

УДК 621.311.031

О. Д. Демов, к. т. н., доц.; А. Ж. Войнаровський, асп.

## ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ КЕРУВАННЯ ДИСКРЕТНИМИ ПОТУЖНОСТЯМИ КОНДЕНСАТОРНИХ УСТАНОВОК В ЕЛЕКТРИЧНИХ МЕРЕЖАХ ПРОМИСЛОВИХ ПІДПРИЄМСТВ

Розроблено математичну модель оперативного керування дискретними потужностями конденсаторних установок, що дає можливість ефективніше їх використовувати в електричних мережах промислових підприємств. Аналіз вказаної моделі проводиться за допомогою принципів динамічного програмування, що підвищує точність керування.

### Актуальність

Встановлення конденсаторних установок (КУ) в розподільчих електричних мережах створює умови зниження втрат енергії в цих мережах. Значного зниження можна досягнути лише керуючі потужностями КУ протягом доби. Існуючі способи керування потужністю конденсаторних установок в промислових електричних мережах орієнтовані на реалізацію оптимальних рішень, знайдених шляхом розрахунку похідних в неперервній області значень цих потужностей [1]. В дійсності функції критеріїв управління КУ існують на дискретній множині потужностей і тому знайдені вказаним чином рішення в наявних способах коректуються шляхом максимального наближення існуючих потужностей до розрахованих оптимальних. Якщо врахувати, що на оптимальне значення КУ одного вузла впливають величини реактивних навантажень інших вузлів і це значення визначається з урахуванням технічних обмежень, то вказане коректування не дає найкращого значення критерію оптимізації, зокрема у вказаних способах не в повній мірі використовуються КУ для зниження втрат електроенергії. В [2, 3] розроблені методи оптимізації реактивних потоків з урахуванням дискретності потужностей КУ, але в першій роботі не розглядається можливість зменшення втрат, а у другій вирішується проектна задача.

### Формування математичної моделі

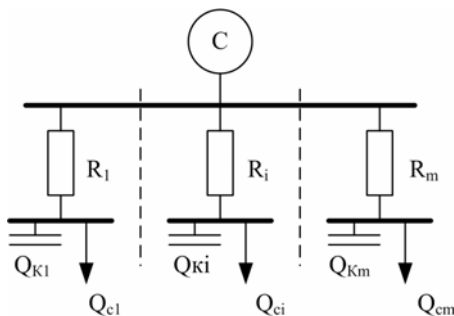


Рис. 1. Схема заміщення розрахункової мережі підприємства з використанням одних вузлів для компенсації реактивної потужності інших:

$Q_{Hi}$ ,  $Q_{Ki}$  – величини відповідно середніх реактивних навантажень та потужностей КУ  $i$ -х вузлів,  $i = 1, \dots, m$ ;  $R_i$  – активні опори ліній, що живлять  $i$ -ті вузли

Таким чином виникає необхідність в розробці математичних моделей оперативного керування дискретними потужностями КУ, що дає можливість ефективніше використовувати КУ в електричних мережах промислових підприємств.

Розглянемо математичну модель оптимального керування потужностями КУ для схеми показаної на рис. 1.

При цьому припускаємо, що напруга  $U_H$  в розрахунковій мережі при використанні КУ залишається в допустимих межах.

Під оптимальним процесом керування будемо розуміти послідовність комутацій секцій КУ, направлену на забезпечення заданої величини вхідної реактивної потужності  $Q_3$  та максимального зниження втрат потужності  $\Delta P$ . Відповідно необхідно перебрати всі комбінації потужностей  $Q_{Kij}$  секцій КУ, сума яких

$$Q_{K3} \leq \sum_{i=1}^{i=m} \sum_{j=1}^{j=q} Q_{Kij}, \quad (1)$$

де  $Q_{K3}^{\Sigma} = \sum_{i=1}^{i=m} Q_{ci} - Q_3$ ;  $q$  – кількість секцій КУ  $i$ -ї лінії.

Необхідно вибрати комбінацію, якій відповідає найбільше зниження величини  $\Delta P$ . Прямий перебір всіх вказаних комбінацій є трудомістким і не дає можливості якісного аналізу оптимального керування КУ і тому виникає необхідність раціональнішого підходу до розв'язання задачі.

Якщо процес керування уявити як послідовність кроків, на кожному з яких вмикається одна секція в певному вузлі, то втрати потужності для мережі, показаної на рис. 1, можна подати як суму втрат на всіх лініях

$$\delta(\Delta P) = \sum_{i=1}^{i=m} \delta(\Delta P)_i, \quad (2)$$

де  $\delta(\Delta P)_i$  – зниження плати для  $i$ -ї лінії за рахунок вмикання секцій КУ на цій лінії.

Умова (2) є адитивною і тому для розв'язання задачі можна застосувати динамічне програмування [4]. Згідно з принципами динамічного програмування розрахунок проводимо таким чином.

