

УДК 621.316

OPTIMAL OPERATION OF REACTIVE POWER SOURCES ENTERPRISE

S. Baluta, I. Izvolensky, V. Shesterenko
National University of Food Technologies

Key words:

Reactive power
Supply system
Operation efficiency

ABSTRACT

In the article the reactive power supply system of plants is presented. The ways of increasing operation efficiency of electrical power equipment are suggested. The problems of their engineering implementation and research implementation and research trends are considered.

Article history:

Received 01.06.2013
Received in revised form
15.06.2013
Accepted 01.07.2013

Corresponding author:

E-mail:
npnuht@ukr.net

ОПТИМАЛЬНИЙ РЕЖИМ РОБОТИ ДЖЕРЕЛ РЕАКТИВНОЇ ПОТУЖНОСТІ ПІДПРИЄМСТВА

С.М. Балюта, І.Є. Изволенський, В.Є. Шестеренко
Національний університет харчових технологій

В статті рекомендовано джерела реактивної потужності підприємства об'єднати в систему, що дозволить суттєво підняти ефективність роботи їх. Розглянуто проблеми вибору потужності цих джерел та впровадження системи в залежності від особливостей кожного підприємства.

Ключові слова: реактивна потужність, система електропостачання, ефективність роботи, компенсація.

На промислових підприємствах для компенсації реактивних навантажень використовують конденсатори і синхронні двигуни. Найбільшого поширення дістали конденсатори. Невелика маса, відсутність частин, що обертаються, незначні втрати енергії, простота обслуговування, безпечність і надійність в експлуатації дозволяють використовувати конденсатори для компенсації реактивної потужності на всіх ступенях системи електропостачання [1, 2, 3, 4]. Синхронні двигуни широко використовуються на підприємствах для приводу пристроїв, що не потребують регулювання частоти обертання (компресорні, насосні, вентилятори і т.ін.). Двигуни можуть працювати з випереджаючим коефіцієнтом потужності й компенсувати реактивну потужність інших електроприймачів. Компенсуюча здатність двигуна визначається навантаженням

на його валу, напругою й струмом збудження. Синхронні двигуни (СД) застосовуються для приводу механізмів з тривалим режимом роботи — насосів, вентиляторів і т.ін. Заводи вітчизняної електропромисловості випускають СД з номінальним випереджальним коефіцієнтом потужності, що дорівнює 0.9 і можуть бути використані як джерело реактивної потужності (ДРП). При цьому технічна змога використовувати для цього СД обмежується найбільшою реактивною потужністю, яку він може генерувати без порушення умов допустимого нагріву обмоток статора й ротора. Синхронні двигуни дозволяють як плавно змінювати реактивну потужність, що генерується, зміною струму збудження, так і підтримувати її постійною.

Використання СД як ДРП дозволяє зменшити кількість інших компенсуючих пристроїв. При техніко-економічному порівнянні СД з іншими ДРП необхідно визначення втрат активної потужності [2,3].

Критерієм раціонального вирішення задачі компенсації реактивної потужності є мінімум приведених витрат. Вони складаються з витрат на компенсуючі, регулюючі та супутні пристрої, з витрат на регулювання реактивної потужності та передачу її по елементах мережі. Ці витрати включають складові, що не залежать від величини реактивної потужності, так і ті що залежать від неї в першому або другому ступені. Кожний синхронний двигун (СД) може бути джерелом реактивної потужності, номінальне значення якої

$$Q_{CD} = P_{CD \text{ ном}} \cdot \operatorname{tg} \phi_{\text{ном}}, \quad (1)$$

де $P_{CD \text{ ном}}$ — номінальна активна потужність СД, $\operatorname{tg} \phi_{\text{ном}}$ — номінальний коефіцієнт потужності.

Якщо коефіцієнт завантаження СД менше одиниці $K_3 < 1$, економічно доцільно використовувати повністю очікувану реактивну потужність СД

$$Q_{CD} = \alpha_M \cdot S_{CD \text{ ном}}, \quad (2)$$

де α_M — коефіцієнт допустимого перевантаження СД, який залежить від його завантаження активною потужністю.

Коефіцієнт α_M може визначатися за формулою

$$\alpha_M = \sin \phi_{\text{ном}} + (1 - K_3) \cdot \left(\frac{\sin \phi_{\text{ном}}}{48 \cdot \sin \phi_{\text{ном}} - 32} + 0,4 \right), \quad (3)$$

де K_3 — коефіцієнт завантаження СД активною потужністю.

Після розрахунку допустимого значення реактивної потужності СД необхідно розрахувати економічно доцільне навантаження двигуна реактивною потужністю

$$Q_{Cде} = \frac{Z_{BK} \cdot Q_{CD \text{ ном}} - D_1 \cdot C_0}{2 \cdot D_2 \cdot C_0}, \quad (4)$$

де D_1 , D_2 — параметри СД (приймаються за каталожними та довідковими даними), C_0 — вартість втрат енергії, Z_{BK} — питома вартість високовольтних КУ.

