

ПИТАННЯ ВИКОРИСТАННЯ МАТЕМАТИЧНИХ МЕТОДІВ ДЛЯ ОПТИМІЗАЦІЇ РОЗВИТКУ ЕЛЕКТРИЧНИХ МЕРЕЖ ЕНЕРГОСИСТЕМ

Баженов В. А., к.т.н., доцент, Козачук О. В., магістрант
КПІ ім. Ігоря Сікорського, кафедра електричних мереж та систем

Вступ. При оптимізації розвитку електричних мереж енергосистем вибираються напруга та конфігурація мереж, встановлюється черговість спорудження об'єктів електромереж. Критерій оптимальності при оптимізації - це сума динамічних лисконтованих витрат по всіх елементах мереж. При рішенні повинні бути враховані динаміка розвитку мереж енергосистем, вимоги до надійності і якості енергопостачання, обмеження по пропускній здатності ліній електропередачі й трансформаторних підстанцій. Для вирішення задач оптимізації розвитку електричних мереж розроблялись та вдосконалювались методи оптимізації. Одним з таких методів є метод поконтурної оптимізації.

Мета роботи. Розробка методів та алгоритмів оптимізації розвитку електричних мереж енергосистем з використанням математичного методу поконтурної оптимізації.

Матеріали і результати досліджень. Під час використання математичного методу поконтурної оптимізації в результаті попереднього інженерного аналізу визначається вихідна розрахункова схема електричної мережі, що має в собі надлишкові лінії. Використовуючи метод поконтурної оптимізації, в розрахунковій схемі виділяють зв'язну розімкнуту мережу, яку називають деревом мережі. Усі гілки мережі називають дугами. Дуги, що утворюють дерево, позначають індексами $l = 1, 2, \dots, L$. Дуги, що не входять в дерево, і вмикання яких забезпечує перехід до вихідної замкнутої мережі, називають хордами, які позначають індексами $k = 1, 2, \dots, K$. У результаті додавання будь-якої із хорд до дерева мережі утвориться контур.

Алгоритм методу поконтурної оптимізації записується таким чином:

1. Виділяють дерево мережі. При цьому дуги, що утворюють дерево, позначають індексами $l = 1, 2, \dots, L$, а хорди індексами $k = 1, 2, \dots, K$. Навантаження всіх хорд дорівнюють до нуля: $P_k = 0, k = 1, 2, \dots, K$. Задають $k = 1$.

2. Виконують оптимізацію k – го контуру. При цьому знаходять

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

Якщо $V_k^*(P_l = 0) < V_k^*(P_k = 0)$, то для наступного кроку оптимізації дугу l беруть як хорду, а k – у хорду включають в дерево мережі. У протилежному випадку система незалежних змінних залишається без зміни. Задають $P_k = 0$.

3. Якщо всі контури мережі розглянуті $k = K$, то переходять до п.4 алгоритму, якщо ні, то змінюють поточний індекс контуру $k = k + 1$ і переходять до п.2.

4. Якщо в циклі процесу змінювали дерева і хорди мережі, то беруть $k = 1$ і переходять до п.2 алгоритму, якщо ні – до п.5.

5. Кінець.

В якості критерія оптимальності при рішенні задачі оптимізації розвитку електричної мережі використовують суму динамічних дисконтованих витрат по всім гілкам мережі:

$$Z^c = \sum_{i \in M} Z_c$$

де i - поточний індекс гілок мережі; M - множина допустимих гілок.

