

УДК 658.26(075.8)

Хінді Айман Тахер, О.Д. Демов
Вінницький державний технічний університет

МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ ТА АЛГОРИТМ ВПРОВАДЖЕННЯ КОНДЕНСАТОРНИХ УСТАНОВОК В ЕЛЕКТРИЧНІ МЕРЕЖІ ПРОМИСЛОВИХ ПІДПРИЄМСТВ

© Хінді Айман Тахер, Демов О.Д., 2001

Показано, що економічну ефективність впровадження конденсаторних установок можна значно змінювати за рахунок зміни їх потужностей та місць установлення. Запропоновано поетапний метод впровадження конденсаторних установок в електричні мережі промислових підприємств, що забезпечує максимальну економічну ефективність вкладання коштів у ці установки на кожному з етапів впровадження.

It is shown that economical efficacy of condenser battery's inculation can be largely changed at the expense of changing its powers and places of installing. It's proposed consistent method of inculation of condenser instalation in electrical networks of industrial plants which guarantees maximum economical efficacy on every inculation steps.

У сучасних економічних умовах енергосистема однозначно не вимагає установки джерел реактивної потужності (ДРП) в електричних мережах промислових підприємств, а дає можливість їм самим розраховувати економічну доцільність установки ДРП відповідно до існуючих тарифів на реактивну енергію [1]. При цьому підприємство платить енергосистемі за реактивну енергію і тим самим враховує її інтереси. Відповідно воно вкладає в ДРП таку кількість коштів, яка забезпечує економічну ефективність p_k більшу, чим ефективність вкладання коштів в основні виробничі та комерційні операції $p_{кв}$ [2]

$$p_k \geq p_{кв} \quad (1)$$

При розрахунку величини p_k необхідно враховувати, що вона залежить від ступеня компенсації реактивної потужності так, що збільшення цього ступеня призводить до зменшення величини p_k [3]. Це дає можливість підприємству установлювати таку величину КУ, яка забезпечує співвідношення (1).

Існуючі методи розрахунку компенсації реактивної потужності в мережах промислових підприємств [4–6] не враховують вказаних обставин і тому їх не можна ефективно застосовувати для названого розрахунку.

Отже, виникає необхідність у розробці методу оптимізації процесу впровадження ДРП в мережах промислових підприємств, який забезпечував би впровадження ДРП з максимальним значенням p_k .

Розглянемо оптимізацію процесу впровадження ДРП в заводську мережу, задану матрицями активних вузлових опорів \mathbf{R} та середніх реактивних навантажень \mathbf{Q}_c . Крім того задані: тарифи на активну та реактивну енергії, відповідно, α , β ; питома вартість ДРП – c_k ; T – тривалість роботи ДРП упродовж року; p – частка відрахувань на амортизацію,

обслуговування та ремонт ДРП; U_n – номінальна напруга мережі. При цьому приймаємо такі припущення:

- 1) напруга не змінюється при установці ДРП і дорівнює номінальній U_n ;
- 2) джерелами реактивної потужності використовують тільки конденсаторні установки (КУ);
- 3) передбачається поетапне установлення КУ.

Задачу розділяємо на n етапів. На i -му етапі в j -му вузлі передбачається установлення КУ потужністю Q_{kij} , яке характеризується річною ефективністю вкладання коштів p_{kij} . Величина p_{kij} характеризує ефективність вкладання коштів при установленні КУ, яка пропорційна потужності Q_{kij} . Для розрахунку доцільності установки КУ необхідно знати максимальне значення ефективності, яке визначається сумарним значенням КУ, установлених на даному m -му і всіх попередніх етапах. Відповідно математична модель оптимізації впровадження КУ буде мати такий вигляд:

$$p_{kmc} = \frac{\sum_{i=1}^m p_{ki}}{m} \rightarrow \max; \quad (2)$$

$$\sum_{i=1}^m Q_{kij} < Q_{cj}, \quad (3)$$

де p_{kmc} – середнє значення ефективності установлення КУ потужністю $Q_{km\Sigma} = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n Q_{kij}$ на

m -му етапі; p_{ki} – ефективність установлення КУ потужністю Q_{kij} на i -му етапі; Q_{cj} – середнє реактивне навантаження j -го вузла; $m \in i$, $n \in j$; m – кількість етапів впровадження КУ; n – кількість вузлів навантаження.

Очевидно максимальне значення p_{kmc} буде в тому випадку, якщо забезпечити максимальне значення p_{ki} на кожному етапі

$$p_{kmc}^{\max} = \frac{\sum_{i=1}^m p_{ki}^{\max}}{m}, \quad (4)$$

де p_{kmc}^{\max} – максимальне значення p_{kmc} , p_{ki}^{\max} – максимальне значення p_{ki} . Величина p_{ki}^{\max} на кожному етапі знаходиться як

$$p_{ki}^{\max} = \max \{p_{ki1}, p_{ki2}, \dots, p_{kin}\}. \quad (5)$$

Тобто КУ потужністю Q_{kij} на i -му етапі установлюємо в вузлі, де забезпечується максимальна ефективність використання коштів величиною $c_k Q_{kij}$. Значення p_{kij} відповідно [3] розраховується як

$$p_{kij} = \frac{T(\delta(\Delta P)_{ij} \alpha + \beta Q_{kij}) - p_{ck} Q_{kij}}{Q_{kij} c_k}, \quad (6)$$

де $\delta(\Delta P)_{ij}$ – зниження втрат електричної енергії в заводській мережі за рахунок установлення КУ потужністю Q_{kij} . Величина $\delta(\Delta P)_{ij}$ розраховується так:

$$\delta(\Delta P)_{ij} = \Delta P_{ij}^{\text{до}} - \Delta P_{ij}^{\text{після}}, \quad (7)$$

де $\Delta P_{ij}^{до}$, $\Delta P_{ij}^{після}$ – втрати активної потужності від перетоків реактивної в мережі підприємства відповідно до і після установаження КУ в j-му вузлі на i-му етапі.

