

УДК 621.316.11

А. П. Заболотний канд. техн. наук, Д. В. Федоша, Н. А. Кучерук, А. В. Присяжний
Запорізький національний технічний університет

Алгоритм визначення оптимальної топології розподільчої мережі

Запропоновано алгоритм визначення оптимальної топології мережі на основі використання оцінки поліпшення варіанту при зміні топології в локальних зонах, а також алгоритм визначення шляху прокладання магістралі.

топологія, схема електропостачання, магістральна схема, радіальна схема, алгоритм, поверхня, електроприймач

Вступ

На вибір топології схеми розподілу електроенергії впливають такі чинники: вимоги до безперебійності живлення, розміщення технологічного устаткування на площі цеху, умови середовища в цеху, розміщення трансформаторних підстанцій, а також суттєвий вплив суб'єктивізму проектувальника при рішенні задачі побудови розподільчої мережі.

Схема електропостачання повинна бути надійною і безпечною, зручною в експлуатації і економічною, а також відповідати мінімуму розрахункових витрат на її спорудження.

На практиці для систем електропостачання використовують радіальні, магістральні і змішані топології мережі.

Враховуючи переваги та недоліки різних топологій, а також рекомендації та методики щодо використання магістральної та радіальної схем [1–2], неможливо однозначно визначити топологію всієї мережі. Але використовуючи той фактор, що магістральна мережа має меншу вартість, можливо за допомогою оціночного методу визначити топологію мережі шляхом порівняння вартості капітальних та експлуатаційних витрат радіальної та магістральної схем.

Такий підхід дає можливість визначити зони застосування різних топологій, тобто в залежності від вихідних умов з'являється можливість отримати повністю радіальну, магістральну або змішану схему.

Метою дослідження є побудова алгоритму визначення оптимальної топології мережі на основі використання оцінки поліпшення варіанту при зміні топології в локальних зонах, а також алгоритм визначення шляху прокладання магістралі.

Рішення задачі визначення оптимальної топології розподільчої мережі умовно можливо розділити на два етапи.

На першому етапі необхідно побудувати радіальну мережу. Вже існує алгоритм на основі методу потенційної поверхні, який застосовується для рішення задач побудови мереж та в процесі своєї роботи визначає

окремі зони, до яких можливо використати оціночний метод [3].

На другому етапі необхідно побудувати магістральну мережу. Оскільки окрім вихідних даних вже відомі результати роботи методу побудови радіальної схеми, доцільним буде застосувати такий алгоритм, метою якого було б покращення варіанту радіальної мережі.

Основною задачею при побудові магістральної мережі є визначення шляху прокладання магістралі та кількості приймачів, які до неї приєднуються.

Для вирішення цієї задачі потрібно звернутися до теорії графів, тобто мережа асоціюється з лінійним її графом, де за вершини приймаються джерело живлення та електроспоживачі, за вагу дуги прийнято суму витрат на побудову магістралі та експлуатаційних витрат.

Ці витрати розраховуються за формулою [4]:

$$Z = 0,15 \cdot K + \frac{a_a + a_o + a_p}{100} \cdot K + C_0 \cdot \tau \cdot I^2 \cdot r_0 \cdot l \cdot 10^{-3}, \quad (1)$$

де K – капітальні вкладення на побудову мережі, грн.;

0,15 – коефіцієнт ефективності капіталовкладень;

C_0 – вартість електричної енергії, грн./кВтгод;

a_a – відрахування на амортизацію, які складаються з відрахувань на ремонт і реновацію та залежать від строку служби електрообладнання;

a_p – відрахування на поточний ремонт, який складає 0,5–1 %;

a_o – відрахування на обслуговування.

Для формалізованого опису конфігурації лінійного графа використовується характеристична матриця. Ця матриця є математичною моделлю мережі і використовується для виконання різних розрахунків після введення відповідної початкової інформації стосовно елементів схеми. Використання такої моделі дозволяє знайти шлях найменшої довжини.

