

# ВИБІР ОПТИМАЛЬНОЇ МЕРЕЖІ МЕТОДОМ ПОКОНТУРНОЇ ОПТИМІЗАЦІЇ

**Баженов В. А., к.т.н., доц., Штрик Я. В., магістрантка**

*КПІ ім. Ігоря Сікорського, кафедра електричних мереж та систем*

**Вступ.** При проектуванні електричних мереж важливим завданням є оптимізація її конфігурації для досягнення найкращого економічного ефекту без порушення технічних вимог. Для цього застосовують метод поконтурної оптимізації в статичній та динамічній постановці. Метод належить до групи методів математичного програмування, що отримав назву покоординатної оптимізації.

**Мета роботи.** Дослідження методу поконтурної оптимізації. Аналіз та вибір оптимальної мережі даним методом.

**Матеріали та дослідження.** При оптимізації розвитку енергосистем обирають напругу та конфігурацію електромережі, встановлюють черговість споруди об'єктів

В якості критерію оптимальності використовують суму динамічних дисконтованих витрат на всіх елементах мережі. Враховується динаміка розвитку мережі, вимоги до надійності та якості енергопостачання, обмеження по пропускній спроможності ліній електропередачі та трансформаторних підстанцій.

Електричні мережі енергосистем відносяться до класу динамічних систем, тому що знаходяться під впливом безперервно, змінюються в часі та просторі навантажень. Через це в проектуванні враховується динаміка розвитку електричних мереж.

У методах та алгоритмах оптимізації розвитку електричних мереж надійність енергопостачання вузлів навантаження враховують, як правило, в результаті введення додаткових вимог до конфігурації мережі. Для обліку надійності енергопостачання певних вузлів оптимальну мережу будують таким чином, щоб кількість ліній, що живлять кожний з розглянутих вузлів була не менше заданої.

Надійність може бути врахована в результаті включення до складу цільової функції збитку від недостатньої надійності електропостачання або в результаті розрахунку та порівняння показників надійності нормованими величинами.

При використанні метода поконтурної оптимізації виділяють зв'язну розімкнену мережу, яку називають деревом мережі. Дугами називають гілки мережі. При додаванні будь-якої з хорд до дерева утворюється контур[1].

Під час використання методу задачу вибору оптимальної мережі в статичній постановці формують як задачу визначення мінімуму функції витрат

$$V^* = \sum_{i \in M} V_i(P_i) \quad (1)$$

за умови

$$\sum_{i \in M_j} P_i - P_j = 0, \quad j = 1, 2, \dots, J - 1$$

де  $i$  – індекс гілок електричної мережі,

$M$  – множина допустимих гілок мережі,

$V_i(P_i)$  – відома функція витрат в  $i$ -у лінію, яку отримують при апроксимації кривої економічних інтервалів,

$M_j$  – множина гілок, з'єднаних вузлом  $j$ ;

$P_i$  – потужність, що перетікає по лінії  $i$ ;

$P_j$  – навантаження  $j$ -го вузла;

$J$  – кількість вузлів у мережі.

Потужність балансуєного вузла:

$$P_j = - \sum_{i \in M_j} P_i \quad (2)$$

На кожному кроці для спрощення обчислення апроксимують функцію витрат на кожен гілку мережі. Функція витрат для гілки, що будується має вигляд:

$$V_i(P_i) = \begin{cases} a_i + b_i |P_i|, & \text{якщо } P_i \neq 0; \\ 0, & \text{якщо } P_i = 0 \end{cases} \quad (3.1)$$

і для гілки, що вже існує

$$V_i(P_i) = b_i |P_i| \quad (3.2)$$

В загальному випадку при оптимізації кусково-лінійної функції достатньо розглянути її критичні точки. В такому випадку критичні точки відповідають нульовому навантаженню хорди або дуги контуру, для такого випадку достатньо порівняти зведені втрати для тих режимів в яких навантаження хорди або однієї з дуг дорівнює нулю[2].

Оптимізація була б завершена за  $k$  кроків, якщо контури мережі не взаємозалежні. Існують дуги які входять одразу до декількох контурів, тому в результаті оптимізації одного кроку змінюються умови оптимізації інших контурів. Взаємовплив контурів потребує ітераційного розгляду після якого виконують пошук екстремумів.

У процесі виділяють цикли при послідовному виконанні яких можливе розв'язання задачі. При цьому на кожному етапі здійснюється оптимізація всіх контурів мережі.

В результаті оптимізації  $k$ -го контуру – нульове навантаження не хорди, а  $l$ -ої дуги при цьому доречно замінити систему незалежних змінних. В такому разі  $k$ -у хорду доречно включити в дерево мережі, а  $l$ -у дугу до складу хорд. В іншому

випадку дугу при оптимізації одного контуру можна вважати замкнутою, а при оптимізації іншого – розімкнутою.

Алгоритм виконання методу поконтурної оптимізації [3]:

1. У вихідній мережі виділяється дерево. Дуги з яких складається дерево позначаються індексами  $l=1, 2, \dots, L$ , а хорди – індексами  $k=1, 2, \dots, K$ .

2. Навантаження всіх хорд прирівнюється до нуля:  $P_k=0, k=1, 2, \dots, K$ .  
Задається  $k=1$ .

3. Далі оптимізується  $k$ -й контур:

$$V_k^*(P_l = 0) = \min\{V_k^*(P_l = 0)/l \in M_k\}.$$

Якщо

$$V_k^*(P_l = 0) < V_k^*(P_k = 0)$$

то для виконання наступного кроку процесу оптимізації дугу  $l$  приймають, як хорду, а  $k$ -у хорду відносять до складу дерева. Для інших випадків система незалежних змінних залишається без зміни. Приймається  $P_k=0$ .

4. Якщо розглянуто всі контури електромережі  $k = K$ , переходять до п.6. Якщо розглянуто не всі контури, то змінюється поточний індекс контуру на  $k=k+1$  та повертаються до п.3.

5. У випадку зміни в складі дерева та хорд на циклі оптимізації, приймають  $k=1$  і переходять до п.3, якщо ні, то – до п.6.

6. Кінець.

При використанні даного алгоритму критерієм закінчення процесу оптимізації є постійність складу дерева та хорд після здійснення циклу. В загальному ітераційний процес можна вважати завершеним, якщо виконується умова:

$$|V^{(V-1)} - V^V| \leq \varepsilon,$$

де  $V$  – номер циклу процесу оптимізації.

**Висновки.** Електричні мережі енергосистем належать до класу динамічних систем, що безупинно розвиваються. Через безперервний ріст електроспоживання виникає необхідність введення нових генеруючих потужностей, спорудження та реконструкції ліній електропередачі та підстанцій. Даний метод, що описується реалізовується для визначення оптимальної конфігурації мережі. Модифікація методу, спрямована на вирішення динамічної задачі оптимізації розвитку мережі.

#### Перелік посилань

1. Методи оптимізації режимів енергосистем. Методичні вказівки до виконання курсової роботи./В. А. Баженов. – К.:НТУУ «КПІ». – 2013, 27с;
2. Моделі оптимального розвитку енергосистеми. Методичні вказівки до вивчення дисципліни./В. А. Баженов. – К.:НТУУ «КПІ». – 2008, 65с;
3. Оптимізація конфігурації електромережі методом поконтурної оптимізації./В.А. Баженов. С. І. Долинюк –КПІ, 2020.