

ЗНИЖЕННЯ ВТРАТ ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ ПРИ ЇЇ ПЕРЕДАЧІ ТА РОЗПОДІЛЕННІ

Тенденції росту тарифів на електричну енергію обумовлюють значне збільшення складової вартості втрат електроенергії в мережах при її передачі та розподіленні. Особливої актуальності це набуває в мережах 10/0,4 кВ, що обумовлено їх протяжністю, розгалуженістю.

Зменшення складової вартості втрат електроенергії можливе лише шляхом оптимізації структури мереж під час реконструкції існуючих мереж електропостачання.

Реконструкція енергосистем включає розв’язок наступних задач:

- проектування та обґрунтування економічно доцільних та технічно оптимальної структури систем електроспоживання;
- використання нового та високонадійного (з малими експлуатаційними втратами) електрообладнання та сучасних засобів захисту;
- використання сучасних систем обліку та управління енергосистемою.

Ключовою задачею при формуванні оптимальної структури мережі електропостачання є задача визначення кількості джерел живлення та розподіл за ними приймачів електроенергії, а також улаштування проміжних вузлів навантаження (рівнів розподільчої мережі).

Основні підходи при вирішенні задач побудови оптимальної структури мережі електропостачання базуються на використанні оціночних та оптимізаційних моделей [1]. Перші служать для визначення техніко-економічних показників для заданого проектувальником варіанту мережі. Другі – для визначення оптимального варіанту конфігурації мережі в межах прийнятих проектувальником допусків у відповідності до прийнятого критерію оптимальності. При цьому в оптимізаційних моделях потрібно враховувати дискретність частини величин (переріз проводів та кабелів, потужність та кількість трансформаторів, кількості приєднань до РП).

Зрозуміло, що оптимальність рішень в значній мірі залежить від кваліфікації та досвіду проектувальника, який використовує оціночні та оптимізаційні моделі для проектування оптимальної структури розподільчих мереж окремо.

Аналіз існуючих методів рішення задач визначення кількості джерел живлення та розподіл за ними приймачів електроенергії показав, що об’єднати оціночні та оптимізаційні моделі можливо на основі метода еквіпотенційних контурів [2].

Суть методу еквіпотенційних контурів полягає в проведенні аналогії між навантаженням приймачів (P_i), розташованих в точках $(x_i; y_i)$, та потенціалами деяких джерел енергії, розташованих у тих же точках. Потенціали цих джерел дорівнюють навантаженням приймачів. При віддаленні від точки розташування приймача потенціал від джерела, розташованого у тій самій точці, буде зменшуватися та в деяких віддалених точках потенціал буде близький до нуля. Сукупність всіх потенціалів джерел енергії утворює потенційну поверхню, яку можна описати потенційною функцією

$$P(x, y) = \sum_{i=1}^n P_i \cdot e^{-1 \cdot \alpha_{\Delta P_i} [(x-x_i)^2 + (y-y_i)^2]}, \tag{1}$$

де $\alpha_{\Delta P_i}$ – коефіцієнт, що враховує втрати потужності від джерела живлення до приймача

$$\alpha_{\Delta P_i} = \frac{P_i^2 \cdot \rho}{U^2 \cdot F(P_i)}, \tag{2}$$

де ρ – питомий опір матеріалу провідника; $F(P_i)$ – переріз провідника визначається як функція від потужності що передається; U_i – напруга; P_i – потужність приймача.

Використання запропонованого коефіцієнту $\alpha_{\Delta P_i}$ вираз (2), дає можливість одразу оцінити ступінь майбутніх втрат у провідниковому матеріалі при визначенні центру електричних навантажень. Крім того запропоновано використання замість еквіпотенційних контурів, як критерію, «потенційний» та «технічний» критерії формування вузлів навантаження (критерії відбору).

Функція (1) є основою для «потенційного» критерію відбору за яким на потенційній поверхні, що утворює функція, визначається точка максимуму потенціалу. Ця точка в подальшому виступає в ролі

центра електричних навантажень. Приймачі, які будуть отримувати живлення від цього центру електричних навантажень за «потенційним» критерієм визначаються як приймачі, що брали участь у формуванні максимуму функції (1). Ці приймачі зараховуються до «потенційної» групи.

