

ОПТИМІЗАЦІЯ ПЕРЕТІКАНЬ РЕАКТИВНОЇ ПОТУЖНОСТІ В РОЗПОДІЛЬНИХ ЕЛЕКТРИЧНИХ МЕРЕЖАХ

Вінницький національний технічний університет

Анотація

Роботу присвячено розв'язанню задачі оптимізації перетікань реактивної енергії у електричних мережах енергопостачальних компаній.

Ключові слова: електрична мережа, «ідеальний» режим, перетікання реактивної енергії, багатofакторна оптимізація, джерело реактивної потужності.

OPTIMIZATION OF TRANSFER OF REACTIVE POWER IN DISTRIBUTION ELECTRIC NETWORKS

Abstract

The report is devoted to solving the problem of optimization of reactive energy flows in power networks of power supply companies

Keywords: electric network, "ideal" mode, jet energy flow, multifactor optimization, source of reactive power.

Вступ

Сучасні електричні мережі енергопостачальних компаній повинні забезпечувати надійне та ефективне енергозабезпечення споживачів, а також транспортування електроенергії розосереджених джерел енергії. Крім реконструкції ЕМ та модернізації їх основного обладнання, набувають актуальності дослідження у напрямку вдосконалення структури та способів керування їх режимами.

Оптимізація рівнів локального генерування реактивної енергії у сучасних електричних мережах у поєднанні з інформатизацією та забезпеченням їх керованості, дозволяє зменшувати технологічні витрати електроенергії, незалежно від змін навантаження ЕК. Задачі вдосконалення структури та параметрів ЕМ мають розв'язуватися таким чином, щоб формування проектних рішень, зокрема щодо приєднання та експлуатації джерел реактивної потужності, погоджувалося з ефективною експлуатацією діючих електроустановок. Максимального ефекту тут можна досягти оптимізуючи розміщення та параметри ДРП з урахуванням зміни характеру електроспоживання, а також режимів розосереджених джерел енергії, кількість та потужність яких постійно зростає.

Виходячи з цього, в роботі показано можливість та досліджено особливості оптимізації перетікань реактивної енергії в електричних мережах ЕК на основі принципу найменшої дії у формулюванні Гамільтона-Остроградського (ПНД).

Результати дослідження

Особливістю оптимізації реактивних перетікань в сучасних електричних системах є те, що крім традиційних джерел реактивної енергії (електричних станцій, спеціалізованих пристроїв, ліній електропередачі) тут впроваджуються розосереджені джерела енергії (РДЕ). Функціонування розосереджених джерел енергії визначається впливом навколишнього середовища й мало залежить від обмежень, що накладаються експлуатацією в електричних мережах. Використовуючи синхронні й асинхронні генератори, а також інверторні перетворювачі, означені джерела можуть генерувати або споживати реактивну енергію залежно від режиму їх роботи. Внаслідок цього періодично виникають реверсивні перетікання, які впливають на надійність та ефективність транспортування електроенергії.

У енергосистемі Німеччини показано, що генерування реактивної потужності РДЕ має бути керованим та відповідати режиму ЕМ. Це полегшить обмін реактивною енергією між розподільними

та магістральними мережами та підтримання стабільності напруги. Децентралізація енергетичних систем вимагає, щоб РДЕ брали більшу відповідальності за проблеми в ЕМ.

Видача потужності РДЕ може викликати недопустимі підвищення рівнів напруги у розподільних мережах, зокрема через те, що мережеве обладнання, необхідне для підключення РДЕ, генерує додаткову реактивну потужність. Однак, використовуючи керування реактивною потужністю РДЕ, оператори розподільних мереж можуть вирішувати вказані проблеми.

У роботі [1] було запропоновано методику оцінювання тенденцій електроспоживання в електромережах з РДЕ. Показано, що на зв'язках між магістральними та розподільними мережами в Великобританії та інших європейських країнах в періоди мінімального навантаження попит на реактивну потужність буде продовжувати знижуватися. Це розглядається як один з факторів, що ставлять нові проблеми в магістральних мережах з підтримання встановлених рівнів напруги.

