

УДК 621.311.031

О. Д. Демов, к. т. н., доц.;
 А. Ж. Войнаровський, бакалавр;
 А. М. Волоцький

ВИКОРИСТАННЯ ОПЕРАТИВНОГО НАДЛИШКУ ПОТУЖНОСТІ КОНДЕНСАТОРНИХ УСТАНОВОК ПРОМИСЛОВИХ ПІДПРИЄМСТВ

Вступ

Впровадження конденсаторних установок (КУ) в електричні мережі промислових підприємств створює умови значного зниження втрат електричної енергії в них. Такого зниження можна досягнути лише за автоматичного керування потужностями КУ протягом доби. На сьогоднішній день відомо ряд способів такого керування [1—3], і вони реалізуються шляхом комутацій КУ, зорієнтованих на реактивні навантаження вузлів, в яких вони знаходяться. Такий підхід не дозволяє в повній мірі використовувати КУ протягом доби, тому що деякі споживачі підприємств в певні періоди доби не працюють або працюють з мінімальним навантаженням, а інші споживачі в цей час працюють з максимальним навантаженням. Отже, у вузлах перших може з'явитися оперативний надлишок потужності КУ, а в інших — її дефіцит і створюється технічна можливість компенсації реактивної потужності одних вузлів за рахунок потужності інших КУ. Практична реалізація такої можливості потребує проведення її техніко-економічного аналізу і створення відповідних математичних моделей. В роботі [4] дано розв'язання цієї задачі, але в ньому не враховано, що цільова

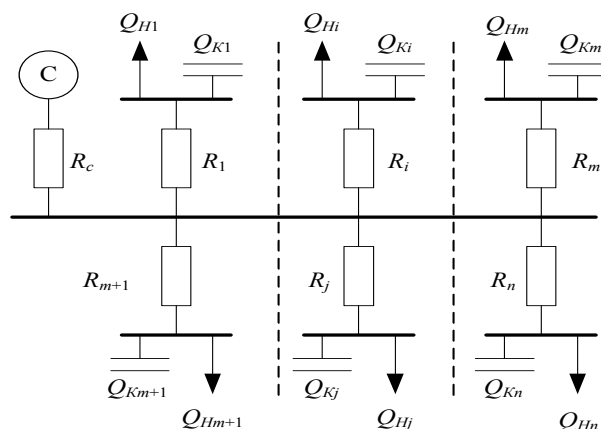


Рис. 1. Схема заміщення розрахункової мережі підприємства за використання одних вузлів для компенсації реактивної потужності інших: Q_{Hi} , Q_{Hj} — середні реактивні навантаження відповідно i -х та j -х вузлів за період Δt ; Q_{Ki} , Q_{Kj} — потужності КУ, що

встановлені відповідно в i -х та j -х вузлах; $i = 1, 2, \dots, m$; $j = m + 1, m + 2, n$ — кількість вузлів навантаження заводської мережі, у яких протягом періоду часу Δt , є надлишки реактивної потужності; n — кількість вузлів навантаження заводської мережі, у яких установлені КУ; $n - m$ — кількість вузлів, у яких протягом часу Δt , є дефіцит реактивної потужності; R_i , R_j — активні опори ліній, що живлять відповідно i -ті та j -ті вузли; R_c — активний опір живильної мережі

функція доцільності використання КУ існує на дискретній множині потужностей КУ і до неї не можна застосовувати методи пошуку екстремуму, які пов'язані з розрахунками похідних. Таким чином виникає необхідність розроблення математичної моделі керування оперативним надлишком КУ, потужність яких змінюється дискретно.

Розроблення математичної моделі

Розглянемо математичну модель оптимального керування потужностями КУ для схеми показаної на рис. 1, в якій у i -х вузлах протягом розрахункового періоду Δt (проміжок часу протягом якого реактивне навантаження досліджуваних вузлів можна вважати постійним) [5] з'являються надлишки реактивної потужності

$$\delta Q_{Ki} = \sum_1^m (Q_{Ki} - Q_{Hi}) > 0, \quad (1)$$

а в j -х вузлах — дефіцит реактивної потужності

$$Q_{\Sigma j} = \sum_{m+1}^n (Q_{Hj} - Q_{Kj}) > 0. \quad (2)$$

При цьому приймаємо такі припущення.

1. У розрахунковій схемі протікають тільки реактивні потоки, обумовлені реактивними навантаженнями j -х вузлів;

2. Напряга в розрахунковій мережі за використання КУ, розташованих в i -х вузлах, для компенсації реактивних навантажень j -х вузлів, залишається в допустимих межах.

Якщо за критерій керування прийняти зниження плати за електроенергію, то задача оптимального керування полягає в тому, щоб ввімкнути такі секції і в таких вузлах, які забезпечують максимальне зниження вказаної плати.

Пошук цих секцій представимо як послідовність кроків, на кожному з яких вмикається одна секція у певному вузлі. Тоді вказане зниження плати можна представити як

$$\Delta\Pi = \sum_{p=1}^q \Delta\Pi_p, \quad (3)$$

де $\Delta\Pi_p$ – зниження плати на p -му кроці; q — кількість кроків для пошуку оптимального розв'язку.