«Потенційна група» є закінченим структурним елементом майбутньої розподільчої мережі, але той факт, що при формуванні «потенційної» групи було враховано лише розташування приймачів по відношенню один до одного та очікувані втрати електричної енергії в розподільчій мережі не дає можливості впровадити «потенційну» групу в майбутню розподільчу мережу, тому що окрім врахованих факторів ще необхідно провести узгодження майбутньої «потенційної» групи з можливим конструктивним виконанням вузла навантаження.

Для вирішення цієї задачі використовується «технічний» критерій. «Технічний» критерій відбору виконує функцію узгодження приймачів «потенційної» групи з можливим конструктивним виконанням її джерела живлення. Критерій діє на основі принципу надлишковості «потенційної» групи по відношенню до граничних умов «технічного» критерію. Тобто зі сформованої «потенційної» групи вибираємо електроприймачі, при яких завантаження джерела живлення буде оптимальним. Виконується це наступним чином: «потенційна» група сортується за ступінню небажаності відносно точки максимуму потенціалу. Ступінню небажаності виступає потенціал джерела, або втрата потужності. На основі взаємодії «потенційного» та «технічного» критеріїв відбору складається алгоритм методу, який представлено на рисунку 1.

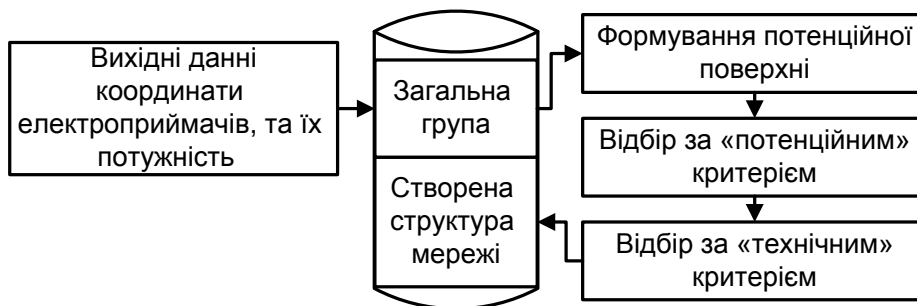


Рисунок 1 – Алгоритм методу (взаємодія критеріїв відбору)

Принцип роботи алгоритму базується на утворенні зворотніх зв'язків, які охоплюють обидва критерії та створюють умови для становлення алгоритму як самоорганізуючої моделі побудови структури мережі. Так як в цьому випадку будуть використовуватися оціночні та оптимізаційні моделі одночасно, отримане рішення буде більш наближене до оптимуму та з меншим впливом елементів суб'єктивізму проектувальника.

Розглядаючи критерії відбору як граничні умови функціонування моделі, запропонований підхід дає можливість закладення до них дискретність конструктивних умов виконання структури мережі і, чим повніше перенесені ці умови у критерії відбору, тим більше можливостей побудувати оптимальну структури мережі.

Використовуючи властивість запропонованого підходу, за яким джерелом живлення, а також електроприймачем можуть виступати вузли будь-яких рівнів системи електропостачання, можливо виконати декомпозицію окремих ділянок потенційної поверхні задля утворення в межах цих зон проміжних вузлів навантаження. Це дозволяє на рівні системи електропостачання, з якого починається розрахунок, розглядати ці проміжні вузли навантаження як приймачі електричної енергії. При цьому приймачі, що приєднуються до цього проміжного вузла навантаження, безпосередньо не враховуються на потенційній поверхні, тобто виключаються, але потужність, яку вони споживають, враховується на початковому рівні через потужність проміжного вузла навантаження.

Доцільність влаштування проміжних вузлів навантаження визначається за методом на основі оціночної моделі, вихідні данні для якого (приймачі, для яких можливе улаштування проміжних вузлів навантаження) визначаються за трьома признаками: «за сильною технічною групою»; «за слабкою технічною групою»; «за частиною сильної групи» [3].

