

О. В. Федоров, д. т. н., проф.; Т. А. Мусаєв, к. т. н.

МЕТОДИКА ВИЗНАЧЕННЯ НОРМАТИВНИХ ВТРАТ ПОТУЖНОСТІ У СКЛАДНОЗАМКНЕНИХ МЕРЕЖАХ

Розглянуто проблеми оптимізації режиму роботи системи електропостачання міського району напругою 6(10) кВ шляхом знаходження оптимальної точки ділення мережі із двостороннім живленням за умови забезпечення якісного й надійного електропостачання споживачів.

Ключові слова: система електропостачання міського району напругою 6(10) кВ, точка ділення мережі, режим роботи мережі, топологія схеми.

Вступ

Перед мережними підприємствами, що експлуатують системи електропостачання, ставлять завдання ефективного і якісного електропостачання, яке досягається шляхом зниження рівня втрат потужності за одночасного забезпечення необхідного рівня надійності. Загалом рівні втрати [1, 2] електроенергії ΔW в елементі електричної мережі з незмінним опором R і напругою U за проміжок T можна розрахувати за формулою:

$$\Delta W = 3R \int_0^T I^2(t) dt = \frac{R}{U} \int_0^T S^2(t) dt. \quad (1)$$

Згідно з [2, 3], заходами щодо зниження втрат електроенергії є практичні дії, що приводять до її реального зниження:

1. Вибір і оптимізація режимів роботи електричних мереж залежно від конфігурації.
2. Вибір схем підстанцій і розробка вимог надійності електропостачання споживачів.
3. Удосконалювання систем комерційного обліку електроенергії.
4. Зниження рівня розкрадання електроенергії.

В умовах сучасної міської розподільної мережі напругою 6 (10) кВ найбільш доцільними є заходи, спрямовані на поліпшення режимів роботи.

Через певні особливості розподільні мережі працюють у розімкнутому режимі, тобто в мережі є точка її ділення (ТДМ). Поліпшення режиму роботи пов'язане з керуванням режимом роботи системи, що містить у собі, серед іншого, вибір і підтримку ТДМ. За сучасних підходів до вибору ТДМ насамперед розв'язують проблему забезпечення надійності електропостачання споживачів, а проблему забезпечення оптимального режиму роботи мережі розглядають частково [3]. Отже, із метою поліпшення режиму роботи міської розподільної мережі доцільно враховувати чинники економічного електропостачання під час вибору місця розташування ТДМ.

Сучасні методики розрахунку рівня втрат потужності зумовлені складністю застосування до розподільної мережі, яка перебуває в експлуатації. Ця обставина зумовлена декількома чинниками:

Велика кількість вузлів і галузей у наявній схемі.

1. Складність взаємозв'язку галузей схеми.
2. Динамічне розташування точки поточкорозподілу.
3. Складність у визначенні місця розташування точки поточкорозподілу.
4. Громіздкість і складність формування рівнянь, що описують режим роботи мережі.

У такий спосіб мета дослідження зводиться до розроблення методики зниження рівня втрат потужності в умовах чинної системи електропостачання шляхом зміни підходів до керування режимом роботи мережі.

Удосконалення відомих методик розрахунку втрат потужності

Із метою усунення зазначених складнощів, а також виходячи з аналізу режиму роботи, характеристик, складу устаткування й конфігурації міської розподільної мережі напругою 6(10) кВ, здійснено розроблення такого алгоритму:

1. Виділення обмеженої ділянки з повної схеми електропостачання (СЕП) міста.
2. Визначення точки поточкорозподілу для виділеної ділянки.
3. Розбивка виділеної ділянки на 2 частини, що відповідають початковому місцю розташування ТДМ.
4. Розрахунок рівнів вузлової напруги.
5. Розрахунок поточкорозподілу потужності й обчислення рівня втрат потужності з урахуванням рівня напруги вузлів, що відповідає розташуванню точки розмикання.
6. Почергове перенесення точки розмикання у вузли системи.
7. Порівняльний аналіз отриманих результатів і рекомендації з перенесення ТДМ.