Опишемо більш детально методи знаходження відстані від фіксованої вершини, званої джерелом, до всієї решти вершин графа.

Існує декілька алгоритмів для знаходження мінімаль-

ного шляху. Але найбільш припустимим для даного випадку є алгоритм Дейкстри [5], який вирішує задачу про найкоротші шляхи з однієї вершини для зваженого орієнтованого графа з заданою початковою вершиною, в якому вага всіх ребер не є негативною. Нижче наведено цей алгоритм більш докладно.

Алгоритм використовує три масиви з n чисел кожний. Перший масив Visited містить мітки з двома значеннями: False (вершина ще не була розглянута) і True (вершина вже була розглянута); другий масив Len містить поточні найкоротші відстані від початкової до відповідної вершини; третій масив C містить номери вершин – k -ий елемент C є номер передостанньої вершини на поточному найкоротшому шляху з початкової вершини в k . Використовується також Matrix – матриця відстаней.

Кроки алгоритму Дейкстри:

Ініціалізація (1-й крок). В циклі від 1 до n заповнити значенням False масив Visited; заповнити числом i масив C (i – номер стартової вершини); перенести i -ий рядок матриці Matrix в масив Len;

Visited[i]:=True; C[i]:=0;

Загальний крок (2-й крок). Знайти мінімум серед невідмічених (тобто тих k , для яких Visited[k]=False); припустимо, мінімум досягається на індексі j , тобто Len[j] ≤ Len[k];

Потім виконувати наступні операції:

Visited[j]:=True;

якщо Len[k]>Len[j]+Matrix[j, k], то (Len[k]:=Len[j]+Matrix[j, k]; C[k]:=j)

{Якщо всі Visited[k] відзначені, то довжина шляху від v_i до v_k дорівнює C[k]. Треба перерахувати вершини, що входять в найкоротший шлях}.

Видача відповіді (3-й крок). {Шлях від v_i до v_k видається в зворотному порядку наступною процедурою:}

3.1 z:=C[k];

3.2 Видати z

3.2 z:=C[z]. Якщо z=0, то кінець,

інакше перейти до 3.2.

Розглянувши вищевикладений алгоритм Дейкстри, можна сказати, що даний алгоритм найбільш прийнятний для вирішення задачі в знаходженні найкоротшого шляху між двома вершинами графа, за одну з яких беруться координати джерела живлення, а за іншу координати найвіддаленішого електроприймача.

Застосувавши алгоритм Дейкстри до поставленої задачі, з'ясовано, що у алгоритму Дейкстри є недолік. Якщо узяти за вагу витрати, то при складанні матриці отримаємо непостійні значення терезів, а у викладеному вище алгоритмі матриця терезів постійна, що не відповідає поставленій задачі.

Тому було модернізовано алгоритм Дейкстри і в його підпрограму внесено деякі зміни: після того, як i -ий елемент став j -им, перебудовується матриця; j -ому елементу призначається потужність, яка буде дорівнювати сумі потужності i -ого елемента, потужності j -ого елемента і очікуваної втрати потужності.

$$P = P_i + P_j + \Delta P_{ij}. \quad (2)$$

В модернізованому алгоритмі кількість електроприймачів позначено як $n-1$, де n – це номер джерела живлення, $k = n$, кількість $k = 1$. З урахуванням внесених змін блок-схема алгоритму матиме такий вигляд (рис. 1).

