

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

ДИПЛОМНА РОБОТА

на тему:

«МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСІВ ЗМІНИ ВЕЛИЧИНИ ПОТУЖНОСТІ СПОЖИВАННЯ ЕЛЕКТРИЧНОЇ ЕНЕРГІЇ ТА РЕЖИМНИХ ПАРАМЕТРІВ ЕЛЕКТРИЧНИХ МЕРЕЖ 10 КВ ТА 0,4 КВ АКЦІОНЕРНОГО ТОВАРИСТВА «ХМЕЛЬНИЦЬКОБЛЕНЕРГО»

Виконав:

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

НАГАЙЧУК Віктор Юрійович

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
«Електроенергетика, електротехніка
та електромеханіка» спеціальності
141 «Електроенергетика, електротехніка
та електромеханіка»
канд. техн. наук, доцент

Ігор ГАРАСИМЧУК

ЗМІСТ

ВСТУП.....	9
1 ОГЛЯД СТАНУ ОБ'ЄДНАНОЇ ЕНЕРГОСИСТЕМИ УКРАЇНИ З ТОЧКИ ЗОРУ РЕГУЛЮВАННЯ ПОТУЖНОСТІ ТА ПОКРИТТЯ ГРАФІКІВ НАВАНТАЖЕННЯ.....	11
1.1 Сучасний стан ОЕС України. Особливості і структура генерації та споживання електричної енергії.....	11
1.2 Оцінка резервів потужності в ОЕС України.....	16
1.3 Проблеми пов'язані з покриттям графіку електричних навантажень в ОЕС України.....	18
Висновки до розділу 1.....	24
2 ДЕЦЕНТРАЛІЗОВАНА СИСТЕМА КЕРУВАННЯ СПОЖИВАННЯМ ЕЛЕКТРИЧНОЇ ЕНЕРГІЇ ЯК ЕЛЕМЕНТ СИСТЕМИ АВТОМАТИЧНОГО РЕГУЛЮВАННЯ ЧАСТОТИ І ПОТУЖНОСТІ.....	25
2.1 Огляд системи автоматичного регулювання частоти і потужності в Україні і світі.....	25
2.2 Вимоги до функціонування системи автоматичного регулювання частоти і потужності.....	26
2.3 Основні недоліки системи автоматичного регулювання частоти і потужності в Україні.....	27
2.4 Особливості процесу приєднання ОЕС України до об'єднаної енергосистеми Євросоюзу ENTSO-E.....	29
2.5 Варіанти організації ефективної системи регулювання частоти і потужності в Україні.....	30
2.6 Автоматизовані вузли електроіндукційного з автодиспетчеризацією у якості одиниці системи децентралізованого керування споживанням електричної енергії.....	33
2.7 Принцип дії індукційного нагріву води струмом промислової частоти.....	38
Висновки до розділу	51

3	РОЗРАХУНОК ВПЛИВУ ВСТАНОВЛЕННЯ АВТОМАТИЗОВАНИХ ВУЗЛІВ ЕЛЕКТРОІНДУКЦІЙНОГО НАГРІВУ НА РЕЖИМНІ ПАРАМЕТРИ І ГРАФІКИ ДОБОВИХ НАВАНТАЖЕНЬ ЕЛЕКТРИЧНИХ МЕРЕЖ ХМЕЛЬНИЦЬКОБЛЕНЕРГО.....	52
3.1	Опис заходів що пропонуються до впровадження для вирівнювання добового графіку навантаження.....	52
3.2	Загальні методи та алгоритми аналізу режимних параметрів розподільних мереж.....	53
3.3	Програмне середовище аналізу режимів PowerFactory.....	60
3.4	Розрахунок режимних параметрів діючої розподільної мережі 10 кВ і мережі 0,4 кВ в період вечірнього максимуму навантаження, без встановлення індукційних вузлів нагрівання (ВЕНА).....	63
3.5	Розрахунок режимних параметрів діючої розподільної мережі 10 кВ і мережі 0,4 кВ в період нічного мінімуму навантаження, без встановлення індукційних вузлів нагрівання (ВЕНА).....	77
3.6	Розрахунок режимних параметрів діючої розподільної мережі 10 кВ і мережі 0,4 кВ в період нічного мінімуму навантаження, за умови встановлення індукційних вузлів нагрівання (ВЕНА).....	92
	Висновки до розділу 3.....	108
	ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ.....	109
	СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	111