Зі схеми СЕП одного з районів електричних мереж виділена обмежена ділянка, на якій спостерігаються підвищені рівні відхилення вузлової напруги й втрат потужності, рис. 1.

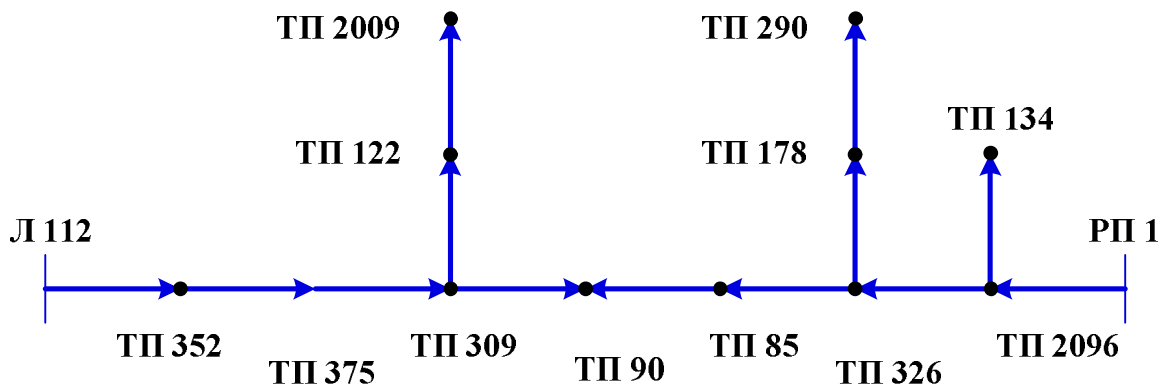


Рис. 1. Виділена ділянка

Відповідно до наступного кроку алгоритму обчислюють точку поточкорозподілу, відома методика [1] припускає допущення про рівність напруг у вузлах мережі, тоді:

$$\sum_{i,j=1}^n S_{ij} R_{ij} = 0 \quad (2)$$

або

$$S_{12} R_{12} + S_{23} R_{23} + \dots + S_{ij} R_{ij} = 0. \quad (3)$$

Запишемо рівняння (3) у такому вигляді:

$$S_{ij} R_{ij} + (S_{ij} - S_i) R_{i+1,j+1} + (S_{ij} - S_j - S_{j+1}) R_{i+2,j+2} + \dots = 0, \quad (4)$$

де S_{ij} – перетікання потужності початкової ділянки, МВА, R_{ij} – опір початкової ділянки, Ом, S_j – потужність вузла j , МВА.

Рівняння (4) перепишемо у вигляді:

$$S_{ij} R_{ij} + S_{ij} R_{i+1,j+1} + S_{ij} R_{i+2,j+2} + \dots = S_j R_{i+1,j+1} + S_j R_{i+2,j+2} + S_{j+1} R_{i+2,j+2} + \dots \quad (5)$$

або

$$S_{ij}(R_{ij} + R_{i+1,j+1} + R_{i+2,j+2} + \dots) = S_j(R_{i+1,j+1} + R_{i+2,j+2} + \dots) + S_{j+1}R_{i+2,j+2} + \dots \quad (6)$$

Звідки

$$S_{ij} = \frac{S_j(R_{i+1,j+1} + R_{i+2,j+2} + \dots) + S_{j+1}R_{i+2,j+2}}{R_{ij} + R_{i+1,j+1} + R_{i+2,j+2} + \dots} \quad (7)$$

Приводячи останню формулу до спрощеного вигляду і використовуючи повне значення опору віток Z , одержуємо:

$$S_{ij} = \frac{\sum_{j=1}^n S_j \sum_{i,j=2}^k Z_{ij}}{\sum_{i=1,j=i+1}^k Z_{ij}} \quad (8)$$

де n – число вузлів у схемі, k – число віток у схемі.

