

О.Д.Демов, канд.техн.наук, О.П.Паламарчук (Вінницький національний технічний університет)

### КОРИГУВАННЯ ВХІДНИХ РЕАКТИВНИХ ПОТУЖНОСТЕЙ СПОЖИВАЧІВ З УРАХУВАННЯМ ЕКОНОМІЧНОЇ СТІЙКОСТІ

*Запропоновано проводити розрахунок вхідних реактивних потужностей споживачів з урахуванням економічної стійкості оптимального розв'язку задачі компенсування реактивної потужності. Це дозволяє при приєднанні нових споживачів коригувати вхідні реактивні потужності лише деяких діючих споживачів і зменшити затрати на реалізацію цього коригування.*

*Предложено проводить расчет входных реактивных мощностей потребителей с учетом экономической устойчивости оптимального решения задачи компенсации реактивной мощности. Это дает возможность при подключении новых потребителей корректировать входные реактивные мощности только некоторых действующих потребителей и уменьшать затраты на реализацию этого корректирования.*

Зниження втрат електроенергії в електричних мережах можна досягти за рахунок компенсування реактивної потужності в цих мережах. Розв'язання такої задачі необхідно проводити одно-часно як для мереж енергопостачальних компаній (ЕК), так і споживачів [2,4]. При цьому основним питанням є розрахунок вхідних реактивних потужностей (ВРП) споживачів, який можна здійснювати методами, викладеними в [2,4,5]. Але ці методи не враховують те, що до мереж ЕК постійно приєднуються нові споживачі, що потребує коригування ВРП усіх споживачів. Практично такі коригування реалізувати складно, оскільки це пов'язано з введенням нових секцій конденсаторних установок (КУ) або демонтажем частини існуючих секцій КУ і потребує додаткових затрат. У зв'язку з цим необхідна розробка такого методу коригування ВРП споживачів, який забезпечував би економічно прийнятні результати шляхом мінімальної кількості цих коригувань.

Розглянемо розв'язання цієї задачі за таких вихідних положень.

1. Оптимальні значення ВРП відповідають мінімуму затрат на генерування та передавання реактивних потужностей по мережах як ЕК, так і споживачів.

2. Для компенсації реактивної потужності використовуються тільки КУ, встановлені у мережах споживачів.

3. Напряга у вузлах мережі дорівнює номінальній  $U_n$ , в живлячій мережі є одне джерело реактивної енергії, яке знаходиться у балансуєчому вузлі.

У цьому випадку оптимальні значення ВРП відповідають мінімуму такої функції затрат:

$$Z = \frac{T \cdot \tau}{U_n^2} \left( \mathbf{Q}_c^t \cdot \mathbf{R}_{ЕК} \cdot \mathbf{Q}_c + \sum_{i=1}^n Q_{ci}^2 R_{ei} \right) + (p_n + p_\Sigma) \cdot C_{КУ} \cdot \sum_{i=1}^n (Q_i - Q_{ci}) \rightarrow \min, \quad (1)$$

за умови:

$$Q_{ci} \leq Q_i, \quad i = 1, \dots, n, \quad (2)$$

де  $T$  — тариф на активну енергію;  $\tau$  — час найбільших втрат електроенергії;  $Q_{ci}$  — ВРП  $i$ -ого споживача;  $\mathbf{Q}_c$  — матриця ВРП, елементами якої є значення  $Q_{ci}$ ;  $\mathbf{R}_{ЕК}$  — матриця вузлових активних опорів мереж ЕК;  $R_{ei}$  — еквівалентний активний опір мереж  $i$ -ого споживача;  $C_{КУ}$  — питома вартість КУ;  $p_n$  — нормативний коефіцієнт ефективності капітальних вкладень в КУ;  $p_\Sigma$  — коефіцієнт сумарних відрахувань на амортизацію та обслуговування КУ;  $Q_i$  — розрахункове реактивне навантаження  $i$ -ого споживача;  $n$  — кількість споживачів, приєднаних до мережі ЕК.

Диференціюючи функцію (1) по незалежних змінних  $Q_{ci}$ , одержимо систему лінійних рівнянь:

$$\mathbf{RQ}_c = \mathbf{C}, \quad (3)$$

де  $\mathbf{R}$  — квадратна матриця вузлових активних опорів, сформована по відношенню до вузлів навантаження;  $\mathbf{C}$  — матриця-стовпець, всі елементи якої  $C_i = (p_n + p_\Sigma)C_{KY}U_n^2/T_\tau$ .

