

Заклад вищої освіти «Подільський державний університет»
Факультет енергетики та інформаційних технологій
Кафедра енергозберігаючих технологій та енергетичного менеджменту

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на тему:

Дослідження систем компенсації реактивної потужності в містах

Виконав:

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

_____ **Олександр ПАРУБОЧИЙ**

Керівник: кандидат технічних наук, доцент

_____ **Віктор ДУБІК**

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.....	8
РОЗДІЛ 1. АНАЛІЗ ПУБЛІКАЦІЙ З ПИТАНЬ КОМПЕНСАЦІЇ РЕАКТИВНОЇ ПОТУЖНОСТІ	11
1.1. Аналіз питання компенсації реактивної потужності у науковій та технічній літературі	11
Висновки	26
РОЗДІЛ 2. ПРОБЛЕМАТИКА КОМПЕНСАЦІЇ РЕАКТИВНОЇ ПОТУЖНОСТІ В МІСЬКИХ ЕЛЕКТРИЧНИХ МЕРЕЖАХ	28
2.1 Загальні відомості	28
2.2 Баланс активної та реактивної потужності	30
2.3. Збиток із-за перетоків реактивної потужності.....	34
2.4. Визначення витрат на передачу реактивної потужності по електричній мережі.....	37
2.5. Витрати на генерацію реактивної потужності за допомогою ДРП	40
2.6. Економічний аспект компенсації реактивної потужності	42
2.7. Оптимальний розподіл потужності батарей конденсатів до 1000В в радіальній та магістральній мережі	43
Висновки	46
РОЗДІЛ 3. МОДЕЛІ ТА МЕТОДИ ОПТИМІЗАЦІЇ КОМПЕНСАЦІЇ.....	47
3.1 Вирішення задач компенсації реактивної потужності методом не визначених множників Лагранжа	47
3.2. Вирішення задач компенсації реактивної потужності методом покоординатного спуску	51
3.3 Вирішення задач компенсації реактивної потужності методом динамічного	

програмування.....	53
3.4. Оптимізація конденсаторних батарей в розподільних мережах за умовою режиму напруги	59
Висновки.....	69
ВИСНОВКИ.....	70
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	71

ВСТУП

Актуальність теми. На сьогоднішній день питання компенсації реактивної потужності у споживачів набуло особливої актуальності. Інтенсивний розвиток сучасних технологій спричиняє зростання електроспоживання в побутовому секторі. У звичайних робочих умовах більшість побутових пристроїв, робота яких супроводжується утворенням електромагнітних полів (зокрема, електродвигуни пральних машин, кондиціонери, блоки живлення комп'ютерів, люмінесцентні лампи тощо), споживають електроенергію як у вигляді активної, так і реактивної складових повної потужності.

Зважаючи на високу щільність комунально-побутового навантаження, постійна присутність реактивної потужності в мережах значно збільшує втрати електроенергії у розподільних системах великих міст. Водночас, у комунально-побутовому секторі пристрої для компенсації реактивної потужності використовуються недостатньо, хоча за рівнем споживання електроенергії цей сектор вже поступається лише промисловості.

Мета і задачі дослідження. полягає у підвищенні ефективності функціонування розподільних електричних мереж міських територій шляхом зниження втрат потужності та оптимізації режиму напруги.

Завдання дослідження:

1. Провести аналіз актуальних проблем розподільних електричних мереж міст та визначити можливі способи їх вирішення.
2. Виконати дослідження характеристик компенсуючих пристроїв для управління реактивною потужністю в електромережах.
3. Розробити критерії для вибору оптимальних місць встановлення компенсуючих пристроїв.
4. Створити методику вирішення завдань багатоцільової компенсації реактивної потужності.

Об'єкт дослідження - режим роботи розподільної електричної мережі міст.

Предмет дослідження - Моделі та методи оптимізації розташування та

потужності компенсуючих пристроїв спрямовані на вирішення проблем компенсації реактивної потужності в електричних мережах та досягнення задач енергозбереження. Вони забезпечують:

1. Підвищення пропускної здатності елементів електромереж, що сприяє ефективнішому розподілу електричної енергії.
2. Зниження втрат потужності та електроенергії, що дозволяє зменшити експлуатаційні витрати та підвищити економічність роботи мережі.
3. Покращення показників якості електроенергії, включаючи стабільність напруги та зменшення коливань, що важливо для безперебійної роботи споживачів.

Методи оптимізації базуються на багатофакторному аналізі, враховуючи структуру мережі, щільність навантаження, характеристики компенсуючих пристроїв, а також економічну доцільність впровадження. Використання математичних моделей та алгоритмів дозволяє розробити оптимальні рішення для ефективного управління реактивною потужністю.

Методи дослідження. Аналітичний метод - для проведення аналізу інформаційного середовища, виявлення характеристик, які можуть бути використані. Багатовимірні методи - для аналізу ситуації та формування рішення, яке вирішує проблему компенсації реактивної потужності. Детерміновані методи - для пошуку оптимального місця встановлення компенсуючих пристроїв. Методи емпіричного дослідження - для проведення аналізу змін характеристик предмета дослідження під впливом сторонніх факторів.