Із метою вдосконалення відомої методики визначення точки поточкорозподілу представимо процес у вигляді послідовності етапів:

1.1. Запишемо рівняння для визначення потоку потужності початкової ділянки $S_{ПД}$ у вигляді:

$$S_{ПД} = \frac{\sum_{i=1,j=i+1}^k S_i Z_i}{\sum_{i=1,j=i+1}^k Z_{ij}} \quad (9)$$

1.2. У зв'язку зі складністю конфігурації мережі необхідне спрощення розглянутої схеми й приведення її до стандартної з однобічним живленням. Перетворення схеми представлено на рис. 2:

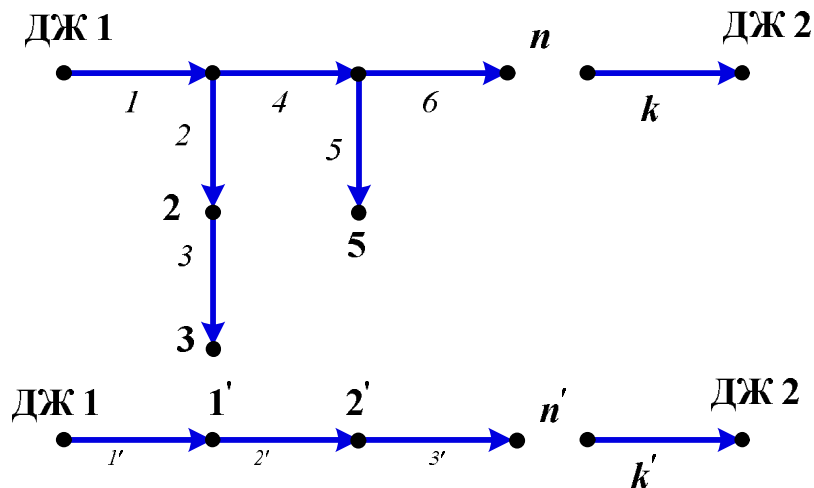


Рис. 2. Перетворення вихідної схеми в стандартну схему з одностороннім живленням (де n – число вузлів виділеної ділянки, k – число віток ділянки, n' – число вузлів після перетворення схеми, k' – число віток після перетворення)

Спрощення схеми полягає в перетворенні тупикових віток шляхом підсумовування

відповідних вузлових потужностей:

$$S_{1'} = S_1 + S_2 + S_3, \quad (11)$$

$$S_{2'} = S_4 + S_5 \quad (12)$$

тощо.

При цьому змінюється кількість вузлів і віток, тому необхідно зробити нову нумерацію n' .

1.3. Обчислення потоків потужності S_{ij} інших ділянок, виходячи з відомого значення потоку потужності початкової ділянки $S_{ПД}$ й вузлових потужностей S :

$$S_{ij} = S_{i-1,j-1} - S_i, \quad i = 1 \dots k, j = i + 1. \quad (13)$$

1.4. Перетікання менше за нуль, тобто $S_{ij} \leq 0$, означає, що вузол i є точкою потокорозподілу потужності, ділянка (рис. 3) ділять на дві частини, що відповідають ТДМ, цей прийом дозволяє спростити розрахункову частину.