Відповідно знаходимо матрицю оптимальних значень ВРП

$$\mathbf{Q}_e^{opt} = \mathbf{R}^{-1}\mathbf{C}. \quad (4)$$

Якщо для  $k$  вузлів не виконується умова (2), то згідно з [4] приймаємо

$$Q_{ej}^{opt} = Q_j, \quad j = 1, \dots, k \quad (5)$$

і проводимо повторний розрахунок ВРП для  $(n-k)$  вузлів відповідно до (4).

Матриця величин потужностей КУ, які доцільно установити в мережах споживачів, запишеться таким чином:

$$\mathbf{Q}_{KY} = \mathbf{Q} - \mathbf{R}^{-1}\mathbf{C}, \quad (6)$$

де  $\mathbf{Q}$  — матриця-стовпець, елементами якої є величини  $Q_i$ .

При приєднанні до мережі ЕК нового споживача матриця оптимальних значень КУ  $\mathbf{Q}_{KYn}$  запишеться

$$\mathbf{Q}_{KYn} = \mathbf{Q}_n - (\mathbf{R}_n^{-1}\mathbf{C}), \quad (7)$$

де  $\mathbf{Q}_n$ ,  $\mathbf{R}_n$  — нові матриці реактивних навантажень і вузлових активних опорів після приєднання нового споживача.

Очевидно, оптимальні значення потужностей КУ у вузлах діючих споживачів до і після приєднання нового споживача не рівні між собою

$$Q_{KYi} \neq Q_{KYni}. \quad (8)$$

Відповідно необхідно змінювати їхню потужність на значення:

$$\Delta Q_{KYi} = |Q_{KYi} - Q_{KYni}|. \quad (9)$$

Такі зміни доцільно проводити з урахуванням економічної стійкості оптимального розв'язання задачі компенсування реактивної потужності, яка відповідає умові

$$Z_n / Z_{opt} - 1 < \xi_d, \quad (10)$$

де  $Z_n$  — поточне значення затрат на передавання та генерування реактивної потужності в електричній мережі, що відповідає частковому коригуванню ВРП,  $Z_{opt}$  — значення цих затрат, що відповідає коригуванню ВРП усіх споживачів (оптимальному розв'язуванню задачі після приєднання нового споживача),  $\xi_d$  — задана величина відхилення поточних затрат від оптимальних [1,6].

Виконання нерівності (10) дозволяє проводити коригування ВРП не для всіх споживачів, а тільки для певної їх кількості.

Завдяки економічній стійкості оптимального розв'язання задачі компенсування реактивної потужності можна визначити ВРП для нового споживача при незмінності потужностей КУ всіх діючих споживачів. Якщо після цього умова (10) не виконується, то необхідно коригувати ВРП діючих споживачів. Виникає питання: яким чином проводити це коригування, щоб забезпечити економічно прийнятне рішення?

Очевидно, коригування ВРП необхідно проводити таким чином, щоб забезпечити максимальне зниження затрат при мінімальній кількості таких коригувань. Відповідно математична модель оптимізації процесу коригування ВРП запишеться так

$$\begin{cases} Z_n(Q_{ci}) \rightarrow \min, \\ Z_n(Q_{ci}) > Z_{opt}(1 + \xi_s), \\ Q_{ci} \leq Q_i. \end{cases} \quad (11)$$

де  $Z_n(Q_{ci})$  — функція поточних затрат на передавання та генерування реактивної потужності в електричній мережі при коригуванні ВРП.

Таке коригування ВРП здійснюється за рахунок зміни потужностей КУ, установлених в мережах споживачів:  $Q_{ci} = Q_i - Q_{KYi}$ .

Відповідно до наведених положень на рис. 1 показано алгоритм коригування ВРП з урахуванням впливу економічної стійкості.

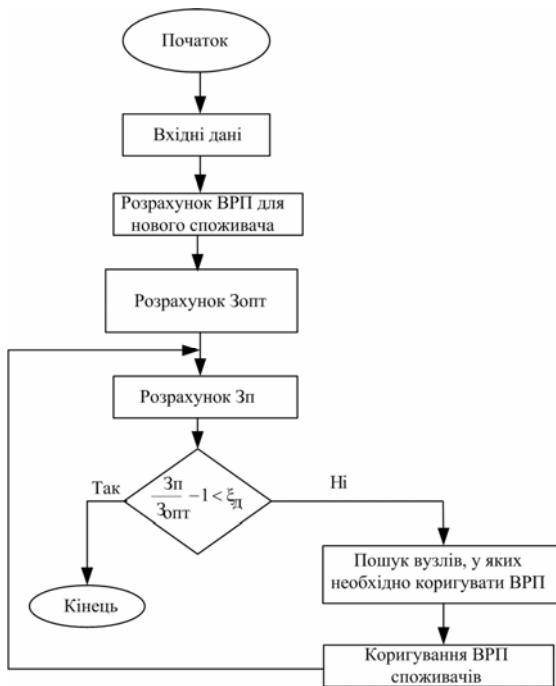


Рис. 1

розв'язку задачі після приєднання нового споживача  $Z_{\text{опт}} = 15509,6$  грн/рік.