Для розв'язання задач, пов'язаних з оптимізацією рівнів компенсації реактивної потужності у електричних мережах за комплексним критерієм, традиційно знайшли застосування методи декомпозиції, лінійного та нелінійного програмування. Однак такі методи через використання припущень та спрощень можуть скеровувати процес розв'язку до локальних екстремумів.

У роботі [3], обґрунтовано доцільність переходу від задачі комплексної оптимізації перетікань реактивної потужності в ЕМ, до комплексу задач оптимізації окремих етапів впровадження ДРП. Однак такий підхід супроводжується необхідністю прийняття додаткових припущень на етапі декомпозиції. Крім того, узгодження розв'язків часткових задач для складної системи з розподіленим генеруванням перетворюється на достатньо складну оптимізаційну задачу. Це знижує надійність та швидкодію отримання розв'язку, наближеного до глобального оптимуму, погіршуючи ефективність проектних рішень та оперативного керування.

Сучасний розвиток інформаційних технологій та обчислювальних засобів формує передумови для застосування інших підходів до розв'язання задач оптимізації перетікань реактивної енергії, зорієнтованих, зокрема, на автоматизацію функціонування ЕМ. Виходячи з цього, останнім часом активно застосовуються елементи штучного інтелекту, зокрема штучні нейронні мережі, експертні системи, генетичні алгоритми та еволюційне програмування.

Для розв'язання задач оптимізації перетікань електроенергії в електричних мережах з РДЕ, на противагу оптимізованому перебору варіантів, до якого належать наведені вище методи, доцільно застосовувати комплексний підхід, що базується на використанні принципу найменшої дії.

В розв'язанні поставлених задач використано принцип найменшої дії у формулюванні Гамільтона-Остроградського. Для моделювання усталених режимів ЕМ застосовано метод вузлових напруг. Для розроблення алгоритмів і програм застосовано об'єктно-орієнтований аналіз.

Згідно принципу найменшої дії поточний стан ЕМ, як технічної системи, в довільний момент часу відповідає глобальному мінімуму втрат енергії, значення якого відповідає рівню організованості системи. Однак, такий стан часто не відповідає економічним критеріям або обмеженням на режимні параметри [2], тобто потребує відповідного коригування.

Пошук оптимального режиму для ЕЕС полягає у визначенні «ідеального» режиму, який відповідає мінімально можливим втратам електроенергії для заданої сукупності незалежних параметрів системи. Далі накладанням активних обмежень на параметри режиму, він зводиться до оптимального з допустимої області значень. Активні обмеження завжди спричиняють збільшення втрат електроенергії у оптимальних режимах ЕЕС, порівняно з «ідеальними» [2].

Задача оптимізації розподілу навантаження між ДРП в електричних мережах за критерієм мінімуму втрат електроенергії може бути зведена до розрахунку «ідеального», або економічного струморозподілу в ЕМ з використанням заступної r -схеми.

Аналогічний підхід можна застосувати для оптимізації розміщення та потужностей ДРП в електричних мережах за комплексним техніко-економічним критерієм. Для цього до заступної r -схеми вводяться додаткові економічні опори (рис. 1), що відтворюють вплив економічних факторів, зокрема вартість ДРП та витрати на їх експлуатацію. Введення встановлених потужностей додаткових ДРП до переліку залежних параметрів режиму ЕМ дозволяє розрахувати їх оптимальні значення. Оптимальні значення відповідають мінімуму втрат активної потужності в розрахунковій схемі з економічними опорами, а отже й мінімуму витрат, що пов'язані з встановленням та експлуатацією ДРП.

Особливість пропонованого підходу полягає у методі визначення економічних опорів для представлення ДРП, що вводяться до заступної r -схеми ЕМ для врахування їх техніко-економічних

показників.