Умова (3) є умовою адитивності і тому для розв'язання задачі можна застосувати метод динамічного програмування [5]. Відповідно до положень динамічного програмування математичну модель керування оперативним надлишком КУ, яка відображає покрокове вмикання секцій, можна записати таким чином

$$\left. \begin{aligned} f_1 &= \max_{i=1}^{i=m} (\Delta\Pi_i)_1; \\ f_2 &= f_1 + \max_{i=1}^{i=m} (\Delta\Pi_i)_2; \\ &\dots\dots\dots \\ f_p &= f_{p-1} + \max_{i=1}^{i=m} (\Delta\Pi_i)_p; \\ &\dots\dots\dots \\ f_q &= f_{q-1} + \max_{i=1}^{i=m} (\Delta\Pi_i)_q, \end{aligned} \right\} \quad (4)$$

де f_p — максимальна величина зниження плати за електроенергію на p -му кроці.

Для мережі, показаної на рис. 1, величина зниження плати на p -му кроці для i -го вузла знаходиться як

$$\Delta\Pi_{pi} = \left\{ \frac{1}{U_H^2} \left[R_c (2Q_{Kpi}Q_{\Sigma p} - Q_{Kpi}^2) - Q_{Kpi}^2 R_i \right] \alpha + Q_{Kpi} \beta \right\} \Delta t, \quad (5)$$

де Q_{Kpi} — величина потужності секції КУ, яка вмикається на p -му кроці в i -му вузлі; $Q_{\Sigma p}$ — величина дефіциту КУ на p -му кроці; U_H — величина номінальної напруги розрахункової мережі.

Величина потужності секції, яка забезпечує максимальне зниження плати за електроенергію на p -му кроці, визначається як

$$Q'_{Kp} = f_p^{-1}(Q_{Kp}), \quad (6)$$

де f_p^{-1} — значення функції оберненої до f_p .

На кожному кроці величина Q'_{Kp} вилучається з величин надлишку і дефіциту реактивної потужності. Розрахунок проводиться до тих пір поки виконуються нерівності

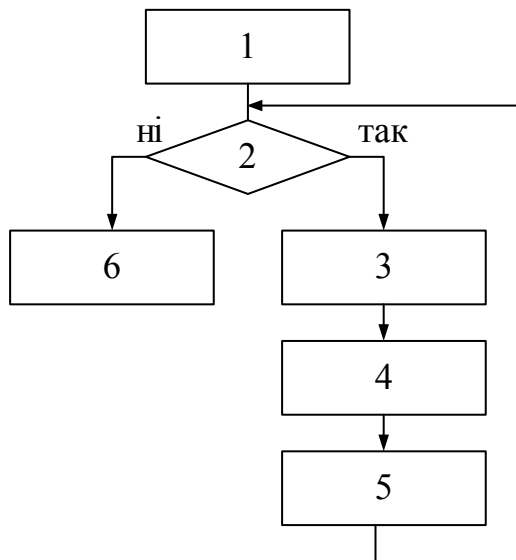


Рис. 2. Блок-схема алгоритму керування оперативним надлишком КУ:

1. Розрахунок δQ_{Ki} і $Q_{\Sigma j}$;
2. $\delta Q_{Ki}, Q_{\Sigma j} > 0$?
3. Розрахунок f_p ;
4. Розрахунок Q'_{kp} ;
5. Зменшення δQ_{Ki} та $Q_{\Sigma j}$ на величину Q'_{kp} ;
6. Кінець розрахунків

240. Знайти секції, які протягом вказаного часу доцільно вмикати.
Опори ліній подані у таблиці 1.

Таблиця 1

	ТМ 1000/10	Каб. лінія 1	Каб. лінія 2	Каб. лінія 3	ТДН 1000/110	ЛЕП 110 кВ
Активний опір елемента, Ом	0,645	0,093	0,027	0,04	0,058	0,08

Розрахунки виконуються згідно з наведеним алгоритмом.

1. Величина оперативного надлишку реактивної потужності на першому кроці складає

$$\delta Q_{K1} = 25 + 50 + 100 + 25 + 50 + 100 + 25 + 50 + 100 = 525 \text{ кВАр.}$$

Величина дефіциту реактивної потужності $Q_{\Sigma} = 200$ кВАр.

2. $\delta Q_{K1} > 0$ та $Q_{\Sigma 1} > 0$.

3. Розрахунок $f_p = \max_{i=1}^{i=m} (\Delta P_i)_p$.

Величина зниження плати за електроенергію на першому кроці, якщо вмикається секція потужністю 25 кВАр у першому вузлі:

$$(\Delta P_1)_1 = 2 \left\{ \left(\frac{1}{10^2} \right) \left[0,138 \left(2 \cdot 25 \cdot 200 - 25^2 \right) - 25^2 \cdot 0,738 \right] \cdot 0,3 \cdot 10^{-3} + 25 \cdot 0,001 \right\} = 0,055 \text{ грн.}$$

Аналогічно проводимо розрахунки для всіх вузлів та знаходимо значення f_1 .

$$f_p = \max \{ 0,055; 0,103; 0,182; 0,055; 0,104; 0,185; 0,055; 0,104; 0,184 \} = 0,185 \text{ грн.}$$

4. За розрахованим максимальним зниженням плати знаходимо потужність Q'_{K1} :

$$\delta Q_{Ki} > 0; \quad Q_{\Sigma j} > 0. \quad (7)$$

Відповідно до викладеного матеріалу на рис. 2 показано алгоритм керування оперативним надлишком КУ в i -х вузлах.