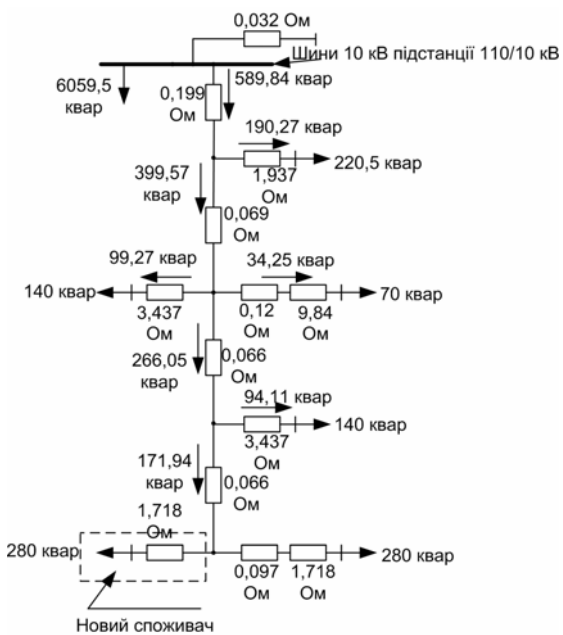


Рис. 2

5. Кузнецов В.Г., Тугай Ю.И., Баженов В.А. Оптимизация режимов электрических сетей. — Киев:Наук. думка, 1992. — 216 с.

6. Черемісін М.М., Романченко В.І. Економічні розрахунки в інженерній діяльності (на прикладах задач електроенергетики). — Харків “, Факт”, 2006. — 168 с.

При наявності інформації щодо умов впровадження КУ розрахунки за даним алгоритмом доцільно проводити, враховуючи затрати на практичну реалізацію коригування ВРП діючих споживачів.

**Приклад.** Визначити доцільність коригування ВРП для споживачів розподільчої мережі 10 кВ, заступна схема якої показана на рис. 2, при приєднанні до неї нового споживача. На схемі вказано оптимальні значення ВРП та реактивних навантажень споживачів в квартах і величини активних опорів елементів в Ом, приведені до напруги 10 кВ. Також до шин 10 кВ приєднано інші споживачі з реактивним навантаженням  $Q_{\text{н}}=6059,5$  квар. Допустиме відхилення за-трат від оптимального значення  $\xi_{\text{д}}=0,05$ . Питома вартість КУ – 60 грн/квар, час найбільших втрат активної енергії для даної мережі  $\tau = 2800$  год., тариф на активну енергію  $T=0,23$  грн кВт·год,  $p_{\text{н}} = 0,1$ ,  $p_{\Sigma} = 0,05$ .

**Розв'язування.** 1. Знаходимо значення ВРП для ново-го споживача при незмінності потужностей КУ всіх діючих споживачів:  $Q_{\text{с}}^{\text{н}}= 146,63$  квар.

2. Відповідно до (1) розраховуємо поточне значення затрат для мережі після приєднання нового споживача  $Z_{\text{п}} = 15528,86$  грн /рік.

3. Визначаємо затрати, що відповідають оптимальному

4. Знаходимо значення відхилення поточних затрат від оптимальних  $\xi = Z_{\text{п}}/Z_{\text{опт}} - 1 = 0,0012$ .

Оскільки  $\xi < \xi_{\text{д}}$ , то у даному випадку недоцільно коригувати ВРП діючих споживачів.

**Висновки.** Приєднання нових споживачів до мереж ЕК потребує коригування вхідних реактивних потужностей діючих споживачів. Це коригування доцільно проводити з урахуванням економічної стійкості оптимального розв'язання задачі компенсування реактивної потужності, що дозволить зменшити кількість коригувань і відповідно затрати на їхню реалізацію.

1. Веніков В.А. Электрические системы. Кибернетика электрических систем. — М.: Высшая школа, 1974. — 328 с.

2. Железко Ю.С. Компенсация реактивной мощности и повышение качества электроэнергии. — М.: Энергоатомиздат, 1985. — 224 с.

3. Карпов Ф.Ф. Компенсация реактивной мощности в распределительных сетях. — М.: Энергия, 1975. — 184 с.

4. Ковалев И.Н. Выбор компенсирующих устройств при проектировании электрических сетей. — М.: Энергоатомиздат, 1990. — 200 с.

Надійшла 02.02.2009