

УДК 621.311.1.017

Б. С. Рогальський, д. т. н., проф.;

Л. М. Мельничук

ВИЗНАЧЕННЯ ТА РОЗПОДІЛЕННЯ ВТРАТ ЕЛЕКТРИЧНОЇ ЕНЕРГІЇ МІЖ СПОЖИВАЧАМИ

Суть проблеми

Розподілення втрат електричної енергії, що виникають під час її передавання в мережах, між споживачами з урахуванням їх участі у створенні цих втрат є важливим фактором, що стимулює енергозбереження. Разом з тим, питання правильного розподілення втрат електричної енергії — це питання більше економічного характеру. Оскільки витрати на виробництво та передавання електричної енергії нелінійно залежать від навантажень на електроенергетичну систему, то втрати електроенергії можуть розподілятися як за лінійною, так і за нелінійною залежностями від навантаження споживачів [1, 2] з урахуванням або без урахування електричної відстані до них. Для розподілення втрат, що виникають за рахунок передавання активної потужності більш поширеним є пропорційне розподілення, а для розподілення втрат, що виникають за рахунок передавання реактивної потужності, може використовуватись як пропорційне, так і квадратичне розподілення втрат. В останньому випадку може враховуватись і електрична відстань до споживачів. Нелінійне розподілення втрат може використовуватись, наприклад, і у разі якщо електроспоживання енергомістких споживачів здійснюється з перевищенням установлених норм. В даному випадку енергомісткіші виробництва, де не дотримані норми електроспоживання, будуть знаходитися в гіршому становищі, що заставлятиме їх використовувати ефективні заходи щодо зменшення електричних навантажень.

На промислових підприємствах проблема розподілення втрат в загальних елементах мережі серед окремих цехів виникає під час розроблення і контролю цехових норм, складання електробалансу підприємства і його аналізу з метою розроблення заходів щодо їх зменшення. Розподіл втрат необхідний також у разі живлення від підстанцій підприємств інших споживачів (субабонентів).

Для правильного розподілення втрат важливим також є визначення частки втрат електричної енергії, що виникають з вини енергопостачальних підрозділів (цехів, дільниць). Для цього необхідним є нормування втрат в лініях електропередавання (в залежності від навантаження, відстані та номінальної напруги) і в трансформаторах (в залежності від навантаження) та розроблення механізму віднесення частки цих втрат на собівартість електропередавання електричної енергії енергопостачальних підрозділів у разі перевищення норм і отримання ними прибутку у разі їх зменшення відносно норм.

Таким чином, розподілення втрат є важливим інструментом збереження електричної енергії, однак вимагає складних розрахунків з використанням великих масивів вхідних даних, що може бути реалізовано лише за умови автоматичного оброблення інформації.

Постановка завдання

Ставиться задача отримання алгоритмів розподілення втрат електричної енергії між споживачами пропорційно навантаженню і пропорційно квадрату навантаження з урахуванням електричної відстані до споживачів з можливістю використання поточних даних електроспоживання в реальному масштабі часу.

Обґрунтування результатів дослідження

Навантажувальні втрати активної потужності в електричній мережі розраховуються за формулою

$$\Delta P = \frac{10^{-3}}{U_H^2} (\mathbf{P}_j \mathbf{R} \mathbf{P}_i + \mathbf{Q}_j \mathbf{R} \mathbf{Q}_i),$$

де $\mathbf{P}_j, \mathbf{Q}_j$ — матриці-рядки активних і реактивних навантажень вузлів; $\mathbf{P}_i, \mathbf{Q}_i$ — матриці-стовпці цих же навантажень; \mathbf{R} — матриця вузлових активних опорів; U_H — номінальна напруга мережі. Перший доданок характеризує втрати активної потужності від передавання активної потужності, другий — від передавання реактивної потужності.

Матриця вузлових активних опорів [3, 4]

$$\mathbf{R} = \mathbf{C}^t \mathbf{R}_{в.д.} \mathbf{C},$$

де \mathbf{C} — матриця поточкорозподілу; t — індекс транспонування; $\mathbf{R}_{в.д.}$ — діагональна матриця опорів віток.