Приклад

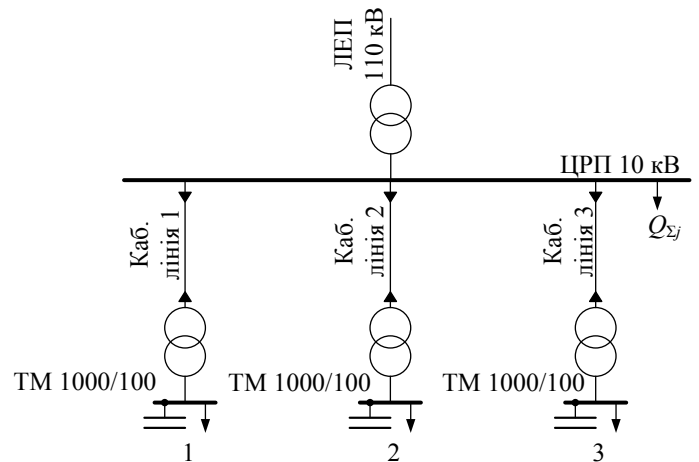


Рис. 3. Розрахункова схема заводської мережі

В вузлах 1, 2, 3 системи електропостачання, схема якої показана на рис. 3, кожного дня протягом 2 годин є невимкнені секції потужностями 25, 50 та 100 кВАр. В цей же період на шинах ЦРП-10 кВ є не скомпенсована реактивна потужність (дефіцит КУ) величиною 200 кВАр. Кількість робочих днів протягом року —

$$Q_{K1} = 100 \text{ кВАр}$$

Таким чином, на першому кроці необхідно ввімкнути в другому вузлі третю секцію КУ потужністю 100 кВАр.

5. Розраховуємо залишкові значення δQ_{K2} та $Q_{\Sigma 2}$:

$$\delta Q_{K2} = 525 - 100 = 425 \text{ кВАр}, \quad Q_{\Sigma 2} = 200 - 100 = 100 \text{ кВАр}.$$

Ці значення є вхідними для другого кроку розв'язання задачі.

Оскільки $\delta Q_{K2} > 0$ та $Q_{\Sigma 2} > 0$, то повертаємось до пункту 3 та повторюємо розрахунки.

Результати розрахунків показані в таблиці 2.

Таблиця 2

Крок	Номер вузла, в якому вмикається секція	Номер секції, що вмикається	ΔP , грн.	Потужність секції, що вмикається, кВАр	Величина надлишку δq_k , кВАр	Величина дефіциту q_Σ , кВАр
1	2	3	0,185	100	425	100
2	3	3	0,167	100	325	0

Плата за електроенергію, використовуючи оперативний надлишок зазначеним способом, зменшиться на

$$\Delta P = 0,185 + 0,167 = 0,352 \text{ грн.}$$

Зменшення плати за рік буде складати $0,352 \cdot 240 = 84,48$ грн.

Висновки

1. Протягом доби в вузлах промислових підприємств може виникати оперативний надлишок КУ, який доцільно використовувати для компенсації реактивної потужності.

2. Пошук найкращого варіанта використання оперативного надлишку КУ доцільно здійснювати з допомогою динамічного програмування, що дозволяє враховувати дискретність потужностей КУ.

3. Впровадження запропонованого методу керування оперативним надлишком потужності КУ дозволяє підприємству знизити плату за електроенергію.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Ильяшов В. П. Автоматическое регулирование мощности КУ. — М.: Энергия, 1977. — 247 с.
2. Баркан Л. Д. Автоматическое управление режимом батарей конденсаторов. — М.: Энергия, 1978. — 112 с.
3. Красник В. В. Автоматические устройства по компенсации реактивных нагрузок в электрических сетях предприятия. — М.: Энергия, 1975. — 135 с.
4. Демов О. Д., Хінді Айман Тахер, Мельничук С. М. Підвищення економічної ефективності управління батареями конденсаторів в мережах промислових підприємств протягом доби // Вісник ВПІ. — 2001. — № 4. — С. 57—61.
5. Вентцель Е. С. Исследование операций. — М.: Советское радио, 1972. — 552 с.

Рекомендована кафедрою електротехнічних систем електроспоживання та енергозбереження.

Надійшла до редакції 16.09.04
Рекомендована до опублікування 08.10.04

Демов Олександр Дмитрович — доцент; **Войнаровський Андрій Жоржович** — магістрант кафедри;
Волоцький Анатолій Михайлович — асистент

Кафедра електротехнічних систем електроспоживання та енергозбереження, Вінницький національний технічний університет