РЕФЕРАТ

НАГАЙЧУК Віктор Юрійович. Моделювання процесів зміни величини потужності споживання електричної енергії та режимних параметрів електричних мереж 10 кВ та 0,4 кВ акціонерного товариства «Хмельницькобленерго». 141 – електроенергетика, електротехніка та електромеханіка. Заклад вищої освіти «Подільський державний університет». Факультет енергетики та інформаційних технологій. Кафедра електротехніки, електромеханіки і електротехнологій – Кам'янець-Подільський: ЗВО «ПДУ», 2023.

В дипломній роботі розглянуто процес формування графіків електричних навантажень, їх вплив роботу енергосистем, а також засоби підвищення ефективності регулювання і покриття графіків навантажень. Проведено моделювання варіантів встановлення вузлів індукційного нагріву, як елементів децентралізованої системи управління споживанням електричної енергії в мережах номінальною напругою 0,4 та 10 кВ при змінних рівнях споживання електроенергії в різний час доби.

Ключові слова: ГРАФІКИ ЕЛЕКТРИЧНИХ НАВАНТАЖЕНЬ, СПОЖИВАЧІ РЕГУЛЯТОРИ, ПОТУЖНІСТЬ ГЕНЕРАЦІЇ, ВУЗОЛ ІНДУКЦІЙНОГО НАГРІВУ, ВИРІВНЮВАННЯ СПОЖИВАННЯ.

АНОТАЦІЇ

В дипломній роботі розглянуто процес формування графіків електричних навантажень, їх вплив роботу енергосистем, а також засоби підвищення ефективності регулювання і покриття графіків навантажень. Проведено моделювання варіантів встановлення вузлів індукційного нагріву, як елементів децентралізованої системи управління споживанням електричної енергії в мережах номінальною напругою 0,4 та 10 кВ при змінних рівнях споживання електроенергії в різний час доби.

ABSTRACT

The thesis examines the process of forming electrical load schedules, their impact on the operation of power systems, as well as means of increasing the efficiency of regulation and coverage of load schedules. Modeling of options for installing induction heating units as elements of a decentralized power consumption control system in networks with a nominal voltage of 0.4 and 10 kV at variable levels of power consumption at different times of the day has been carried out.

ВСТУП

Як відомо, електроенергія в силу цілого ряду економічних і екологічних факторів все дорожче обходиться людству, а також в силу свої фізичних властивостей, на даному етапі розвитку науки і техніки цей вид енергії не може бути накопичений в великих масштабах. Дотримання балансу споживання і генерації електричної енергії є одним із головних факторів стабільної і надійної роботи енергосистем. З цих причин завдання оптимізації роботи електромереж та стають все більш актуальними.

Актуальність теми. Для добових графіків електричних навантажень ОЕС України характерною ознакою є велика різниця між показниками пікового і мінімального навантаження. В останні часи тенденція зростання різниці між вечірнім максимумом і нічним мінімумом споживання електричної енергії все більше зростає, за умов скорочення обсягів доступної маневреної потужності. Більшість сучасних систем регулювання потужності будується з залученням так званих генераторів- регуляторів, які мають достатньо високий рівень швидкодії, але побудова такої системи у сучасних економічних умовах України буде потребувати значних фінансових і часових затрат. В зв'язку з цим, виникає необхідність в розробленні методів зменшення різниці величини показників пікового і мінімального навантаження, які можуть бути реалізовані за рахунок системи керування споживанням електричної енергії.

Метою магістерської дисертації є розробка децентралізованої системи автоматичного управління споживанням електричної енергії для вирівнювання добових графіків навантаження електричних мереж.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити наступні задачі:

- аналіз існуючих графіків навантаження енергосистем;
- огляд груп споживачів, що можуть бути використані як регулятори;
- складання в POWER FACTORY моделі електричних мереж 10 та 0,4 кВ;
- проведення моделювання варіантів встановлення споживачів-регуляторів;
- аналіз результатів організації системи керування електроспоживанням.

