. канд. техн. наук : 05.14.02 / Буславець Ольга Анатоліївна – Київ, 2017. – 167 с.

17. Реєстр суб'єктів природних монополій, які проводять господарську діяльність у сфері енергетики [Електронний ресурс] // НКРЕ. – 2018. – Режим доступу до ресурсу: http://www.nerc.gov.ua/data/filearch/litsenziini_reestry/reestr_monopol_energo.pdf.

18. Суходоля О. М. Сучасний стан, проблеми та перспективи розвитку гідроелектроенергетики України / О. М. Суходоля, А. А. Сидоренко. – Київ, 2014. – 54 с. – (НІСД).
19. Халатов А. А. Енергетика України: сучасний стан і найближчі перспективи / А. А. Халатов. – Київ, 2016. – 60 с.
20. Черноусенко О. Ю. Стан енергетики України та результати модернізації енергоблоків ТЕС/ О. Ю. Черноусенко. – Київ: НТУУ "КПІ ім.Ігоря Сікорського, 2014. – 8 с.
21. ПрАТ "Київобленерго" [Електронний ресурс]. – 2018. – Режим доступу до ресурсу: <http://www.koe.vsei.ua/koe/index.php?page=25>.
22. Науковий метод [Електронний ресурс] : [Веб-сайт]. – Електронні дані. – Режим доступу: <https://uk.wikipedia.org>.
23. Кластерний аналіз [Електронний ресурс] : [Веб-сайт]. – Електронні дані.– Режим доступу: <https://uk.wikipedia.org>.
24. Методы ситуационного анализа [Електронний ресурс] : [Веб сайт]. – Електронні дані.–Режимдоступу: https://studme.org/31883/menedzhment/metody_situatsionnogo_analiza.
25. Васілевський О. М. Основи теорії невизначеності вимірювань / О. М. Васілевський, В. Ю. Кучерчук, Є. Т. Володарський. – Вінниця: ВНТУ, 2015. – 40 с. – (підручник).
26. Кошуняєва Н. В. Теорія Масового Обслуговування (практикум по вирішенню задач) / Н. В. Кошуняєва, Н. Н. Патронова. – Архангельськ: КИРА, 2013. – 108 с. – (Ф7). – (9407/12).
27. Матвійчук А. В. Моделювання фінансової стійкості підприємств із застосуванням теорії нечіткої логіки, нейронних мереж і дискримінантного аналізу / А. В. Матвійчук. – Київ: НАН України, 2010. – 23 с.
28. Кластерний аналіз [Електронний ресурс] // stud.com.ua. – 2015. – Режим доступу до ресурсу: http://stud.com.ua/63647/marketing/klasterniy_analiz

29. Про затвердження Правил приєднання електроустановок до електричних мереж. [Електронний ресурс]; - Офіційний портал Верховної ради України – Режим доступу: <http://zakon2.rada.gov.ua/laws/show/z0236-13>

30. Бурбело М. Й. Математичні задачі електроенергетики. Математичне моделювання електропостачальних систем / М. Й. Бурбело. – Вінниця: ВНТУ, 2016. – 186 с.

31. Втрати потужності та енергії в лініях. [Електронний ресурс]; - Студентський інтернет портал – Режим доступу: http://studopedia.com.ua/1_8883_vtrati-potuzhnosti-ta-energii-v-liniyah.html

32. Поняття про втрату напруги у проводах ліній електропередач. [Електронний ресурс]; - Студентський інтернет портал – Режим доступу: http://studopedia.com.ua/1_81041_ponyattya-pro-vtratu-naprugi-u-provodah-liniy-elektroperedach.html

33. Інформація щодо трансформаторних підстанцій Бориспільського РП ПрАТ «Київобленерго» станом на 01.08.2021 [Електронний ресурс]: ПрАТ «Київобленерго» : [Офіційний портал]: - Режим доступу: <http://www.koe.vsei.ua/koe/index.php?page=56> - Вільний. – Інформація щодо трансформаторних підстанцій.

34. Інформація та документація. Звіти у сфері науки і техніки Структура і правила оформлення ДСТУ 3008-2015. Режим доступу: https://science.kname.edu.ua/images/dok/derzhstandart_3008_2015.pdf. – Назва з екрана.

35. Жидецький В.Ц. Основи охорони праці: Підручник. - Л.: Афіша, 2002. -320 с.

36. Електробезпека: Підручник / С. В. Панченко, О. І. Акімов, М. М. Бабаєв та ін. – Харків: УкрДУЗТ, 2018. – 295 с.

37. 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.

38. Основи безпечної експлуатації електроустановок: Підручник / С. В. Панченко, О. І. Акімов, М. М. Бабаєв та ін. – Харків: УкрДУЗТ, 2021. – 149 с.
39. СОУ-Н ЕЕ 04.157:2009. Методики і рекомендації щодо організації первинного та вторинного регулювання частоти та потужності на енергоблоках ТЕС (ТЕЦ). К.: Мінпаливенерго України, 2009. 56 с.
40. СОУ-Н ЕЕ 04.158:2009. Методики і рекомендації щодо організації первинного та вторинного регулювання частоти та потужності на ГЕС. К.: Мінпаливенерго України, 2009. 46 с.
41. СОУ-Н ЕЕ 04.159:2009. Методики і рекомендації щодо організації первинного та вторинного регулювання частоти та потужності на енергоблоках АЕС. К.: Мінпаливенерго України, 2009. 39 с.
42. СОУ-Н ЕЕ ЯЕК 04.156:2009. Вимоги до регулювання частоти і потужності в ОЕС України. К.: Мінпаливенерго України, 2009. 54 с.
43. СОУ-Н ЕЕ ЯЕК 04.160:2009. Методики і рекомендації щодо перевірки готовності ТЕС, ГЕС і АЕС до участі у регулюванні частоти та потужності в ОЕС України. К.: Мінпаливенерго України, 2009. 67 с.
44. Система дистанційного навчання Moodle 2.7. – «ЗВО «ПДУ»». Режим доступу: <http://pdatu.net.ua/>. – Назва з екрана.
45. Правила улаштування електроустановок : [арх. 15 березня 2020] / Міненерговугілля України. — Київ : [б. в.], 2017. — 617 с.