Для кожного вузла розраховуються можливі значення дискретної функції зниження плати

$$\Delta P(Q_{Ki}) = \frac{2Q_{ci}Q_{Kij} - Q_{Kij}^2}{U_{\Pi}^2} R_i. \quad (3)$$

Для кожного кроку розраховуємо максимальне зниження плати

$$\Delta P(Q_{Ki}^{\Sigma}) = \max \left\{ \Delta P_i(Q_{Ki}) + \Delta P_{i-1}^{\Sigma}(Q_{Ki}^{\Sigma} - Q_{Ki}) \right\}, \quad (4)$$

де  $Q_{Ki}^{\Sigma} = \sum_{j=1}^j \sum_{j=1}^{j=q} Q_{Kij}$ .

Причому

$$\Delta P_1(Q_{K1}^{\Sigma}) = \Delta P_1(Q_{K1}).$$

Процес максимізації по (4) для кожного фіксованого значення  $Q_{Ki}^{\Sigma}$  здійснюється простим перебором всіх можливих значень потужностей  $Q_{Ki}$ . Оптимальне значення потужності  $Q_{Ki}$  запам'ятовується. При цьому комбінації, які забезпечують

$$\sum_{i=1}^i \sum_{j=1}^{j=q} Q_{Kij} > Q_{K3}^{\Sigma} \quad (3)$$

не розглядаються.

На основі викладеного матеріалу алгоритм розрахунку керування дискретними потужностями КУ для забезпечення заданої величини вхідної реактивної потужності такий:

1. Для кожного вузла розраховуються можливі значення дискретної функції зниження втрат електроенергії  $\Delta P(Q_{Ki})$ .

2. Поетапно розраховуємо значення функції  $\Delta P(Q_{Ki}^{\Sigma})$  до тих пір, поки не виконається умова (1).

3. Секції КУ, які забезпечують максимальне значення  $\Delta P$  і виконання умови (1) необхідно ввімкнути.

**Приклад.** Для промислового підприємства, схема електропостачання якого зображена на рис. 2, знайти, які секції КУ необхідно ввімкнути, щоб зниження втрат електроенергії було максимальним. Значення величин потужності секцій наведено в табл. 1, а опорів елементів схеми – в табл. 2. Згідно з умовою договору на електропостачання підприємство повинно обов'язково споживати з системи реактивну потужність величиною  $Q_3 = 650$  кВАр, середні реактивні навантаження вузлів такі:  $Q_{c1} = 200$  кВАр,  $Q_{c2} = 250$  кВАр,  $Q_{c3} = 270$  кВАр, величина напруги на шинах низької сторони ГПП  $U_{\Pi} = 10$  кВ.

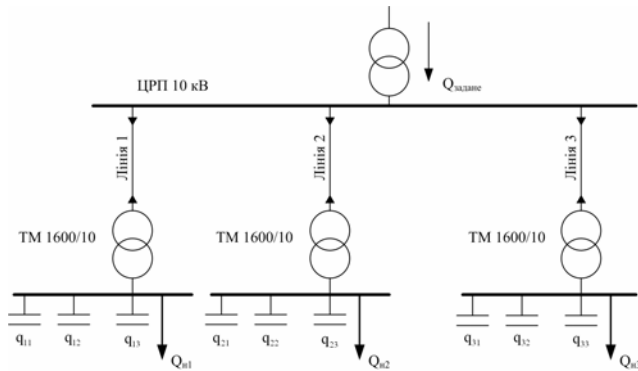


Рис. 2. Схема електропостачання промислового підприємства

Таблиця 1  
Потужності секцій КУ у вузлах навантаження, кВАр

№ секції	№ вузла		
	1	2	3
1	10	15	20
2	20	30	40
3	30	50	60

Таблиця 2

Опори елементів схеми електропостачання

	ТМ 1600/10	Лінія 1	Лінія 2	Лінія 3
Активний опір елемента, Ом	0,645	0,093	0,027	0,04

Розв'язок. Визначимо, яку величину реактивної потужності нам необхідно компенсувати:

$$Q = \sum_{i=1}^3 Q_{ci} - Q_3 = 200 + 250 + 270 - 650 = 70 \text{ кВАр.}$$

Тобто це максимальна величина реактивної потужності, яку нам необхідно набрати секціями КУ.

1. Розраховуємо зниження втрат для всіх комбінацій секцій в кожному окремому вузлі. Результати розрахунків наведені в табл. 3.