Практичне значення одержаних результатів. У магістерській дисертації отримано результати, які мають цінність у підвищенні ефективності функціонування розподільних електричних мереж міст шляхом зменшення втрат потужності, електроенергії, підвищенні пропускної здатності, підвищенні $\cos\phi$ та оптимізації режиму напругу за допомогою багатоцільової компенсації реактивної потужності в розподільних електричних мережах міст.

Апробація результатів роботи. Результати магістерської дисертації були оприлюднені на четвертій Всеукраїнській науково-практичній конференції

«Ефективне використання енергії: стан і перспективи». (19 листопада 2024). – Кам'янець-Подільський: ЗВО «ПДУ», 2024.

Публікації. За результатами наукових досліджень було опубліковано тези:

Олександр ПАРУБОЧИЙ. ВИЗНАЧЕННЯ ВТРАТ ВІД ПЕРЕТОКІВ РЕАКТИВНОЇ ПОТУЖНОСТІ / Матеріали IV Всеукраїнської науково-практичної конференції «Ефективне використання енергії: стан і перспективи». (19 листопада 2024). – Кам'янець-Подільський: ЗВО «ПДУ», 2024.

ВИСНОВКИ

1. Проблема компенсації реактивної потужності займає важливе місце у комплексі питань енергозбереження та надійності електропостачання. Існує багато методів компенсації реактивної потужності. Але на сьогоднішній день стає актуальним питання компенсації реактивної потужності у побутових споживачів. Це пов'язано з насиченням побуту електроприладами, які навантажують мережу як активною, так і реактивною складовими повної споживаної потужності, постійна наявність перетоків потужності реактивної складової призводить до значних втрат електроенергії в мережі.

2. Проаналізовані методи оптимального розподілу потужності батарей конденсатів до 1000В в радіальній та магістральній мережі; вибір місця установки батарей конденсаторів в мережах з рівномірно розподіленим навантаженням, за умовами режиму напруги, на основі системного підходу, економічний аспект компенсації реактивної потужності. Вивчено питання підвищення пропускної здатності ліній електропередач за допомогою засобів компенсації реактивної потужності.

3. Розроблено новий метод розв'язання оптимізаційної задачі КРП в лініях стояків висотних будівель шляхом еквівалентування лінії з рівномірно розподіленим навантаженням в магістральну з глухим підключенням навантажень в центрі кожної ділянки. Розроблено метод визначення місць установки і потужності батарей конденсаторів на основі даних вимірювань втрат напруги на характерних ділянках схеми електричної мережі. Переваги запропонованого методу визначення місць установки і потужності батарей конденсаторів - це простота і можливість компенсувати реактивну потужність безпосередньо у побутових споживачів.

4. Багатоцільова компенсація реактивної потужності дозволяє вирішити комплекс питань ефективності роботи розподільних електричних мереж: зменшити втрати потужності та електроенергії, підвищити пропускну здатність ліній, покращити показники якості електроенергії, регулювання напруги за допомогою конденсаторів.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Циганенко Б. В. Ефективність роботи розподільних електричних мереж при підвищенні їх класу напруги: дис. ... кандидата техн. наук: 05.14.02 / Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут ім. Ігоря Сікорського». Київ. 2017. 271 с.
2. Демов А. О., Демов О. Д., Войнаровський А. Ж., Паламарчук О. П. Особливості впровадження компенсувальних установок у електричні мережі споживачів у сучасних економічних умовах. *Енергетика та електрифікація*. 2016. №2. С. 12-15.
3. Кузьмін В. В., Кирисов І. Г., Малинин С. В. Аналіз засобів компенсації реактивної потужності в електричних мережах України. *Енергозбереження, енергетика, енергоаудит*. 2012. №5. С. 45-50.
4. Лазуренко А. П., Прохоренко Ю. В. Сучасні методи і облаштування компенсації реактивної потужності в побутових системах електроспоживання. *Вісник Національного технічного університету "ХПИ"*. Харків, 2011. Вып. 41. С. 83-87.
5. Соломчак О. В. Методика вибору та порівняння варіантів компенсації реактивної потужності. *Енергетика та електрифікація*. 2014. №9. С. 23-27.
6. Потребич А. А., Ткачев В. І., Коваленко Д. В., Катренко Г. Н. Особливості застосування заходів по зниженню втрат електроенергії в електричних мережах. *Енергетика та електрифікація*. 2018. №2. С. 33-35.
7. Готман В. І., Маркман Г. З., Маркман П. Г. Компенсація реактивної потужності. Завдання обстеження системи компенсації реактивної потужності. *Промислова енергетика*. 2016. №8. С. 50-55.
8. Вильданов Р. Г., Ионцева О. А., Исхаков Р. Р., Бикметов А. Г. Зниження втрат електроенергії за допомогою компенсації реактивної потужності. *Сучасні проблеми науки і освіти*. 2015. №1(1). С. 2533.
9. Некрасов С. А. Компенсація реактивної потужності в розподільних мережах на основі розподіленої енергетики. *Промислова енергетика*. 2013. № 4. С.