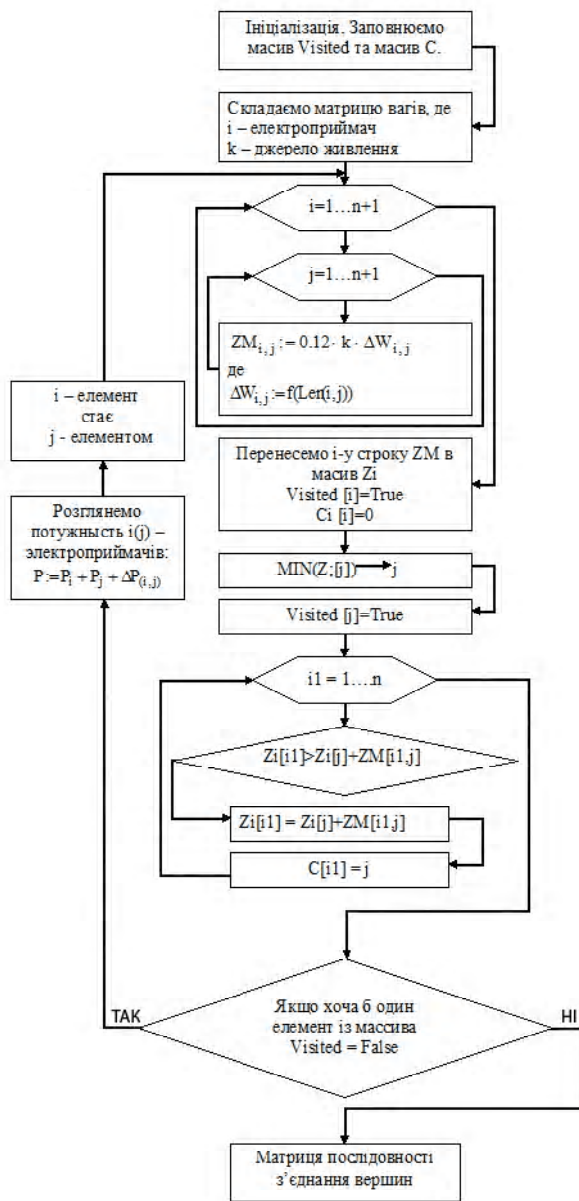


Рис. 1. Блок-схема алгоритму Дейкстри

За результатами перевірки роботи даного алгоритму можна зробити висновок, що із всіх варіантів, які будуть розглядатися, поліпшити значення, прийняте мінімальним (витрати на побудову ділянки мережі від джерела живлення до найбільш віддаленого споживача) не вдасться, оскільки збільшуються як протяжність магістралі, так і втрати потужності на окремих ділянках мережі. Це означає, що розрахунок закінчується. Тобто алгоритм не дає можливості використовувати його для побудови оптимальної моделі розподільчої мережі.

Застосуємо інший метод на основі сіткового планування.

Суть методу така.

Потрібно прокласти магістралі, захопивши якнайбільше приймачів, таким чином, щоб вартість магістралі не перевищувала вартість радіальних ліній, які живили ті самі приймачі. Для цього представляємо розрахункову мережу графом, для якого нам відомі координати електроспоживачів та потужність, яку вони споживають.

Далі джерелу живлення привласнюємо мітку 0. Інші вершини отримують мітку M (M – нескінченно велике число).

У всіх вершин, у яких мітка кінцевої вершини більша за суму (мітка початкової вершини плюс вага дуги), замінимо мітку кінцевої вершини на цю суму, вважаємо що $M - M = 0$.

Наприклад, вершина № 2 є кінцевою вершиною ребра 1-2. Мітка вершини № 2 більша за суму мітки вершини 1 і ваги ребра 1-2 ($M > 0 + 1$). Отже, вершина № 2 одержує нову мітку 1.

$A(m) = \{w \in V: w \in \Gamma(A(m)) \& (wA(k), k \leq m)\}$ привласнити мітку $m+1$.

Якщо на якомусь кроці множина $A(m+1)$ порожня і вершина w не отримала мітки, то в G не існує $(v-w)$ -шляху.

Перебір продовжується до тих пір, поки у кожній дугі мітка кінцевої вершини буде меншою або рівною сумі, тобто $w \in A(n)$.