Об'єкт дослідження: електричні мережі Хмельницькобленерго номінальною напругою 10 та 0,4 кВ.

Предмет дослідження: зміна режимних параметрів та графіків електричних навантажень внаслідок встановлення вузлів індукційного нагріву.

Методи дослідження. В основу роботи покладено імітаційне математичне моделювання процесів зміни величини потужності споживання електричної енергії та режимних параметрів мережі у розрізі однієї доби. Обробка результатів дослідження виконувалася з використанням сучасного прикладного програмного комплексу POWER FACTORY.

Наукова новизна результатів полягає в розробленні ефективних шляхів ущільнення графіків електричних навантажень без внесення значних конструктивних змін в існуючу структуру електричних мереж та наглядному аналізі впливу впровадження даної системи на зміну добового навантаження електричних мереж.

ВИСНОВКИ

Графіки навантаження енергосистем України характеризуються істотною неоднорідністю, зокрема зростаючою різницею між максимальним та мінімальним добовим навантаженням. У поєднанні з дефіцитом доступної маневреної потужності в ОЕС України, це обумовлює необхідність пошуку додаткових засобів регулювання графіків електричних навантажень.

Системне впровадження автоматизованих вузлів електроіндукційного нагріву, у якості споживачів регуляторів дозволить отримати в диспетчерське управління регульоване навантаження з малим ступенем дискретизації що виступить у якості швидкодіючого інструменту для автоматичного регулювання частоти і потужності.

У зв'язку з певними економічними і технологічними труднощами, що склалися у галузі теплопостачання, запропоноване рішення також може ефективно вирішити не тільки проблеми вирівнювання графіку навантаження ОЕС України, а і дозволить частково полегшити соціально-економічні завдання зниження витрат на забезпечення споживачів теплом і гарячою водою.

При лібералізації енергетичного ринку України та переході на нову його модель, наявність системи надасть технічну можливість і стане механізмом ефективної роботи практично на всіх його сегментах як для споживачів, так і для інших його учасників. Також, впровадження розглянутої системи зробить можливим підключення до мереж ОЕС України додаткових потужностей ВЕС і СЕС.

В результаті проведення імітаційного моделювання роботи електричних мереж напругою 10 кВ і 0,4 кВ в різний час доби за умов наявності в пунктах навантаження, автоматизованого вузла електроіндукційного нагріву з акумуляцією тепла, в добових графіках навантажень виявлено позитивний вплив встановлення даного вузла на зменшення розриву між максимумом і мінімумом споживання електричної енергії.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Офіційний сайт НЕК «Укренерго». 13–19 вересня 2021 р. [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://ua.energy/robotai/robotai-energosity-13-19-veresnya-2021-roku/> .
2. Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz. [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://www.bmwi.de/Redaktion/DE/Dossier/erneuerbare-energien.html> .
3. Monitoring bericht 2020 Monitoringbericht gemäß, § 63 Abs. 3 i. V. m.
4. EES ЕАЕС мировая энергетика. [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://www.eeseaec.org/energetika-regionov-mira>.
5. Верховна Рада України, Закон України «Про ринок електричної енергії», Відомості Верховної Ради (ВВР), 2017, № 27-28, ст. 312. [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2019-19#Text> .
6. Н. Є. Стрельбіцька, «Лібералізація оптового ринку електроенергетики України: перші наслідки», Бізнес Інформ, № 4, с. 136-139, 2014.
7. А. М. Чернюк, І. Г. Кирисов, і Ю. О. Черевик, «Аналіз перспектив розвитку систем розподіленої генерації електроенергії в Україні», наук. журнал «Вчені записки ТНУ імені В.І. Вернадського. Серія: Технічні науки», т. 32 (71), № 3, с. 239-247, 2021.
8. А. М. Чернюк, І. Г. Кирисов, і Є. І. Качанов, «Засоби забезпечення процесу генерації та споживання електричної енергії в електроенергетичних системах з розподіленою генерацією з врахуванням фактора невизначеності погодних та кліматичних умов», Вісник НТУ «ХПІ» Серія: Енергетика: надійність та енергоефективність, № 1 (1), с. 95-99, 2020.
9. Energy Vault. Enabling a Renewable World. [Electronic resource]. Available: <https://www.energyvault.com/> .
10. Ю. А. Веремійчук, В. П. Опришко, І. В. Притискач, і О. С. Ярмолюк, Оптимізація функціонування інтегрованих систем енергозабезпечення споживачів. Київ, Україна: Вид. дім «Кий», 2020, 186 с.