48-53.

10. Єршов С. В., Савицкий І. В. Розробка систем компенсації реактивної потужності в умовах міських електричних ятерів. Технічні науки. Київ, 2012. Вып. 12. Ч. 3. С. 37-42.

11. Солонина Н. Н., Суслов До. В., Солонина З. В. Нові технології компенсації реактивної потужності. Вісник КПі, 2016. №5 (112). С. 135-143.

12. Зорин В. В., Буслова Н. В. Оптимізація конденсаторних батарей в розподільних мережах за умовами режиму напруги. Електричні мережі і системи. 2017. №8. С. 62-69.

13. Зорин В. В., Экель П. Я. Методи дискретної оптимізації систем електропостачання. Энергетика і транспорт. 2020. №5. С. 25-37.

14. Ching-Tzong Su, Cheng-Yi Lin, Ji-Jen Wong Optimal size and location of capacitors placed on a distribution system. *Wseas transactions on power systems*. 2008. No 4. Pp. 247-256.

15. Aleksander Kot, Wieslaw Nowak, Waldemar Szpyra, Rafal Tarko Efficiency improvement of reactive power compensation in power distribution networks. *Przegląd elektrotechniczny*. 2013. No 6. Pp. 190-195.

16. Akash, Gaurav Shah, Himnay Pratap Singh, Avinas Kumar Chauhan Importance of reactive power for distributed generation. *International journal of emerging technology and advanced engineering*. 2014. No 1. Pp. 84-88.

17. Juan Dixon, Luis Moran, Jose Rodriguez, Ricardo Domke Reactive Power Compensation Technologies: State-of-the-Art Review. *Proceedings of the IEEE*. 2015. No 12. Pp. 2144-2164.

18. Mekhamer S. F., El-Hawary M. E., Soliman S. A., Moustafa M. A., Mansour M. M. New heuristic strategies for reactive power compensation of radial distribution feeders. *IEEE Transactions on power delivery*. 2002. No 4. Pp. 1128-1135.

19. ГОСТ 13109-97 Нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения. Киев, 2018. 32 с.

20. Зорин В. В. Экономически обоснованные значения перетоков реактивной мощности. V Международная научно-техническая конференция

«Эффективность и качество электроснабжения промпредприятий». Мариуполь, 2015. С. 263-266.

21. Правила улаштування електроустановок, видання третє перероблене та доповнене. Київ, Мінпаливенерго України, 2012, 736 с.

22. Зорин В. В., Буйный Р. А., Иванько Д. О. Мероприятия по повышению эффективности режимов действующих распределительных электрических сетей. *Энергетика: економіка, технології, екологія*. 2011. №2. С. 70-77.

23. Зорін В. В. Вирішення задач компенсації реактивної потужності методом не визначених множників Лагранжа. На правах рукопису.

24. Зорін В. В. Вирішення задач компенсації реактивної потужності методом покоординатного спуску. На правах рукопису.

25. Зорін В. В. Вирішення задач компенсації реактивної потужності методом динамічного програмування. На правах рукопису.

26. Костін В. Н. Оптимізаційні завдання електроенергетики. СПб: СЗТУ, 2013. 120 с.

27. Арзамасцев Д. А. Введення у багатоцільову оптимізацію енергосистем : навчальний посібник. Свердловськ: видавництво УПИ ім. С. М. Кірова, 1984. 88 с.

28. Ногин В. Д. Ухвалення рішень у багатокритерійному середовищі. СПб: Физматлит, 2012. 176 с.

29. Подиновский В. В., Ногин Д. Д. Парето-оптимальные рішення багатокритерійних завдань. К.: Наука, 2020. 256 с.

30. Гительсон С. М. Економічні рішення при проектуванні електропостачання промислових підприємств. К.: Енергія, 2017. 256 с.

31. Зорин В. В., Мацкевич Ю. М. Компенсація реактивної потужності в стояках висотних будівель. *Енергетика: економіка, технології, екологія*. 2018. №1. С. 22-30.

32. Зорин В. В., Докийчук Н. А., Буйный Р. А., Перепеченый В. А. Моделі і методи визначення втрат потужності і електроенергії в мережах 0,38 кВ висотних будівель при проектуванні і експлуатації. *Енергетика: економіка, технології,*

екологія. 2017. №1. С. 7-13.

33. ДБН В.2.5-23:2003 Проектування електрообладнання об'єктів цивільного призначення. Київ, Мінрегіонрозвитку та будівництва України, 2013, 131 с.

34. Железко Ю. С. Вибір заходів по зниженню втрат електроенергії в електричних мережах. К.: Энергоатомиздат, 2019. 176 с.

35. Шишкін С. А. Використання конденсаторів для компенсації реактивної потужності комунально-побутових навантажень. Електрик. 2017. №6. С. 30-33.