Для розподілення втрат потужності між споживачами можна скористатися формулою

$$\Delta \mathbf{P}_i = \frac{10^{-3}}{U_H^2} (\mathbf{P}_d \mathbf{R} \mathbf{P}_i + \mathbf{Q}_d \mathbf{R} \mathbf{Q}_i), \tag{1}$$

де $\Delta \mathbf{P}_i$ — матриця-стовпець втрат електричної енергії, які розподіляються між споживачами; $\mathbf{P}_d, \mathbf{Q}_d$ — діагональні матриці активних та реактивних навантажень вузлів.

У разі застосування формули (1) втрати потужності в спільних елементах живлення розподіляються пропорційно споживаній потужності з урахуванням електричної відстані (опору) до споживачів.

Квадратичне розподілення втрат електричної енергії між споживачами здійснюється якщо

$$\Delta \mathbf{P}_i = \frac{10^{-3}}{U_H^2} \left[(\mathbf{P}_d^2 \mathbf{R}^B + 2\mathbf{P}_d \mathbf{R}^H \mathbf{P}_d - \mathbf{R}^H \mathbf{P}_d^2) \mathbf{1}_i + (\mathbf{Q}_d^2 \mathbf{R}^B + 2\mathbf{Q}_d \mathbf{R}^H \mathbf{Q}_d - \mathbf{R}^H \mathbf{Q}_d^2) \mathbf{1}_i \right], \tag{2}$$

де $\mathbf{R}^B, \mathbf{R}^H$ — верхня та нижня трикутні матриці вузлових опорів (елементи головної діагоналі нижньої трикутної матриці дорівнюють нулю); $\mathbf{P}_d^2, \mathbf{Q}_d^2$ — діагональні матриці квадратів активних та реактивних навантажень вузлів; $\mathbf{1}_i$ — одинична матриця-стовпець.

Матриці в круглих дужках формули (2)

$$\mathbf{P}_R^2 = \mathbf{P}_d^2 \mathbf{R}^B + 2\mathbf{P}_d \mathbf{R}^H \mathbf{P}_d - \mathbf{R}^H \mathbf{P}_d^2;$$

$$\mathbf{Q}_R^2 = \mathbf{Q}_d^2 \mathbf{R}^B + 2\mathbf{Q}_d \mathbf{R}^H \mathbf{Q}_d - \mathbf{R}^H \mathbf{Q}_d^2$$

можуть бути представлені у вигляді

$$\mathbf{P}_R^2 = \begin{bmatrix} p_{11} R_{11} & p_{12} R_{12} & \dots & p_{1n} R_{1n} \\ p_{21} R_{21} & p_{22} R_{22} & \dots & p_{2n} R_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ p_{n1} R_{n1} & p_{n2} R_{n2} & \dots & p_{nn} R_{nn} \end{bmatrix};$$

$$\mathbf{Q}_R^2 = \begin{bmatrix} q_{11} R_{11} & q_{12} R_{12} & \dots & q_{1n} R_{1n} \\ q_{21} R_{21} & q_{22} R_{22} & \dots & q_{2n} R_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ q_{n1} R_{n1} & q_{n2} R_{n2} & \dots & q_{nn} R_{nn} \end{bmatrix},$$

якщо формування їх елементів виконується за такими правилами:

1) коефіцієнти p_{ij} або q_{ij} , що знаходяться на головній діагоналі і вище неї, приймаються рівними: $p_{ij} = P_i^2$, $q_{ij} = Q_i^2$, $j = \overline{i, n}$, $i = \overline{1, n}$;

2) коефіцієнти p_{ij} або q_{ij} , що знаходяться нижче головної діагоналі, приймаються рівними: $p_{ij} = (2P_i - P_j) P_j$, $q_{ij} = (2Q_i - Q_j) Q_j$, $j = \overline{1, i-1}$, $i = \overline{2, n}$; 3) активні опори R_{ij} є елементами матриці вузлових активних опорів \mathbf{R} .