Під терміном «сильна технічна група» розуміється група електроприймачів, сформована за «технічним» критерієм, яка має оптимальний коефіцієнт завантаження джерела живлення, виходячи з умов надлишковості. Під терміном «слабка технічна група» розуміється група електроприймачів, сформована за «технічним» критерієм, яка сформована за умови недостатності та коефіцієнтом завантаження джерела живлення меншим за прийнятний. Під терміном «частина сильної групи»

розуміється група електроприймачів «сильної групи», яка виділена з неї за додатковими критеріями (наприклад, показник розкиду навантаження, який використовується в тензорному методі) [4].

Техніко-економічний розрахунок базується на порівнянні двох варіантів виконання локальної ділянки структури мережі, границі якої визначаються за наведеними вище трьома признаками. Перший варіант з проміжним вузлом навантаження, другий без проміжного вузла навантаження. Прийняття варіанта з проміжним вузлом навантаження виконується за умовою

$$C_1 + \Delta W_I \cdot K_{CP} < C_{II} + \Delta W_{II} \cdot K_{CP}, \quad (3)$$

де C_1, C_{II} – капітальні вкладення для першого та другого варіанту відповідно; $\Delta W_I, \Delta W_{II}$ – річні втрати енергії: для першого та другого варіанту відповідно; K_{CP} – коефіцієнт, що враховує пріоритет втрат електричної енергії над капітальними вкладеннями

$$K_{CP} = T_O \cdot c_1 + \sum_{i=2}^{T_O} (c_i - c_1), \quad (4)$$

де T_O – строк окупності (в місяцях); c_1 – вартість електричної енергії в перший місяць; c_i – вартість електричної енергії в i -й місяць.

Таким чином метод порівняльної оцінки передбачає аналіз локальної ділянки структури мережі із визначенням ряду технічно доцільних варіантів її виконання та подальше порівняння цих варіантів між собою за критерієм питомих витрат. Менш витратний з цих варіантів і буде найбільш оптимальним за техніко-економічними показниками.

Для мережі, сформованої споживачами «сильної групи» доцільність формування вузла навантаження проявляється у випадках відносно великої віддаленості та скупченості споживачів, коли витрати на радіальну розподільчу мережу від підстанції (п/ст) до споживачів будуть більші за сумарні витрати на живлячу мережу від п/ст до розподільчого пристрою (РП) та на розподільчу мережу від РП до споживачів.

На цьому базується принцип побудови алгоритму визначення проміжних вузлів навантаження, який базується на методиці [5,6]. Ця методика дає відповідь на задачі про оптимальний розподіл приймачів електроенергії за заданим числом джерел живлення з визначенням місць розташування останніх в центрах навантажень груп та про оптимальне число джерел живлення для заданої множини приймачів електроенергії.

Згідно до цієї методики, необхідно передбачити можливість встановлення джерел живлення (вузлів навантаження) для групи споживачів та розподіл між ними споживачів мають бути оптимальними. Для вирішення даної задачі уся множина споживачів розподіляється на S груп. Передбачається, що кожна із цих груп буде отримувати живлення від власного вузла навантаження. Для першого варіанту мережі S обирається рівним 2, для другого – 3 і так далі, поки кількість груп не стане рівною $n-1$, де n – загальна кількість споживачів (при числі $S = 1$ отримаємо один вузол навантаження, від якого будуть отримувати живлення усі споживачі, тобто ту саму радіальну мережу, а при числі $S = n$ отримаємо вузли навантаження із одним приєднанням кожен, що не має практичного сенсу і фактично знову повертає нас до тієї ж радіальної мережі). Для кожного з цих варіантів визначається найбільш оптимальний розподіл споживачів на групи.

Методика приведена у [5,6] була розроблена для визначення джерел живлення у групі приймачів, тобто основним критерієм був розкид навантаження у групах, при цьому зневажалися витрати на живлячу мережу. Натомість, у рамках поставленої задачі, витрати на живлячу мережу будуть співвідносні із витратами на розподільчу мережу, тому що передача енергії відбувається на одному рівні напруги без трансформацій та довжина мереж майже однакова. В зв'язку з цим алгоритм [5,6], було дещо вдосконалено.