У складі елементів мережі розрізняють лінії електропередачі й трансформатори. Кожний елемент характеризується рядом параметрів, серед яких можуть бути, наприклад, напруга, перетин і число ланцюгів лінії, потужність трансформатора й т.п. Зазначені параметри дискретні, що викликає істотні ускладнення при вирішенні задачі оптимізації. Так як ці параметри можна представити функціями потоку потужності по лінії електропередачі або трансформатору, при оптимізації, для скорочення розмірності розв'язуваної задачі, доцільно виключити їх із числа незалежних змінних. Для цього можна застосувати метод економічних інтервалів, при використанні якого наведені витрати i -ої галузі електричної мережі при будь-якому значенні потоку потужності по елементу P_i - повинні задовольняти умові

$$Z_i(P_i) = \min\{Z_{i1}(P_{i1}), Z_{i2}(P_{i2}), \dots, Z_{iV}(P_i)\}$$

де V - загальна кількість варіантів технічного виконання i -ої гілки.

Витрати в лінію електропередачі можна представити у вигляді

$$Z_v = Z_{v0} \cdot l$$

де Z_{v0} - витрати на спорудження й експлуатацію одиниці довжини лінії заданого типу й напруги з перетином S_v ; l - довжина лінії.

Витрати для ліній, що споруджуються знову

$$Z_{v0} = (E_H + p_a) \cdot K_{ov} + \frac{P^2}{U_{cp}^2 \cdot \cos^2 \varphi} \cdot r_{ov} \cdot Z_3 \cdot \tau,$$

де K_{ov} - капіталовкладення на одиницю довжини лінії перетином S_v ; U_{cp} - середня експлуатаційна напруга; $\cos \varphi$ - середнє значення коефіцієнта потужності для даного класу напруги; r_{ov} - погонний опір лінії перетином S_v ; Z_3 - питома вартість втрат електроенергії; τ - кількість годин максимальних втрат.

Визначимо оптимальну конфігурацію електричної мережі, розрахункова схема якої зображена на рисунку 1. На рисунку показано навантаження вузлів (у мегаватах) і довжини ліній (в кілометрах) мережі. Існуюча лінія 0–1 позначена суцільною лінією, а можливі траси нових електропередач – пунктиром. Розрахунок питомих витрат на 1 км нових ліній визначимо за виразом

$$Z_0 = 1,624 + 0,043 \cdot P$$

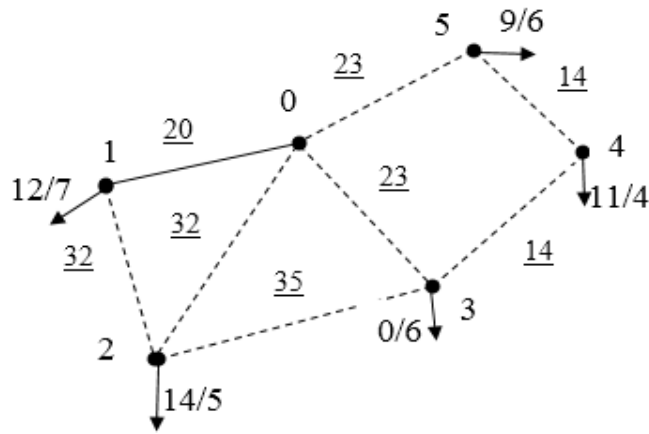


Рисунок 1 – Розрахункова схема електричної мережі

Виконуємо багатокроковий процес оптимізації електричної мережі. За хорди вихідної мережі візьмемо ділянки 1–2, 2–3 і 3–4. В результаті отримаємо наступні контури. Перший контур: 0 – 1, 0 – 2 – дуги та хорда 1 – 2. Другий контур: 0 – 2, 0 – 3 – дуги та хорда 2 – 3. Третій контур: 0 – 3, 0 – 5, 5 – 4 – дуги та хорда 3 – 4.

Оптимізацію проводимо для кожного контуру мережі. Для цього по чергово прирівнюємо до нуля навантаження кожної лінії. Для кожного з варіантів схеми знаходимо розподіл потужностей і зведені витрати на спорудження мережі. На рисунку 2 зображений поточкорозподіл після по чергового відключення ліній у першому контурі.