На наступному кроці визначається послідовність вершин v_1, \dots, v_{ik} таких, що

$$w \in \Gamma(v_{i1}) \& v_{i1} \in A(n-1); \quad (3)$$

$$v_{i1} \in \Gamma(v_{i2}) \& v_{i2} \in A(n-2); \quad (4)$$

$$v_{i(k-1)} \in \Gamma(v_{ik}) \& v_{ik} \in A(0). \quad (5)$$

Шлях $m = (v = v_{ik}, v_{i(k-1)}, \dots, v_{i1}, w)$ є шуканим. Мітка кожної вершини w рівна якнайменшому числу m , для якого існує $(v-w)$ -шлях, що містить m дуг. Помітимо також, що після розстановки всіх можливих міток вершин можна визначити $(v-w)$ -шляхи з якнайменшим числом дуг для будь-якої вершини w , якщо вони існують.

Розглянемо цей метод з точки зору застосування його як методу поліпшення варіанта побудови радіальної мережі. Використаємо отриманий алгоритм для побудови магістралі. Для цього спочатку знайдемо, як і у випадку алгоритму Дейкстри, найвіддаленішого споживача, до якого спочатку будемо будувати магістраль.

На першому кроці джерелу живлення привласнюємо мітку 0, іншим вершинам мітку M ; M , як вже було вказано – нескінченно велике число.

Починаємо розраховувати вагу дуг та переписувати масив, який містить значення вершин графа, тобто якщо сума ваги дуги і значення мітки початку цієї дуги менша за M , то кінцевій вершині цієї дуги привласнюється значення цієї суми. Розрахунок триває до тих пір,

доки не досягнемо кінцевої точки, або доки вартість побудови магістралі буде нижчою, ніж вартість радіальної мережі, або доки будуть дотримуватись гранично припустимі вимоги.

Побудова магістралі ведеться за мінімальними значеннями вершин графа.

Алгоритм методу зображений на рис. 2.

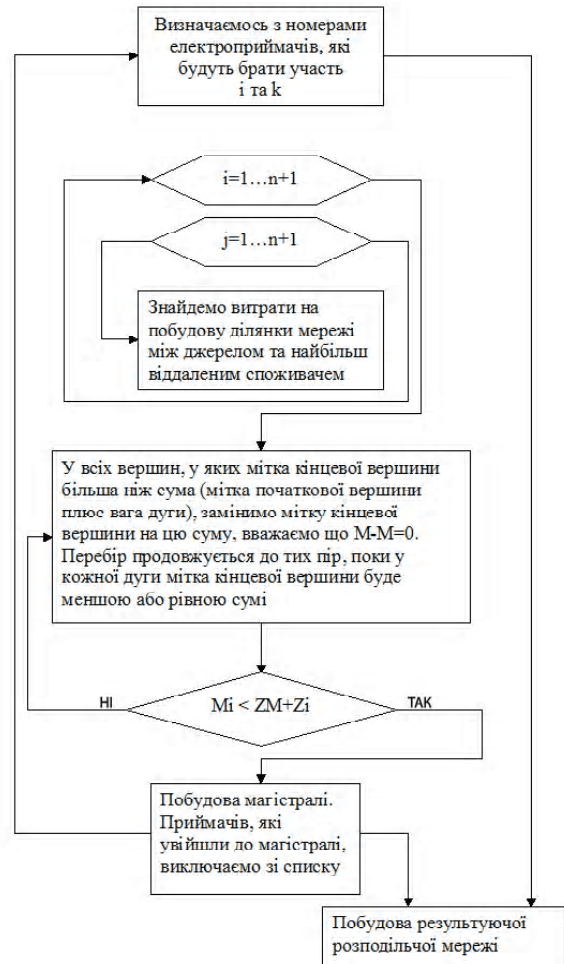


Рис. 2. Робота алгоритму побудови магістральної мережі

Із вищевикладеного отримуємо, що алгоритм визначення оптимальної топології розподільчої мережі складається з двох етапів. На першому етапі будується радіальна мережа, при побудові використовується метод потенційних поверхонь. На другому етапі проводиться спроба поліпшити варіант, отриманий на першому. Для цього використовується оціночний метод. Отриманий алгоритм наведено на рис. 3.

Висновки

Для побудови оптимальної топології мережі було запропоновано алгоритм, який включає у себе елементи теорії графів та метод потенційної поверхні, в основу якого покладено порівняння вартості побудови радіаль-

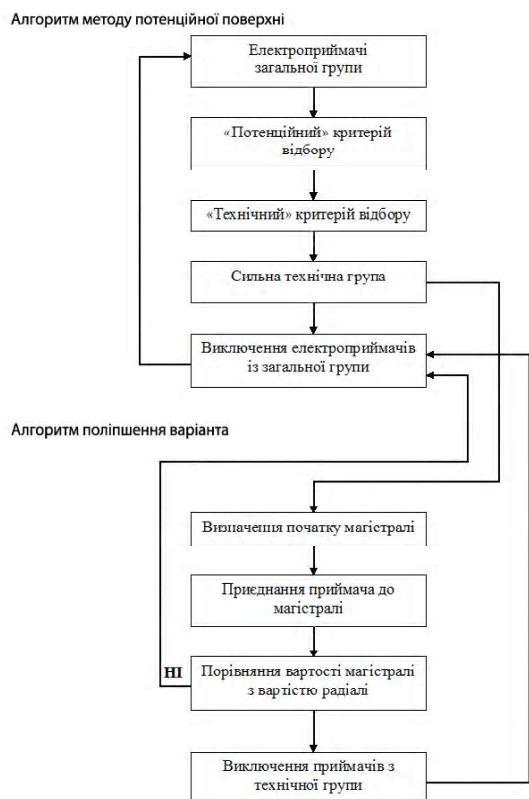


Рис. 3. Алгоритм знаходження оптимальної топології розподільчої мережі

ної та магістральної мережі, а також порівняння експлуатаційних витрат, що дає змогу суттєво зменшити вплив суб'єктивізму проектувальника при вирішенні задачі побудови розподільчої мережі.

Список літератури

1. Федоров А. А. Основы электроснабжения промышленных предприятий / Федоров А. А., Каменева В. В. – М. : Энергоатомиздат, 1984. – 472 с.
2. Липкин Б. Ю. Электроснабжение промышленных предприятий и установок: Учебник для учащихся техникумов / Липкин Б. Ю. – 3-е изд., перераб. и доп. – М. : Высш. школа, 1981. – 366 с.
3. Заболотный А. П. Удосконалений метод потенційної функції для формування оптимальної структури розподільчої мережі / Заболотный А. П., Федоса Д. В., Криворученко Н. Л., Яценко О. О. // Електротехніка та електроенергетика. – 2008. – № 1. – С. 74–80.
4. Державний стандарт України. Енергозбереження. Системи електроприводу. Метод аналізу та вибору : ДСТУ 3886-99 – ДСТУ 388-99. – [Чинний від 2000-07-01]. – К. : Держстандарт України, 2000. – 122 с.
5. Иванов Б. Н. Дискретная математика. Алгоритмы и программы / Иванов Б. Н. – М. : Лаборатория Базовых Знаний, 2001. – 288 с.

Поступила в редакцію 05.10.09 г.

После доработки 29.01.10 г.

Заболотный А. П., Федоса Д. В., Присяжный А. В., Кучерук Н. А. Алгоритм определения оптимальной топологии распределительной сети.

Предложен алгоритм определения оптимальной топологии сети на основе использования оценки улучшения варианта при изменении топологии в локальных зонах, а также алгоритм определения пути прокладки магистрали.

топология, схема электроснабжения, магистральная схема, радиальная схема, алгоритм, поверхность, электроприемник

Zabolotny A. P., Fedosha D. V., Prysiashnyi A. V., Kucheruk N. A. Algorithm of determination of optimum topology of distributive network.

An algorithm for determining optimal electrical network topologies based on the evaluation of improvement options when changing the topology of local areas, as well as the algorithm for determining the main routing.

topology, chart of power supply, main chart, radial chart, algorithm, surface, electro-receiver