Перш за все було додано процедуру коригування центру електричних навантажень (ЦЕН) з врахуванням витрат на живлячу мережу, оскільки за нових умов розміщення вузла навантаження є найбільш раціональним вже не у центрі навантажень, а, так би мовити, у «центрі витрат», тобто у точці де сумарні витрати на розподільчу та живлячу мережі досягають найменшого значення. Ця точка буде дещо зміщена від ЦЕН у бік джерела живлення

«Сильною групою» споживачів на рівні напруги 0,4 кВ можна вважати групу трифазних та однофазних приймачів електроенергії, які отримують живлення від ТП напругою 0,4 кВ. Система електропостачання такого об'єкту має ряд технологічних особливостей. Перш за все, це велике скупчення приймачів на досить малій території. Відстань між ЕП відносно невелика і зазвичай вони об'єднані у один технологічний процес. Якщо немає особливих вимог до безпеки, розподільча мережа такого рівня виконується алюмінієвими проводами з полімерною ізоляцією, а також низьковольтними кабелями. Їх вартість порівняно невелика і у даному випадку першочерговою складовою витрат постають електричні втрати у провідниковому матеріалі, адже струми у низьковольтній мережі значно вищі, ніж у мережах середньої напруги.

Проміжними вузлами навантаження можна вважати силові розподільчі пункти (СП), до яких підключаються групи приймачів і до яких силовим кабелем підводиться живлення від розподільчого пристрою цехової ТП. Комутація електричних кіл здійснюється автоматичними вимикачами. Також можуть застосовуватися СП, обладнані запобіжниками, що ще більше знижує їх вартість, але не завжди допустимо.

Так само, по закінченні оптимізації кожного варіанту, необхідно проводити комплексний аналіз мережі та розформувати ті вузли навантаження, які за витратами перевищують радіальну схему живлення.

«Слабка група» представляє собою навантаження відносно віддалене від центрів живлення та невелике за потужністю. Приєднання споживачів цієї групи до джерела із максимальним ККД і, відповідно, максимально допустимим коефіцієнтом завантаження, призведе до необхідності збільшення джерела живлення при зменшенні його коефіцієнта завантаження. Так на приклад «слабкі групи» виникають при проектуванні електропостачання агропромислового комплексу. Для такої групи характерні великі втрати в лініях електропередач (ЛЕП) та їх значна довжина, а також спільність технологічних процесів. Тому, зазвичай, на таких територіях виявляється найбільш доцільним встановлення проміжних вузлів навантаження, які будуть отримувати живлення від найбільш вигідного джерела.

Таким чином при початковому проектуванні джерела живлення формуються за методом еквіпотенційних поверхонь із забезпеченням найбільшого ККД. «Слабка група» цей показник погіршує та унеможливує проведення безпомилкових розрахунків за вище вказаним методом. Тому першочерговою метою розрахунків є визначення такого джерела, збільшення потужності якого буде найбільш виправданим. Метод порівняльної оцінки дозволяє вирішити таку задачу досить просто та одразу може розрахувати варіант структури мережі, який буде найкращим за економічними показниками, оскільки основним критерієм цього методу є питомі витрати, а не екстремуми потенційної функції.

Моделювання розрахунку «слабкої групи» відбувається аналогічно до попередніх прикладів. Група споживачів, для якої необхідно визначити оптимальну конфігурацію системи електропостачання, так само розподіляється на S груп ($S = 2, 3, 4 \dots n-1$) і визначається склад цих груп за критерієм розкиду навантаження [5,6]. Після завершення групування схожий цикл повторюється вже відносно живлячих ТП та щойно сформованих вузлів навантаження та оцінюється пріоритетність їх підключення до тої чи іншої ТП. Після цього сформовані таким чином ТП знову переоцінюються: якщо потужність навантаження ТП не задовольняє показник завантаження трансформатора ($K_{зг} = 0,7 \dots 0,85$), то деякі вузли від'єднуються від ТП за «критерієм бажаної належності».

Детальна блок-схема алгоритму методу з урахуванням проміжних вузлів навантаження наведена на рисунку 2.

Даний алгоритм дозволяє не тільки автоматизувати побудову оптимальної структури розподільчої мережі з мінімізованими комунікаційними втратами, а й знизити розміри капітальних вкладень при побудові такої мережі за рахунок застосування проміжних вузлів навантаження (визначення їх оптимальної кількості та місця розташування).