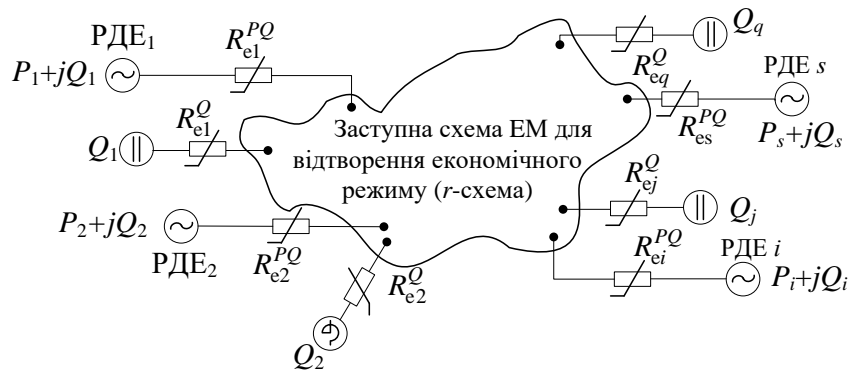


Рис. 1. Заступна схема електричної мережі для розрахунку «ідеального» режиму за економічним критерієм

Експериментально доведено, що реалізація цього методу, алгоритмів та програмних засобів забезпечує ефективне розв'язання задачі оптимізації потоків реактивної енергії та рівнів напруги в розподільних мережах ЕЕС, зокрема, з розосередженим генеруванням. Збільшення переліку підстанцій ЕМ встановлення ДРП не призводить до підвищення складності й погіршення збіжності процесу розрахунку. Це забезпечується завдяки пошуку розв'язку від «ідеального» режиму функціонування, згідно принципу найменшої дії, до оптимального, з урахуванням активних обмежень на параметри.

Висновки

За результатами досліджень отримано вирішення задачі підвищення ефективності керування потоками реактивної потужності у ЕМ, що полягає у розробленні на основі принципу найменшої дії та алгоритмів оптимізації розміщення додаткових джерел реактивної потужності.

За результатами аналізу встановлено, що зі зміною структури електроспоживання та розвитком РДЕ зростає важливість вдосконалення методів та засобів оптимізації режимів електричних мереж енергопостачальних компаній за реактивною потужністю та напругою. Крім того, через зростання складності задачі класичні методи оптимізації виявляються неефективними за надійністю та швидкодією.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. A. Zecchino, M. Marinelli, C. Træholt and M. Korpås, "Guidelines for distribution system operators on reactive power provision by electric vehicles in low-voltage grids", *CIREN - Open Access Proceedings Journal*, vol. 2017, no. 1, pp. 1787-1791, 10, 2017. doi: 10.1049/oap-cired.2017.0377
2. Принцип найменшої дії в електротехніці та електроенергетиці [П. Д. Лежнюк, В. В. Кулик, В. В. Нетребський, В. В. Тептя]: Монографія. – Вінниця: УНІВЕРСУМ-Вінниця, 2014. – 212 с. – ISBN 978-966-641-576-2.
3. Демов О.Д. Поетапний розрахунок компенсації реактивної потужності в розподільних електричних мережах із ви-користанням відносних спадів напруги / П.Д. Лежнюк, О.Д. Демов, Ю.Ю. Півнюк // Вісник Приазовського державного технічного університету. Серія: Технічні науки, Вип. 30. Т. 2 – 2015. – с.108-115.

Волкотруб Євгеній Андрійович — студент бакалаврської підготовки, кафедра електричних станцій та систем, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця

Кулик Володимир Володимирович — доктор техн. наук, доцент, професор кафедри електричних станцій та систем, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця

Volkotrub Yevhenii A. — Student of Bachelor's Degree, Chair of Power Stations and Systems, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia.

Kulyk Volodymyr V. — Dr. Sc. (Eng.), Professor of the Chair of Power Stations and Systems, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia.