

ЗАСТОСУВАННЯ ДИНАМІЧНОГО ПРОГРАМУВАННЯ ДЛЯ ВИБОРУ ОПТИМАЛЬНОЇ СТРАТЕГІЇ РОЗВИТКУ ЕЛЕКТРИЧНИХ МЕРЕЖ

Вінницький національний технічний університет

Анотація

Розглянуто метод вибору оптимальної стратегії розвитку електричних мереж з відновлювальними джерелами енергії, який дозволить мінімізувати затрати на реконструкцію і експлуатацію електричної мережі.

Ключові слова: ВДЕ, розосереджене генерування, динамічна стійкість, динамічна модель, електрична модель, електрична мережа.

Abstract

The method of choosing the optimal strategy for the development of electrical networks with renewable energy sources, which will minimize the cost of reconstruction and operation of the electrical network.

Keywords: RES, dispersed generation, dynamic stability, dynamic model, electrical model, electrical network.

Вступ

Згідно даних Операторів систем розподілу (ОСР), на теперішній час з'явилося багато нових споживачів. Існуючі електричні мережі, що побудовані в 70-х – 90-х роках минулого століття, нерозраховані на такий рівень потужності.[1] Тому, щоб забезпечити необхідний рівень якості електроенергії та надійності електропостачання, необхідно проводити реконструкцію електричних мереж з розбудовою нових центрів живлення та розукрупненням трансформаторних підстанцій.[5]

Метою даної статті є вирішення задачі: як можна забезпечити заданий рівень якості функціонування електричної мережі при мінімальних затратах на її реконструкцію та експлуатацію.

Результати досліджень

Поставлену задачу можна вирішити за допомогою ітераційних методів визначення оптимальної стратегії реконструкції електричної мережі. Тому що, використовуючи ітераційні методи, можна поділити задачу великої розмірності на підзадачі допустимої розмірності. Розв'язуючи окремі підзадачі, ми поступово наближаємо розв'язок нашої загальної задачі.

Споживач може отримувати живлення по m варіантам схеми електричної мережі (варіанти схеми залежать від стану, в якому перебуває електрична мережа в наслідок відмови певних її елементів). Необхідно забезпечити необхідний рівень якості функціонування $E'_{зад}$ так, щоб приведені затрати на реконструкцію та експлуатацію були найменші.[3]

Отже, нашу задачу необхідно мінімізувати:

$$Z = \sum_{i=1}^m Z_i(E'_i) \quad (1.1)$$

за обмеження

$$1 - E'_{зад} = \prod_{i=1}^m (1 - E'_i) \quad \text{або} \quad \ln(1 - E'_{зад}) = \sum_{i=1}^m \ln(1 - E'_i), \quad (1.2)$$

де $Z_i(E'_i) = Z_{pi} + Z_{ei}$ – затрати на реконструкцію та експлуатацію i -ої схеми розподільної мережі;

Z_{pi} і Z_{ei} – затрати відповідно на реконструкцію та експлуатацію;

i – варіант схеми електропостачання;

E'_i – показник якості функціонування для i -ої схеми розподільної мережі;

m – загальна кількість робочих станів електричної мережі.

Провівши ряд розрахунків, використовуючи метод невизначених множників Лагранжа, зрештою отримаємо рівняння:

$$\ln(1 - E'_i) = \frac{1 - y_i}{\sum_{i=1}^m (1 - y_i)} \ln \left(\frac{1 - E'_{зад}}{\prod_{i=1}^m (1 - E'_{i0})} \right) + \ln(1 - E'_{i0}). \quad (1.3)$$

За (1.3) визначаються E'_i схем розподільної електричної мережі, які відповідають можливим її станам та будуть забезпечувати загальний заданий рівень якості функціонування $E'_{зад}$.

Відповідно до проведених розрахунків можна сформулювати перший етап ітераційного методу визначення оптимальної стратегії реконструкції електричної мережі. На першому етапі визначаються схеми електричної мережі, які мають найбільший вплив на значення інтегрального показника якості функціонування. [4]

Наступним етапом методу, є вибір оптимальної стратегії реконструкції окремого варіанту схеми електричної мережі з суттєво меншою множиною можливих стратегій.

Скористаємось підходом, який був використаний на першому етапі ітераційного методу. Необхідно сформулювати задачу оптимізації для окремої схеми у вигляді (1.1), але з врахуванням того, що E''_i отримане на першому етапі на другому відповідає $E''_{iзад}$. [2]

З врахуванням цього (1.2) перепишеться:

$$\ln(1 - E''_{iзад}) = \sum_{i=1}^{N^n} \ln(1 - E''_i), \quad (1.4)$$

Для розв'язання цієї задачі скористаємось методом невизначених множників Лагранжа. Функція Лагранжа для цієї задачі матиме вигляд:

$$L(E_1^n, \dots, E_{N^n}^n) = \sum_{i=1}^{N^n} \beta_i + \lambda \prod_{i=1}^{N^n} (1 - E_i^n). \quad (1.5)$$