Висновки. Використання метода «потенційної поверхні» дозволяє побудувати інженерні методики проектування оптимальної структури розподільчих мереж з мінімальними комунікаційними втратами, оцінити потенціал вже існуючих мереж, проводити їх моніторинг та оцінку ефективності їх роботи при реконфігурації, дозволяє провести оцінку капіталовкладень при реконструкції частини мережі, визначити місце розташування компенсуючих пристроїв проекрованої розподільчої мережі. Це призводить до зменшення витрат електроенергії при її передачі та розподіленні до 5 %.

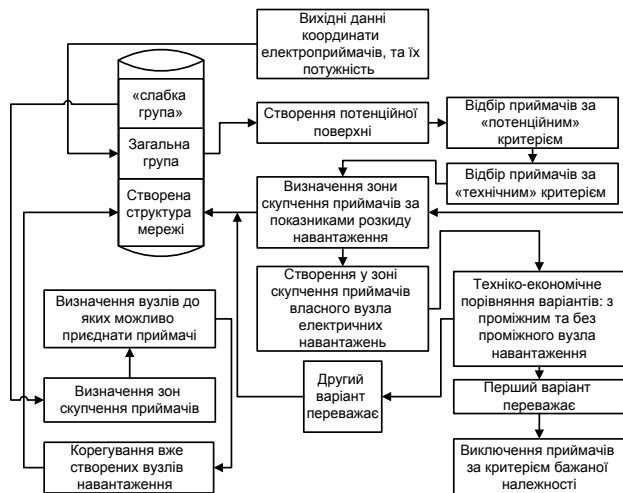


Рисунок 2 – Алгоритм визначення проміжних вузлів навантаження у складі алгоритму на основі потенційної функції

Література

1. Электротехнический справочник. Общие вопросы. Электротехнические материалы/ под общ. ред. В.Г. Герасимова – 9-е изд. Стер. В 4-х томах М: Энергия, 2003.
2. Заболотный А.П., Федоша Д.В., Криворученко Н.Л., Яценко О.О. Формирование структуры распределительной сети методом потенциальных контуров, и возможности его усовершенствования. // Электротехника та електроенергетика – 2008. – № 2. – С. 71–74.
3. Заболотный А.П., Федоша Д.В., Мамбаева В.С. Построение оптимальной структуры сетей электроснабжения предприятий АПК. Сборник научных трудов международной научно-практической конференции «Проблемы энергообеспечения предприятий АПК и сельских территорий»/ Санкт Петербург: СПбГАУ, 2008. – С. 42–46.
4. Федоров А.А., Садчиков С.В. Характеристики и алгоритмы формирования и отбора вариантов систем промышленного электроснабжения.– Электричество, 1982, №2.– с. 27–31.
5. Федоров А.А. Определение тела расстояние центра электрических нагрузок для оптимального размещения питающих подстанций промышленных предприятий / Каменева В.В., Хмель С.Р / Электричество.– 1974. – №8. – 31–34 с.
6. Федоров А.А. Основы электроснабжения промышленных предприятий. /Федоров А.А., Каменева В.В. – М: Энергоатомиздат, 1984.– 473 с.

УДК 621.316.11

Заболотный А.П., Мамбаева В.С., Федоша Д.В.

СНИЖЕНИЕ ПОТЕРЬ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ ПРИ ЕЕ ПЕРЕДАЧЕ И РАСПРЕДЕЛЕНИИ

В статье рассматриваются вопросы снижения потерь электрической энергии при ее передаче и распределении посредством оптимизации структуры сетей электроснабжения напряжением 10/0,4 кВ. Приведены алгоритмы определения числа и места расположения узлов нагрузок, выбора источника питания, определения промежуточных узлов нагрузки, построенных на основе метода потенциальной поверхности.

Zabolotnyj A.P., Mambaeva V.S., Fedosha D.V.

REDUCTION OF LOSSES IN ELECTRIC POWER TRANSMISSION AND DISTRIBUTION

This article discusses the reduction of energy losses in transmission and distribution by optimizing the structure of the electricity grid voltage 10/0,4 kV. The algorithms determine the number and location of units of loads, the choice of power source, the definition of intermediate load units, based on the method of potential surface.