Формування матриць \mathbf{P}_R^2 , \mathbf{Q}_R^2 є достатньо простим. Тому формулу (2) розподілення втрат потужності між споживачами за квадратичною залежністю зручно записати у вигляді

$$\Delta P_i = \frac{10^{-3}}{U_H^2} [\mathbf{P}_R^2 \mathbf{1}_i + \mathbf{Q}_R^2 \mathbf{1}_i].$$

Наведемо приклад розподілення втрат електричної потужності, що виникають від передавання реактивної потужності, в мережі, схема заміщення якої зображена на рисунку, якщо реактивні навантаження вузлів $Q_1 = 100$ квар; $Q_2 = 200$ квар; $Q_3 = 300$ квар; опори віток $R_1 = 2$ Ом; $R_2 = 1$ Ом; $R_3 = 1,2$ Ом; $R_4 = 1,2$ Ом; $R_5 = 1,5$ Ом; номінальна напруга мережі $U_H = 10$ кВ

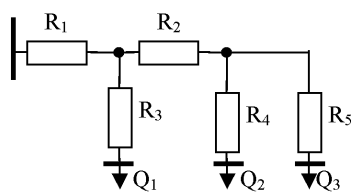


Схема заміщення розподільної мережі

Розрахункові матриці в даному випадку мають вигляд

$$\mathbf{R} = \begin{bmatrix} 3,2 & 2 & 2 \\ 2 & 4,2 & 3 \\ 2 & 3 & 4,5 \end{bmatrix}; \quad \mathbf{Q}_R^2 = \begin{bmatrix} 3,2 & 2 & 2 \\ 6 & 16,8 & 12 \\ 10 & 24 & 40,5 \end{bmatrix} \cdot 10^4.$$

Розподілення втрат між споживачами буде таким:

$$\Delta P_i = [0,72 \quad 3,48 \quad 7,45]^t \text{ кВт.}$$

Такий розподіл відповідає запропонованому в [1].

Якщо розподілення втрат відбувається пропорційно споживанню, то

$$\Delta P_i = [1,32 \quad 3,88 \quad 6,45]^t \text{ кВт.}$$

Для визначення втрат потужності в окремих вітках або елементах електропередавання можна запропонувати таку формулу:

$$\Delta P_j = \frac{10^{-3}}{U_H^2} [\mathbf{P}_j \mathbf{C}^t \mathbf{R}_{\text{в.д.}} (\mathbf{P}_j \mathbf{C}^t) \mathbf{1}_d + \mathbf{Q}_j \mathbf{C}^t \mathbf{R}_{\text{в.д.}} (\mathbf{Q}_j \mathbf{C}^t) \mathbf{1}_d], \quad (3)$$

де $\mathbf{1}_d$ — діагональна одинична матриця.

Застосування формули (3) дозволяє визначити втрати активної потужності в окремих елементах віток мережі для даного навантаження вузлів і, після порівняння з нормами, знайти частку втрат електричної енергії, що виникають з вини електропостачального підрозділу. Причиною цих втрат є невідповідність елементів електричної мережі оптимальним для даних умов елементам, наприклад, використання трансформаторів недостатньої потужності.

Важливим моментом технічної реалізації розподілення втрат є оснащення розподільних мереж сучасними приладами обліку, які забезпечують можливість накопичення графіків навантажень в оперативній пам'яті та можливість їх автоматичного вводу в персональну ЕОМ для подальшої обробки.

Висновки

Запропоновані матричні формули розподілення втрат електричної енергії між споживачами, які можуть бути використані в процесі експлуатації промислових розподільних мереж під час нормування і контролю електроспоживання, здійснюючи розрахунки за електроенергію із субабонентами з метою стимулювання споживачів до їх зменшення. Вибір тієї чи іншої методики розподілення втрат визначається об'єктивно наявними затратами, конкретною економічною ситуацією і задачами, які розв'язуються.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Забелло Е. П., Евсеев А. Н. Распределение потерь электроэнергии в общих элементах электрической сети между различными потребителями // Промышленная энергетика. — 2002. — № 7. — С. 37—41.
2. Толасов А. Г. Потери на транзит электроэнергии и их распределение между участниками энергообмена // Электрические станции. — 2002. — № 1. — С. 20—25.
3. Железко Ю. С. Выбор мероприятий по снижению потерь электроэнергии в электрических сетях. Руководство для практических расчетов. — М.: Энергоатомиздат, 1989. — 176 с.
4. Ковалев И. Н. Выбор компенсирующих устройств при проектировании электрических сетей. — М.: Энергоатомиздат, 1990. — 200 с.

Рекомендована кафедрою електротехнічних систем електроспоживання та енергозбереження

Надійшла до редакції 24.02.03
Рекомендована до опублікування 11.09.03

Рогальський Броніслав Станіславович — завідувач кафедри, *Мельничук Людмила Михайлівна* — асистент.

Кафедра електротехнічних систем електроспоживання та енергозбереження, Вінницький державний технічний університет