Таблиця 3

Потужність секцій, кВАр	Зниження втрат $\Delta P$ , кВт		
	1 вузол	2 вузол	3 вузол
10	28,78 (1 секція)	—	—
15	—	48,888 (1 секція)	—
20	56,088 (2 секція)	—	71,24 (1 секція)
25	—	—	—
30	81,918 (3 секція)	94,752 (2 секція)	—
35	—	—	—
40	106,27 (1+3 секції)	—	137 (2 секція)
45	—	137,59 (1+2 секції)	—
50	129,15 (2+3 секції)	151,2 (3 секція)	—
55	—	—	—
60	150,55 (1+2+3 секції)	—	197,28 (3 секція)
65	—	190,01 (1+3 секції)	—
70	—	—	—

2. Розглядаємо всі можливі комбінації секцій КУ першого та другого вузлів, що не перевищують  $Q = 70$  кВАр та розраховуємо для них зниження втрат електроенергії за формулою (4). Результати розрахунків наведені в табл. 4. В таблицях 4 та 5 в дужках вказані номери секцій та вузлів, в яких вони встановлені, наприклад: 1с2в позначає першу секцію другого вузла.

Таблиця 4

Потужність комбінації, кВАр	Зниження втрат $\Delta P$ , кВт	
	10	28,78 (1с1в)
15	48,888 (1с2в)	—
20	56,088 (2с1в)	—
25	77,669 (1с1в+1с2в)	—
30	81,918 (3с1в)	94,752 (2с2в)
35	104,98 (2с1в+1с2в)	—
40	123,53 (1с1в+2с2в)	—
45	130,81 (3с1в+1с2в)	—
50	151,2 (3с2в)	150,84 (2с1в+2с2в)
55	—	—
60	179,98 (1с1в+2с2в)	176,67 (3с1в+2с2в)
65	—	—
70	207,29 (2с1в+3с2в)	—

3. Проводимо аналогічні розрахунки для 3 вузлів. Результати наведені в табл. 5.

Таблиця 5

Потужність комбінації, кВАр	Зниження втрат $\Delta P$ , кВт			
	10	28,78 (1с1в)	—	—
15	48,888 (1с2в)	—	—	—
20	56,088 (2с1в)	—	—	—
25	77,669 (1с1в+1с2в)	—	—	—
30	94,752 (2с2в)	100,02 (1с2в+1с3в)	—	—
35	104,98 (2с1в+1с2в)	120,13 (1с2в+1с3в)	—	—
40	123,53 (1с1в+2с2в)	127,33 (2с1в+1с3в)	137 (3с3в)	—
45	130,81 (3с1в+1с2в)	148,91 (1с1в+1с2в+1с3в)	—	—
50	151,2 (3с2в)	165,99 (2с2в+1с3в)	165,78 (1с1в+2с3в)	—
55	176,22 (2с1в+1с2в+1с3в)	185,89 (1с2в+2с3в)	—	—
60	179,98 (1с1в+3с2в)	194,77 (1с1в+2с2в+1с3в)	193,09 (2с1в+2с3в)	197,28 (3с, 3в)
65	190,01 (2с2в+3с3в)	202,05 (3с1в+1с2в+1с3в)	214,67 (1с1в+1с2в+2с3в)	—
70	207,29 (2с1в+3с2в)	222,44 (3с2в+1с3в)	231,75 (2с2в+2с3в)	226,06 (1с1в+3с3в)

Для заданої потужності  $Q = 70$  кВАр максимальне зниження втрат потужності  $\Delta P = 231,75$  кВт, а відповідна йому комбінація секцій КУ – друга секція у другому вузлі потужністю 30 кВАр та друга секція у третьому вузлі потужністю 40 кВАр.

## Висновки

1. Оперативне керування потужностями КУ в електричних мережах промислових підприємств, доцільно проводити з урахуванням їх дискретності, що дає можливість ефективніше використовувати КУ.
2. Розв'язування вказаної задачі доцільно проводити з допомогою принципів динамічного програмування, що дає можливість знизити трудомісткість і підвищити точність розрахунків.

## СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Рогальський Б. С. Методи розрахунку електроспоживання і компенсуючих установок та системи управління ними (на промислових підприємствах включаючи нерудні кар'єри). Дис. ... д-ра техн. наук: 05.09.03 — Дніпропетровськ, 1999. — 301 с.
2. Терешкевич Л. Б., Хінді Айман Тахер. Математичні моделі управління графіком реактивних навантажень підприємств з потужними несиметричними споживачами. Праці Інституту електродинаміки Національної академії наук України: Зб. наук. пр. — К.: 2003. — № 2(5). — С. 94—101.
3. Зорин В. В. Моделирование и оптимизация режимов электрических сетей. Автореф. дис. ... д-ра техн. наук: 05.14.02 / Моск. энерг. ин-т. — М., 1983. — 34 с.
4. Вентцель Е. С. Исследование операций. — М.: Советское радио, 1972. — 550 с.

Матеріали статті рекомендовані до опублікування оргкомітетом VIII Міжнародної конференції «Контроль і управління в складних системах» (КУСС-2005, 24—27.10.2005 р)

Надійшла до редакції 10.11.05  
Рекомендована до друку 22.11.05

**Демов Олександр Дмитрович** — доцент, **Войнаровський Андрій Жоржович** — аспірант.

Кафедра електротехнічних систем електроспоживання та енергозбереження, Вінницький національний технічний університет