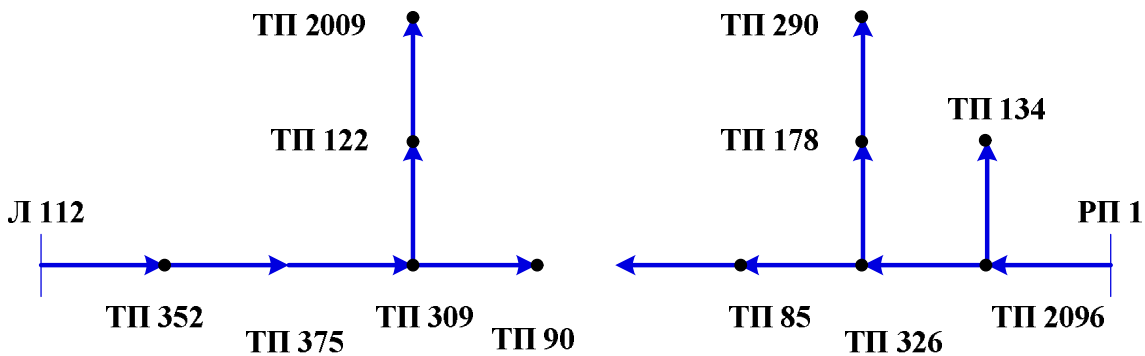


Рис. 3. Розбивка виділеної ділянки

Як основний метод розрахунку обрано метод вузлових напруг [4]. Потокорозподіл потужності визначають значеннями вузлових потужностей. Однак відсутність коефіцієнтів, що зв'язують рівні вузлових потужностей і значення перетікань потужності вітками системи, призводить до додаткових труднощів під час обчислювання рівня втрат потужності. Отже, введення такого коефіцієнта призведе до спрощення обчислень. Рекомендуємо ввести додатковий коефіцієнт – «матрицю зв'язку вузлових потужностей і перетікань потужності в системі» – T . Рядки цієї матриці відповідають віткам, стовпці – вузлам розглянутої ділянки. Заповнення матриці T здійснюють за такими правилами: якщо потік потужності, що відповідає вітці, живить розглянутий вузол системи, то елемент матриці дорівнює одиниці, якщо вузол не одержує живлення від відповідної вітки, у матрицю заносять нуль:

$$S_g = TS, \quad (14)$$

де S_g – перетоки потужності вітками системи, T – матриця зв'язку вузлових потужностей і перетікань потужності, S – значення вузлових потужностей.

Далі проводять розрахунок рівня втрат потужності по виділених ділянках мережі відповідно до прийнятої методики, під час розрахунку втрат потужності враховують рівні вузлової напруги мережі:

$$\Delta P_m = \sum_{i,j=1}^n \frac{S_{ij}^2}{U_i^2} R_{ij}. \quad (15)$$

Сумарні втрати потужності одержуємо, складаючи втрати по ділянках мережі:

$$\Delta P = \Delta P_1 + \Delta P_2, \quad (16)$$

де ΔP_1 – значення втрат потужності на першій ділянці, ΔP_2 – значення втрат потужності на другій ділянці.

Далі, відповідно до запропонованого алгоритму, проводять перенесення точки розподілу в суміжні вузли й проводять розрахунок параметрів режиму і рівня втрат потужності на розглянутих ділянках за знову заданої точки.

Отримані результати

У результаті проведених розрахунків одержуємо значення рівня втрат потужності за зміни ТДМ [6], які зведені до таблиці.

Таблиця

Значення рівня втрат потужності під час перенесення ТДМ

Точка ділення мережі	Вузол №6 – початкове ділення	Вузол №5 – точка А	Вузол №6 – точка В	Вузол №7 – точка С
Втрати потужності ΔP , кВт	23,71	30,86	19,12	17,32

За результатами розрахунків, найменші втрати потужності в розглянутій мережі забезпечують під час перенесення ТДМ у вузол №7 (точка потокорозподілу). Отже, для зменшення рівня втрат потужності доцільно здійснювати перенесення точки розмикання мережі в точку потокорозподілу.

Графік залежності зміни рівня вузлової напруги від місця розташування ТДМ подано на рис. 4.

