

УДК 621.39

В.П. Разживін, В.В. Маршалов

Харківський університет Повітряних Сил імені Івана Кожедуба, Харків

ОПТИМІЗАЦІЯ ЕЛЕКТРИЧНОЇ МЕРЕЖІ ПРОМИСЛОВОГО РАЙОНУ

В статті розглядається можливість рішення оптимізаційної задачі розподілу потужностей електричних підстанцій промислового району між споживачами електричної енергії.

Ключові слова: електрична мережа, оптимізаційна задача, метод найкорішого спуску, потужність.

Вступ

При плануванні електропостачання промислового району виникає завдання оптимального розподілу потужності між споживачами. Показник, за величиною якого оцінюють, чи являється рішення оптимальним, називається критерієм оптимальності. Найбільш часто в якості критерію оптимальності приймається економічний критерій, який представляє собою мінімум витрат (фінансових, енергетичних, сировинних і т.д.) на реалізацію поставленого завдання. При заданих або обмежених величинах цих витрат економічний критерій – одержання максимального прибутку. В електроенергетиці в залежності від вимог поставленого завдання можуть прийматися і інші критерії оптимальності, а саме:

- критерій надійності електропостачання;
- критерій якості електроенергії;
- критерій найменшого впливу на навколишнє середовище (екологічний критерій).

В роботі пропонується в якості критерію оптимальності обрати втрати потужності при розподілі її між споживачами.

Аналіз літератури. Втрати [1] залежать від багатьох чинників, таких як довжина ліній електропередач, матеріал, з якого виготовлена лінія, перетин проводів, навантаження і таке інше.

Якщо відомі обмеження на передачу електричної енергії, а також втрати на одиницю потужності при передачі електроенергії від i -го пункту постачання до j -го пункту споживання (а також в припущенні, що загальні втрати пропорційні переданій потужності), то задачу оптимізації можна вирішити методами математичного програмування. Відомо [2], що задачу оптимального розподілу електроенергії можна вирішити методами лінійного програмування. При даній постановці задачі джерелами живлення являються електричні підстанції, споживачами – промислові споживачі електроенергії. Нехай в системі електропостачання, що проектується, маємо $i=1,2,\dots,n$ вузлів джерел живлення та $j=1,2,\dots,m$ вузлів споживачів. Потужність кожного з джерел складає A_i , а потужність кожного із споживачів – B_j одиниць потужності (о.п.). Звісно взаємне розмі-

щення вузлів джерел та споживачів. Загальна кількість можливих до будівництва ліній електропередач, які зв'язують джерела зі споживачами, складає $n \cdot m$. Звісно, що електрична мережа являється електричним колом і для цієї мережі можна застосувати 1-й закон Кірхгофа. Для кожного i -го джерела живлення сума потужностей, які відтікають по лініях до всіх $j=1,2,\dots,m$ вузлів споживачів, дорівнює потужності A_i цього джерела:

$$\sum_{j=1}^m x_{ij} = A_i, i = \overline{1, n}. \quad (1)$$

Для кожного j -го споживача сума потужностей, які притікають по лініях від всіх $i = 1, 2, \dots, n$ джерел дорівнює потужності B_j цього споживача:

$$\sum_{i=1}^n x_{ij} = B_j, j = \overline{1, m}. \quad (2)$$

Співвідношення (1) та (2), які представляють собою баланси потужності в кожному з вузлів, являються обмеженнями при рішенні задачі. Загальна кількість обмежень дорівнюється кількості вузлів джерел та споживачів $n+m$. Звісно, що для будь-якої електричної мережі кількість незалежних рівнянь, які складаються за 1-м законом Кірхгофа, на одиницю менше кількості вузлів і складає $(n+m-1)$. Оскільки кількість незалежних обмежень складає $(n+m-1)$. Кількість базисних (не рівних нулю) змінних дорівнює кількості незалежних обмежень і складає $(n+m-1)$. Останні змінні являються вільними (рівними нулю). Кількість вільних змінних дорівнює $(nm - (n+m-1))$. Кожна базисна змінна x_{ij} відповідає наявності в схемі ліній між вузлами i та j , так як потужність, яка протікає між вузлами i та j , не дорівнює нулю. Кожна вільна змінна x_{ij} відповідає відсутності в схемі лінії між вузлами i та j , так як потужність, яка протікає між вузлами i та j , дорівнює нулю.

В задачі, що розглядається, всі потужності, що передаються від джерел до споживачів, не є негативними. Тому обмежувальні умови мають вигляд

$$x_{ij} > 0, \quad i=1,2,\dots,n; \quad j=1,2,\dots,m. \quad (3)$$

Цільова функція, що є сумою витрат по всіх передачах, тобто суму величин, помножених на, повинна бути мінімальною

$$L' = c_{11}x_{11} + c_{12}x_{12} + \dots + c_{ij}x_{ij} + \dots + c_{mn}x_{mn}, \quad (4)$$

де c_{ij} – втрати при передачі на одиницю потужності.

