

ОПТИМІЗАЦІЙНІ МЕТОДИ В РІШЕННЯХ ЗАДАЧІ КОМПЕНСАЦІЇ РЕАКТИВНОЇ ПОТУЖНОСТІ В СИСТЕМАХ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ МІСТ

В.О. НЕЧВОЛОД¹, *магістрант*
E-mail: vladislav.nechvolod@kname.edu.ua

В.М. ОХРИМЕНКО¹, *к.т.н., доцент*
доцент кафедри систем електропостачання та електроспоживання міст

¹⁾ Харківський національний університет міського господарства імені О.М. Бекетова,
вул. Маршала Бажанова 17, м. Харків, Україна 61002

Задача компенсації реактивної потужності постійно знаходиться у полі зору науковців і дослідників. Загально відомо, що зменшення споживання реактивної потужності сприяє зменшенню втрат у розподільних мережах змінного струму, тобто до підвищення енергоефективності розподільних електричних мереж.

Компенсація реактивної потужності здійснюється шляхом підключення до мережі конденсаторних установок. В мережу вводиться ємнісна складова, яка наближає коефіцієнт потужності $\cos\varphi$ до 1. Зменшується передавання реактивної потужності через силові трансформатори, знижується навантаження кабельних ліній. Нормативними документами рекомендується підтримувати $\cos\varphi$ в електричних межах на рівні 0,92 - 0,96. Але, одночасно необхідно уникати й перекомпенсації, яка можлива коли $\cos\varphi = 0,97$ і вище (тарифи енергопостачальних організацій за несанкціоновану перекомпенсацію значно перевищують тарифи за споживання реактивної потужності).

Метою даної роботи було проведення огляду та дослідження підходів до застосування оптимізаційних методів щодо розв'язання задачі оптимізації реактивної потужності в системах електропостачання міст (СЕПМ).

Проблематика оптимізації компенсації реактивної потужності пов'язана з проблемою енергоефективності. Ця проблема пояснюється загальносвітовою енергетичною кризою, збільшенням впливу електроенергетики на екологію, загальною тенденцією пошуків розв'язання задач підвищення енергоефективності у різних галузях, зокрема й енергоефективності систем електропостачання міст.

У зв'язку з цим, у даній роботі **об'єктом** дослідження обрано процес компенсації реактивної потужності в системах електропостачання міст (СЕПМ).

Предметом дослідження були обрані оптимізаційні методи розв'язання задачі компенсації потужності в СЕПМ.

Мета дослідження : розгляд та аналіз оптимізаційних методів компенсації реактивної потужності в СЕПМ.

Для вирішення поставленої задачі у роботі були застосовані методи системного аналізу, методи теорії електричних кіл, методи оптимізації систем.

Міські електричні мережі характеризуються такими особливостями:

- несиметричне навантаження за фазами трифазної мережі;

- високі завантаження за струмом як ліній електропередачі так і силових трансформаторів;
- різна віддаленість споживачів електричної енергії від міських ТП та РП.
- у багатьох містах споживана реактивна потужність становить 60-70% (відсотків) від максимальної споживаної потужності навантаження і, як зазначають автори різних досліджень [1, 2], має тенденцію до зростання.

За даними деяких досліджень [3], споживана реактивна потужність у режимах найбільших навантажень за нормальних умов роботи мережі приблизно у два рази перевищує сумарну встановлену активну потужність генераторів електростанцій.

Цим пояснюється актуальність завдання розгляду й аналізу оптимізаційних методів розв'язання задачі компенсації реактивної потужності у системах електропостачання міст.

За результатами огляду загальних заходів зниження втрат у міських розподільних мережах складена їхня класифікація (див. рис. 1), застосування якої спрощує рішення завдання підвищення енергоефективності міської розподільної мережі для конкретних схем.

Одним з важливих напрямків розв'язання цієї задачі є вирішення проблеми оптимальності в задачах компенсації реактивної потужності. З математичної точки зору компенсація реактивної потужності це задача оптимізації з обмеженнями. Пошук рішення включає комбінації кількох факторів, таких як втрати електроенергії при передачі (як наслідок втрати інвестицій), відхилення напруги, зниження надійності системи електропостачання тощо.



Рисунок 1 – Класифікація заходів щодо зниження втрат у міських електричних мережах

Оптимізація реактивної потужності є підзадачею оптимальних потоків потужності в лініях розподільної мережі (при певних обмеженнях системи), в ході вирішення якої визначається правильне налаштування змінних реактивної потужності, таких як величини напруги, положення ступенів трансформаторів і характеристики пристроїв компенсації реактивної потужності.

У роботі розглянуті методи оптимізації режимів розподільних ЕМ, які умовно поділені на традиційні й нові методи. До традиційних віднесені градієнтний метод, методи лінійного і нелінійного програмування, серед нових методів зазначені еволюційні методи та генетичні алгоритми.

Один із сучасних ефективних підходів до розв'язання цієї проблеми полягає у розгляді задачі компенсації реактивної потужності як багатокритеріальної задачі. У роботі [4] запропоновано задачу «Компенсація реактивної потужності» розглядати як «Процес компенсації реактивної потужності», а сам процес компенсації розглядати як систему. На рисунку 2 показана системна модель процесу прийняття рішення щодо компенсації реактивної потужності, показана також послідовність синтезу системи «Процес прийняття рішення».