Продиференціювавши (1.5) по змінних і прирівнявши їх до нуля, отримаємо систему рівнянь виду:

$$\begin{cases} \frac{\partial \beta_i}{\partial E_i^n} - \lambda \prod_{\substack{S=1 \\ S \neq i}}^{N^n} (1 - E_S^n) = 0; \\ \frac{\partial \beta_k}{\partial E_i^n} - \lambda \prod_{\substack{S=1 \\ S \neq k}}^{N^n} (1 - E_S^n) = 0. \end{cases} \quad (1.6)$$

Розв'язком цієї системи рівнянь буде:

$$\frac{\frac{\partial \beta_i}{\partial E_i^n} \prod_{\substack{S=1 \\ S \neq k}}^{N^n} (1 - E_k^n)}{\frac{\partial \beta_k}{\partial E_k^n} \prod_{\substack{S=1 \\ S \neq i}}^{N^n} (1 - E_S^n)} = \frac{\partial \beta_i}{\partial \ln(E_i)} = 1 \text{ або } \frac{\partial \beta_i}{\partial \ln(E_i)} = \frac{\partial \beta_k}{\partial \ln(E_k)}. \quad (1.7)$$

Графічна інтерпретація (1.7) зображена на рис. 1.1

Враховуючи дискретність невідомих умова оптимальності перепишеться:

$$\frac{\partial \beta_i}{\partial \ln(E_i)} \approx \frac{\partial \beta_k}{\partial \ln(E_k)} \quad (1.8)$$

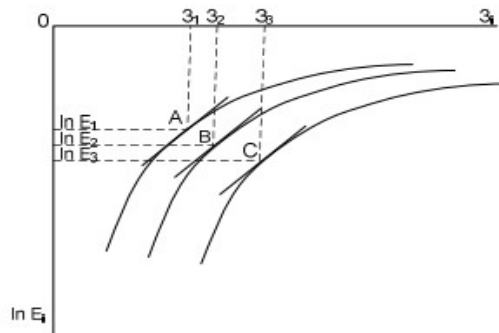


Рисунок 1.1 – Графічне представлення приростів функції $\ln(E_i) = f(z_i)$

На другому етапі оптимальна стратегія вибирається за умовою (1.7) шляхом порівняння відношення приростів для можливих схем електричної мережі. Такий підхід не вимагає зворотного ходу. Однак, через дискретність змінних, метод вимагає проведення ряду ітерацій, які можуть вимагати і уточнення розрахунків на першому етапі.

Висновки

В даній роботі було використано ітераційні методи для визначення оптимальної стратегії реконструкції електричної мережі. Отримано умови оптимальності, які дозволяють обрати оптимальну стратегію розвитку електричних мереж. Під час вибору оптимального варіанту розвитку електричної мережі було розв'язано задачу мінімізації затрат на реконструкцію та експлуатацію електричної мережі. Запропонований варіант розв'язку поставленої задачі дозволяє застосовувати принцип оптимальності динамічного програмування, а також дозволяє реалізовувати алгоритм пошуку оптимальної стратегії розвитку електричних мереж.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. План розвитку системи розподілу АТ «Вінницяобленерго» 2020-2024 рр. [Електронний ресурс] Режим доступу: https://voe.com.ua/sites/default/files/plan_rozvytku_at_voe_2024_2020_rik_onovlenyyu.pdf
2. Providing fixed level of electric energy supply quality in conditions of renovation of power distribution electrical networks with renewable energy sources Electrical and Computer Engineering / P. Lezhnyuk and other (UKRCON), 2017 IEEE First Ukraine Conference on P 379 – 383 DOI: 10.1109/UKRCON.2017.8100514.
3. Арсеньев Ю. Д. Теория подобия в инженерных экономических расчетах. М.: Высшая школа, 1967. 261 с.
4. Лежнюк П. Д., Комар В. О. Врахування показника якості функціонування під час реконструкції розподільних електричних мереж. Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства імені Петра Василенка. Технічні науки. 2010. Випуск 101.
5. Лежнюк П. Д., Комар В. О., Собчук Д. С. Підвищення якості електропостачання шляхом розбудови відновлюваних джерел електроенергії: Монографія. Луцьк : Луцький НТУ, 2015. 136

Комар Вячеслав Олександрович – доктор технічних наук, професор, зав. кафедри ЕСС, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця, e-mail: kvo1976@ukr.net

Болдирев Андрій Андрійович – аспірант кафедри ЕСС група 141-21а, факультет електроенергетики та електромеханіки, Вінницький національний технічний університет, м.Вінниця, e-mail: boltich1998@gmail.com

Кокиза Іван Олександрович – студент групи 2ЕЕ-18б, факультет електроенергетики та електромеханіки, Вінницький національний технічний університет, м.Вінниця, e-mail: kio20@gmail.com

Komar Viacheslav Oleksandrovich – the Doctor of Engineering, professor, the Head of PPS Department, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: kvo1976@ukr.net

Boldurev Andriy Andreevich – postgraduate student of PPS Department, group 141-21a, Power Engineering and Electromechanics Faculty, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: boltich1998@gmail.com

Kokuza Ivan Oleksandrovich – the student, group 2EE-18b, Power Engineering and Electromechanics Faculty, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: kio20@gmail.com