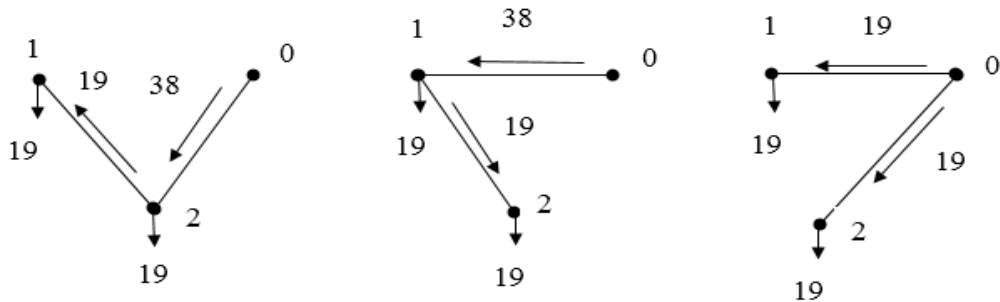


Рисунок 2 – Поточкорозподіл після відключення ліній першого контуру

Оскільки найменші витрати в першому контурі забезпечує відключення лінії 0–2, дану лінію зараховуємо до хорд, а хорду 1–2 – до дуг. Тоді перший контур утворюють дуги 0–1, 1–2 і хорда 0–2, другий – 0–2, 0–3 і хорда 2–3 і третій – 0–3, 0–5, 4–5 і хорда 3–4.

Аналогічно виконуємо оптимізацію другого контура заданої мережі. В результаті оптимізації другого контуру найменші витрати забезпечує відключення лінії 0–2, тому лінію 0–2 включаємо в кількість хорд, а хорду 2–3 відносимо до дуг.

Виконуємо оптимізацію третього контуру. Знову по черзі відключаємо кожну лінію. Найменші витрати забезпечує відключення лінії 0–3, тому лінію 0–3 відносимо до хорд, а хорду 3–4 – до дуг.

Оскільки на першому кроці оптимізації положення хорд контурів змінилося, переходимо до другого кроку оптимізації. На другому кроці по черзі виконуємо оптимізацію першого, другого та третього контурів.

Оскільки на другому кроці оптимізації хорди незалежних контурів не змінили свого положення, отримано розв'язок задачі оптимізації розвитку мережі. Оптимальна конфігурація мережі показана на рисунку 3.

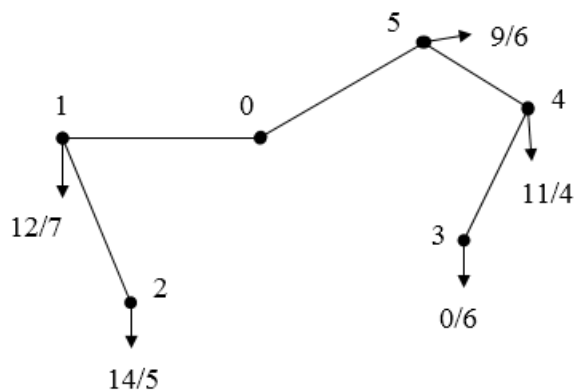


Рисунок 3 – Оптимальна конфігурація електричної мережі

Висновки. Метод поконтурної оптимізації використовується для вирішення задач знаходження оптимальної конфігурації проектованої електричної мережі як в статичній, так і в динамічній постановці. Однією з переваг даного методу є те, що він може бути ефективно застосований як для лінійних функцій витрат, так і для нелінійних.

Перелік посилань

1. Баженов В.А. Модели оптимального развития энергосистем: учеб.пособ. /В.А. Баженов. –К.:КПИ,1984. – 100с.
2. Кузнецов В.Г. Оптимизация режимов электрических сетей/ В.Г. Кузнецов, Ю.И. Тугай, В.А. Баженов. – К.: Наукова думка, 1992. – 216 с.
3. Остапчук Ж.І., Кулик В.В., Тептя В.В. Моделирование в задачах развития электрических систем. Навчальний посібник. – Вінниця: ВНТУ, 2008. – 128 с.