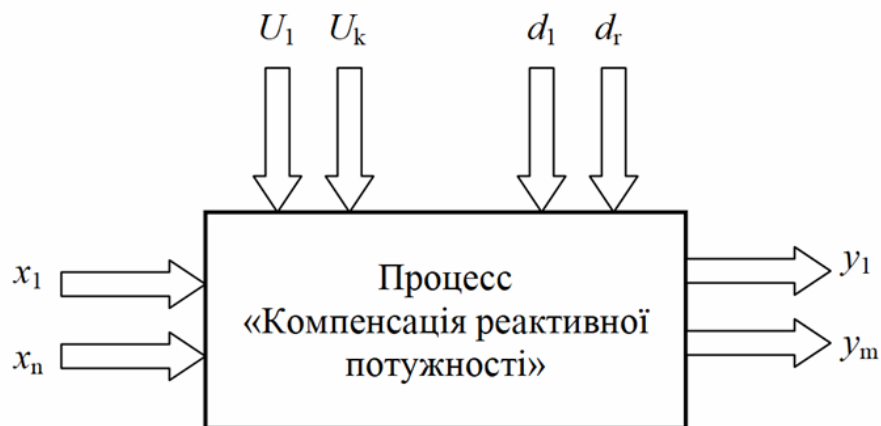


Рисунок 2 – Системна модель процесу прийняття рішення щодо компенсації реактивної потужності

Опис компенсації реактивної потужності як процесу прийняття рішень приводить до зовнішнього аналізу, який реалізують на основі вибору координаційних змінних, вхідних даних, техніко-економічних показників (рис. 2).

На рисунку 2 параметри $U_1 \dots U_k$, $d_1 \dots d_r$ – це незалежні дії на систему. Як $U_j \dots U_k$ приймаються дані з навантаження в мережі, а $d_j \dots d_r$ – конфігурація схеми електропостачання з параметрами кабельних та повітряних ліній електропередачі.

$x_1 \dots x_n$ – параметри технічних пристроїв, які підлягають зміні у процесі досліджень. Наприклад, параметри підключення: x_1 – трансформатори; x_2 – конденсатори; x_3 – фільтри; x_4 – синхронні двигуни зі збудженням і т. д.

$y_1 \dots y_m$ – технічні та економічні показники, які можуть характеризуватись як: y_1 – напруга у вузлових точках мережі; y_2 – коефіцієнт потужності; y_3 – сумарні гармонічні спотворення; y_4 – загальні втрати енергії у мережі; y_5 – економічна змінна через чисту наведену вартість тощо.

Щоб отримати необхідні індикатори, потрібні методи моделювання. Характер використовуваного методу дозволяє включати або навіть виключати всі технічні та економічні показники відповідно до параметрів досліджуваної мережі.

В цілому синтез системи для прийняття рішень включає розробку або підбір необхідних інструментів для здійснення дій по реалізації алгоритму пошуку рішення:

- вибору техніко-економічних показників для заданих значень змінних рішень;
- побудові варіантів рішень, близьких до компромісу між обраними індикаторами;
- побудові графічних параметрів, що дозволяють побачити особливості кожного варіанта розв'язання;
- отримання додаткових опцій моделювання, що дозволяють більш точно дослідити особливості кожного варіанта, що генерується.

Сучасні методи оптимізації дозволяють проводити багатокритеріальний аналіз цільової функції, не вдаючись до використання похідних або градієнтів у процесі пошуку рішень, близьких до оптимального, що скорочує час обробки обчислень, не виконуючи вичерпний пошук.

Огляд опублікованих джерел щодо проблеми компенсації реактивної потужності у системах електропостачання міст дає підстави для таких висновків.

Завдання компенсації реактивної потужності можна сформулювати як завдання прийняття рішень за кількома критеріями дискретних змінних з різними пов'язаними з ними технічними та економічними показниками.

Характер сформульованого завдання компенсації реактивної потужності дозволяє використовувати процедури для генерації рішень, засновані на еволюції кодів, тобто будь-який з відповідних алгоритмів методу інтеграції змінних. Алгоритм умовного випадкового пошуку швидко та ефективно генерує ряд корельованих рішень із завданням оптимізації, а також полегшує оцінку кількох коригувальних елементів варіантів підключення в мережу.

Для кращого вибору зарезервованих індикаторів можна використовувати значення цільової функції. У разі великої розмірності системи значення мають визначатися за допомогою експериментальних даних (з огляду на значущість аналізованого індикатора), щоб зменшити кількість коефіцієнтів значень цільової функції.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Optimal power flow solutions using differential evolution algorithm integrated with effective constraint handling techniques / P.P. Biswas, P.N. Suganthana, R. Mallipeddi, G.A.J. Amaratunga // Engineering Applications of Artificial Intelligence. - February 2018. - V. 68. - P. 81-100. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.engappai.2017.10.019>

2. Jose A.R. Sistemas de ingenieria. - La Habana: Editorial Félix Varela, 2000. - 482 p.

3. Воротницкий В.Э., Калинкина М.А. Расчет, нормирование и снижение потерь электроэнергии в электрических сетях. – Учебно-методическое пособие. - М.: ИПК госслужбы, 2002. – 64 с.

4. Optimal power flow solutions using differential evolution algorithm integrated with effective constraint handling techniques / P.P. Biswas, P.N. Suganthana, R. Mallipeddi, G.A.J. Amaratunga // Engineering Applications of Artificial Intelligence. - February 2018. - V. 68. - P. 81-100. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.engappai.2017.10.019>