- 11.Буслова Н.В., Винославский В.Н., Денисенко Г.И., Перхач В.С. Электрические сети и системы. Київ : Вища школа, 1986. 584 с.
12. Зорин В.В., Тисленко В.В. Системы электроснабжения общего назначения. Чернігів : Чернігівський державних технологічний університет, 2005. 341 с.
- 13.Вузли електроіндукційного нагріву автоматизовані ВЕНА.
<https://www.slideshare.net/svbah/ss-76088330>
- 14.Кузнецов В. Г. Оптимизация режимов электрических сетей / В. Г. Кузнецов, Ю. И. Тугай, В. А. Баженов. – Київ: Наукова думка, 1992. – 216 с.
- 15.Сегеда М.С. Електричні мережі та системи. – Львів: Львівська політехніка, 2009. – 492с.
- 16.Сулейманов В.Н., Кацадзе Т.Л. Электрические сети и системы. – К.: НТУУ КПИ, 2007. – 506с.
- 17.Перехідні процеси в системах електропостачання: підруч. для вузів / Г.Г. Півняк, В.М. Винославський, А.Я. Рибалко, Л.І. Несен. – 2-е вид., доправ. та доп. – Дніпропетровськ : Нац. гірн. ун-т, 2002. – 597 с.
- 18.Шестеренко В.Є. Системи електроспоживання та електропостачання промислових підприємств: підруч. / В.Є. Шестеренко. – Вінниця : Нова Книга, 2004. – 656 с
- 19.Сегеда М.С. Математичне моделювання в електроенергетиці: навч. посіб./ М.С. Сегеда. –Львів: вид-во НУ «Львівська політехніка»,2002.–300 с.
- 20.Використання технологій smart grid для підвищення ефективності електропостачання споживачів/ Мороз О.М., Черемісін М. М., Попадченко С. А., Савченко О. А., Дюбко С. В. Енергетика: економіка, технології, екологія. 2017. № 3 (49) С. 45-50.
- 21.Попадченко С. А. Аналіз світових тенденцій модернізації електричних підстанцій на сучасному етапі розвитку. Енергетика та електрифікація. 2016. № 9. С. 46-49.
- 22.Буткевич О.Ф., Левконюк А.В., Рибіна О.Б., Чижевський В.В. Деякі питання розвитку системи керування режимами ОЕС України // Техн. електродинаміка. Темат. випуск: „Силова електроніка та енергоефективність”. Ч. 1. – 2010. – С. 165-168.

- 23.Буткевич О.Ф., Левконюк А.В., Зорін Є.В., Буланая В.С. Про використання синхронізованих вимірів кутів напруги з об'єктів ОЕС України при визначенні допустимості її поточних режимів за запасами статичної стійкості // Техн. електродинаміка. – 2010, № 6. – С. 51-58.
- 24.Буткевич О.Ф., Тутик В.Л. Моніторинг та діагностування електроенергетичних об'єктів та систем України на базі комплексів “РЕГІНА” // Гідроенергетика України. – 2010, № 3. – С. 46- 49.
- 25.Соловей О. І. Промислові електротехнологічні установки: навч. посібник / О. І. Соловей. – Київ : Кондор, 2009. – 172 с.
- 26.Милосердов В. О. Електротехнологічні установки та пристрої: навч. посібник / В. О. Милосердов. – Вінниця : 2007. – 135 с.
- 27.Василега П. О. Електротехнологічні установки : навч. посібник / П. О. Василега. – Суми : Видавництво СумДУ. – 2010. – 548 с.