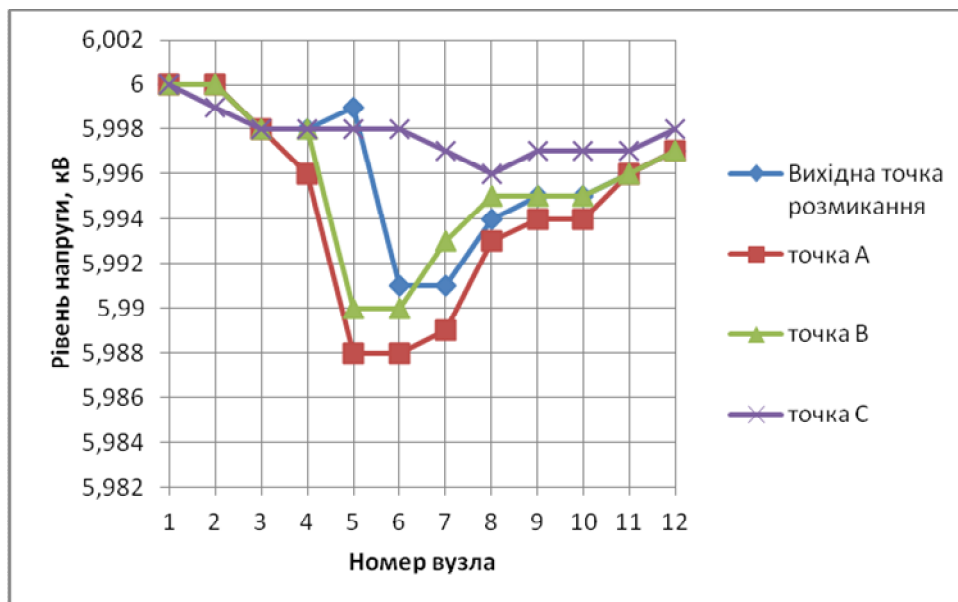


Рис. 4. Графік залежності рівня вузлової напруги від місця розташування ТДМ

Висновки

Проведено аналіз наявних методів розрахунку рівня втрат потужності в системі

електропостачання 6(10) кВ та аналіз сучасних підходів до проблеми зниження рівня втрат потужності в міській розподільній мережі напругою 6(10) кВ. Запропоновано коефіцієнти, що дозволяють удосконалити відомі методи й спростити їхнє застосування щодо мережі, яка діє. Розроблено алгоритм і методику визначення рівня втрат потужності міської розподільної мережі напругою 6(10) кВ. Здійснено застосування розробленого алгоритму й методики щодо сучасної системи електропостачання.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Герасименко А. А. Передача и распределение электрической энергии : учебное пособие / А. А. Герасименко, В. Т. Федин. – М. : КНОРУС, 2012. – 648 с.
2. Железко Ю. С. Потери электроэнергии. Реактивная мощность. Качество электроэнергии : Руководство для практических расчетов / Ю. С. Железко. – М. : ЭНАС, 2009. – 456 с.
3. Лежнюк П. Д. Математическое моделирование показателя качества функционирования электрической сети при оптимизации ее схемы / П. Д. Лежнюк, В. А. Комар // Электротехника и электроэнергетика, Труды НГТУ им. Р. Е. Алексеева. – 2012. – №3 (92). – С. 212 – 208.
4. Константинов В. Н. Моделирование режимов работы электроэнергетических систем / В. Н. Константинов. – Казань, 2010. – 85 с.
5. Лыкин А. В. Электрические системы и сети / А. В. Лыкин. – Новосибирск : Изд. НГТУ, 2002 – 248 с.
6. Валеев И. М. Методика расчета режима работы системы электроснабжения городского района : монография / И. М. Валеев, Т. А. Мусаев. – Казань : Изд. КНИТУ, 2016 – 132 с.

Стаття надійшла до редакції 06.03.2018 р.

Стаття пройшла рецензування 14.03.2018 р.

Федоров Олег Васильович – д. т. н., професор, професор кафедри керування інноваційною діяльністю.

Федеральна державна бюджетна освітня установа вищої професійної освіти «Нижегородський державний технічний університет ім. Р. Є. Алексєєва».

Мусаєв Тимур Абдулайович – к. т. н., заступник начальника виробничо-технічного відділу філії ВАТ Мережева компанія «Казанські електричні мережі», musaevkgeu@rambler.ru.

Філія ВАТ Мережева компанія «Казанські електричні мережі».