Величини $\Delta P_{ij}^{до}$, $\Delta P_{ij}^{після}$ визначаються як

$$\Delta P_{ij}^{до} = \frac{1}{U_H^2} \mathbf{Q}_c^t \mathbf{R} \mathbf{Q}_c; \Delta P_{ij}^{після} = \frac{1}{U_H^2} \mathbf{Q}_{c1}^t \mathbf{R} \mathbf{Q}_{c1}; \quad (8)$$

де \mathbf{Q}_c ; \mathbf{Q}_{c1} – матриці середніх реактивних навантажень відповідно до і після установаження КУ в j-му вузлі на i-му етапі.

Підставимо значення $\ddot{A}P_{ij}^{до}$ та $\ddot{A}P_{ij}^{після}$ в формулу (2) та отримаємо

$$p_{kij} = \frac{2T\alpha}{U_H^2 c_k} [R_{jj} (Q_{cij} - Q_{kij}) + 2 \sum_{p=1}^n Q_{cjp} R_{jp}] + \frac{\beta T}{c_k} - p. \quad (9)$$

де R_{jj} – вхідний опір j-го вузла; R_{jp} – взаємний опір j-го та p-го вузлів; Q_{cij} – середнє реактивне навантаження j-го вузла на i-му етапі; Q_{cjp} – середнє реактивне навантаження p-го вузла на i-му етапі.

Результати розрахунків за формулами (5)–(9) дозволяють побудувати залежність $p_{kmc}^{max}(Q_{km\Sigma})$. Ця залежність відображає максимальну ефективність вкладення коштів величиною $Q_{km\Sigma} c_k$ в КУ на кожному етапі. Наявність цієї залежності дає змогу знайти економічно доцільне значення потужності КУ Q_{kme} , яке відповідає заданій економічній ефективності вкладення коштів в комерційні та виробничі операції для даного підприємства $p_{k.v.z.}$

$$Q_{kme} = p_{k.v.z.}^{-1}(Q_{km\Sigma}), \quad (10)$$

де $p_{k.v.z.}^{-1}(Q_{km\Sigma})$ значення функції, оберненої $p_{k.v.z.}(Q_{km\Sigma})$ при $p_k = p_{k.v.z.}$

Знайдена потужність КУ Q_{kme} розподіляється по вузлах мережі промислового підприємства відповідно до розрахунків, проведених на попередніх етапах. При цьому потужності КУ в усіх вузлах будуть кратні потужності Q_{kij} . Тобто, в цьому методі враховується дискретність потужностей КУ і відповідно підвищується точність розрахунків.

Наведені дослідження дають можливість сформулювати алгоритм оптимального впровадження КУ так:

1. На першому етапі розраховуємо p_{k1j} для всіх n вузлів.
2. Вибираємо вузол з максимальним значенням ефективності p_{k1}^{max} .
3. Відповідно розраховуємо максимальне середнє значення ефективності p_{k1c}^{max} .
4. Зменшуємо реактивне навантаження вузла, де установажується КУ, на Q_{kij} .
5. Якщо нерівність $Q_{cij} - Q_{kij} > 0$ виконується, то розрахунки по пунктах 1–3 повторюються.
6. Будуємо залежність $p_{kmc}^{max}(Q_{km\Sigma})$.
7. Використовуючи функцію $p_{kmc}^{max}(Q_{km\Sigma})$, розраховуємо $Q_{kme} = p_{k.v.z.}^{-1}(Q_{km})$.
8. Значення потужності, знайдене в пункті 7, розподіляємо відповідно до попередніх розрахунків.

Наведений алгоритм дає змогу враховувати економічні можливості різних підприємств, що сприяє впровадженню КУ в електричні мережі цих підприємств.

Висновки. 1. Розрахунок впровадження КУ доцільно проводити поетапно, що дає можливість визначати максимальну ефективність цього впровадження на кожному з етапів.

2. Економічну ефективність впровадження КУ можна значно змінювати за рахунок зміни їх потужностей та місць установаження.

3. Значення потужності КУ, яку доцільно установити в мережах підприємства, визначається економічними можливостями підприємства в виробничій та комерційній діяльності.

4. Поетапний розрахунок впровадження КУ дає можливість враховувати їх дискретність, що підвищує точність розрахунків.

1. Методика розрахунків плати за перетоки реактивної енергії між енергопостачальною організацією та споживачами. – К., 1997. 2. Економіка підприємства / Під ред. С.Ф.Покровного. – К., 1995. – Т. 1,2. 3. Железко Ю.С. Окупаемость конденсаторных установок // Электрические станции. – 1977. – № 2. 4. Ковалев И.Н. Выбор компенсирующих устройств при проектировании электрических сетей. – М., 1990. 5. Указания по компенсации реактивной мощности в распределительных сетях. – М., 1974. 6. Основы построения промышленных сетей / Г.М.Каялов, Э.А.Каждан, И.Н.Ковалев, Э.Г.Куренный. – М., 1978.