Вирази (1) – (4) представляють собою математичну модель задачі. Вирази для цільової функції та обмежень являються лінійними, тому задача може бути вирішена симплекс-методом або за допомогою простіших методів, до яких відноситься транспортна задача.

Основний матеріал

У нашому випадку необхідно так розподілити активну потужність між підстанціями, щоб сумарні витрати були мінімальні, основною складовою цих втрат є питома втрата. Тому в якості цільової функції, що мінімізується, приймемо загальні втрати електроенергії в енергосистемі промислового району. Нехай в енергосистемі промислового району є підстанції. Для кожної підстанції відомі загальні втрати від переданої підстанцією активної потужності.

Ці втрати, як правило, мають нелінійний характер і звичайний вигляд:

$$V_i(P_i), \quad i=1, 2, \dots, n. \quad (5)$$

Цільова функція буде являти собою суму таких нелінійних залежностей:

$$Z = V_1(P_1) + V_2(P_2) + \dots + V_n(P_n) \rightarrow \min. \quad (6)$$

В енергосистемі повинен дотримуватися баланс потужностей в слідстві з яким сума переданих підстанціями потужностей дорівнює споживаній потужності

$$P_1 + P_2 + \dots + P_n = P_{\text{спож.}} \quad (7)$$

Вираз балансу активної потужності і є обмеженням в розглянутій оптимізаційній задачі.

Практичними умовами будуть позитивні значення шуканих потужностей підстанції.

$$P_i > 0, \quad i=1, 2, \dots, n. \quad (8)$$

Для вирішення завдання може бути застосований один з методів рішення задачі нелінійного програмування, таких як градієнтний метод, метод покоординатного спуску, метод проектування градієнта та інші. Співвідношення (6) – (8) – математична модель оптимізаційного завдання. Так як в даній постановці задачі треба знайти екстремум функції (6) при наявності обмеження (7) і граничних умов (8), то задача відноситься до задач умовної оптимізації. Скористаємося методом невизначених множників Лагранжа.

Складемо функцію Лагранжа:

$$L = V_1(P_1) + V_2(P_2) + \dots + V_n(P_n) + \lambda (P_1 + P_2 + \dots + P_n - P_{\text{спож.}}) \rightarrow \min. \quad (9)$$

Для визначення мінімуму функції Лагранжа обчислимо всі її частинні похідні і прирівняємо їх до нуля:

$$\partial L / \partial P_1 = \partial V_1 / \partial P_1 + \lambda = 0,$$

$$\partial L / \partial P_2 = \partial V_2 / \partial P_2 + \lambda = 0,$$

$$\dots \dots \dots$$

$$\partial L / \partial P_n = \partial V_n / \partial P_n + \lambda = 0,$$

$$\partial L / \partial \lambda = P_1 + P_2 + \dots + P_n - P_{\text{спож.}} = 0 \quad (10)$$

$$\text{Із (10) випливає, що вона має рішення за умови} \\ \partial V_1 / \partial P_1 = \partial V_2 / \partial P_2 = \dots = \partial V_n / \partial P_n \quad (11)$$

та виконання балансу потужності (7).

Таким чином, оптимальний розподіл потужностей між підстанціями промислового району має місце при рівності між собою питомих втрат кожної підстанції.

Висновки

1. В задачах оптимізації розподілу потужностей електричних підстанцій промислового району між споживачами електричної енергії можуть бути використані методи лінійного та нелінійного програмування.

2. В лінійній постановці задачі рішення може бути одержане симплекс-методом або рішенням транспортної задачі.

3. В даному випадку, коли співвідношення мають нелінійний характер, рішення може бути одержане методом Лагранжа.

Доказано що оптимальний розподіл буде мати місце при рівності між собою питомих втрат кожної підстанції.

Список літератури

1. Боровиков В.А. *Электрические сети энергетических систем* / В.А. Боровиков, В.К. Косарев, Г.А. Ходот. – Л.: Энергия, 1997. – 244 с.
2. В.Н. Костин. *Оптимизационные задачи электроэнергетики. Учебное пособие* / В.Н. Костин. – С-Пб.: СПбГТУ, 2003. – 184 с.

Надійшла до редколегії 14.10.2014

Рецензент: д-р техн. наук, проф. О.М. Фоменко, Харківський університет Повітряних Сил ім. І. Кожедуба, Харків.

ОПТИМИЗАЦИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ СЕТИ ПРОМЫШЛЕННОГО РАЙОНА

В.П. Разживин, В.В. Маршалов

В статье рассматривается возможность решения оптимизационной задачи распределения мощностей электрических подстанций промышленного района между потребителями электрической энергии.

Ключевые слова: электрическая сеть, оптимизационная задача, метод скорейшего спуска, мощность.

OPTIMIZATION OF ELECTRICAL NETWORKS INDUSTRIAL DISTRICT

V.P. Razzhivin, V.V. Marshalov

The article considers the possibility of solving the optimization problem of capacity allocation electrical substations industrial area between the consumers of electric energy.

Keywords: electric network optimization problem, the method of steepest descent power.