Перед тим як визначати потужність пристроїв компенсації, необхідно врахувати реактивну потужність, що генерується повітряними й кабельними ЛЕП з номінальними напругами понад 20 кВ [2, 3]. Перевірити доцільність використання реактивної потужності генераторів місцевих електростанцій і синхронних двигунів підприємства і можливість зменшення пропускної здатності елементів живлячої та розподільної мережі із збільшенням ступеня компенсації (зменшення числа й потужності трансформаторів, зниження перерізу проводів і кабелів і т.ін.) Необхідно вибрати спосіб керування компенсуючими пристроями (ручний, дистанційний або автоматичний), а також параметр регулювання (за напругою, реактивною потужністю, часом і т. ін.), врахувати додатковий економічний ефект від впливу пристроїв компенсації на режим напруг [4].

Розрахункові витрати

$$Z = E \cdot (Q_{BK} \cdot Z_{BK} + Q_{HK} \cdot Z_{HK}) + C_0 \cdot (\Delta P_B \cdot Q_{BK} + \Delta P_H \cdot Q_{HK}) + \Delta H, \quad (5)$$

де Z_{BK}, Z_{HK} — питома вартість КУ високої напруги та нижчої напруги, $\Delta P_B, \Delta P_H$ — питомі втрати активної потужності в КУ.

Витрати внаслідок перетоків реактивної потужності в трансформаторі та ЛЕП

$$\Delta H = \frac{C_0}{U^2} \cdot [M(Q_L^2) \cdot r_L + M(Q_T^2) \cdot r_T], \quad (6)$$

де $M(Q_L^2), M(Q_T^2)$ — математичне очікування Q в трансформаторі та ЛЕП.

Оскільки $Q_T = Q - Q_{KV\Sigma}$, то

$$Q_L = Q + \Delta Q_T - Q_{KV\Sigma}, \quad (7)$$

де ΔQ_T — втрати реактивної потужності в трансформаторі.

$$\begin{aligned} M(Q_L^2) &= M[Q^2 + \Delta Q_T^2 + Q_{KV\Sigma}^2 + 2 \cdot Q \cdot \Delta Q_T - 2 \cdot Q \cdot Q_{KV\Sigma} - 2 \cdot \Delta Q_T \cdot Q_{KV\Sigma}] = \\ &= Q^2 + \Delta Q_T^2 + Q_{KV\Sigma}^2 + 2 \cdot Q \cdot \Delta Q_T - 2 \cdot Q \cdot Q_{KV\Sigma} - 2 \cdot \Delta Q_T \cdot Q_{KV\Sigma} + \delta_Q^2 + \\ &\quad + \delta_{KV\Sigma}^2 + 2 \cdot K_{QQ_T} \end{aligned} \quad (8)$$

де ΔQ_T — математичне очікування втрат реактивної потужності в трансформаторі, δ_Q^2 — дисперсія реактивної потужності, що споживається, K_{QQ_T} — кореляційний момент.

Аналогічно

$$M(Q_T^2) = Q^2 + Q_{HK}^2 - 2QQ_{HK} + \delta_Q^2. \quad (9)$$

Підставляючи ці вирази, одержимо

$$\begin{aligned} Z &= E(Z_{HK}Q_{HK} + Z_{BK}Q_{BK}) + C_0(\Delta P_H Q_{HK} + \Delta P_B Q_{BK}) + \\ &+ \frac{C_0}{U^2} [(Q^2 + \Delta Q_T^2 + Q_{KV\Sigma}^2 + 2Q\Delta Q_T - 2QQ_{KV\Sigma} - 2\Delta Q_T Q_{KV\Sigma} + \\ &\quad + \delta_Q^2 + \delta_{Q_T}^2 + 2K_{QQ_T})r_L + (Q_H^2 + Q_{HK}^2 - 2QQ_{HK} + \delta_Q^2)]r_T. \end{aligned} \quad (10)$$

Для мінімізації складемо функцію

$$f = \frac{E}{C_0}(3_{HK}Q_{HK} + 3_{BK}Q_{BK}) + \Delta P_H Q_{HK} + \Delta P_B Q_{BK} + \frac{r_T}{U^2}(Q_{HK}^2 - 2Q_{HK}Q_{BK}), \quad (11)$$

Витрати мінімальні при

$$\frac{\partial f}{\partial Q_{HK}} = 0, \text{ та } \frac{\partial f}{\partial Q_{BK}} = 0,$$

де $f = f + \phi \cdot (Q_{KV\Sigma} - Q_{HK} - Q_{BK})$.

Розглянемо систему двох рівнянь

$$\left. \begin{aligned} \frac{E}{C_0} 3_{BK} + \Delta P_B - \phi &= 0 \\ \frac{E}{C_0} 3_{HK} + \Delta P_H + \frac{2r_T}{U^2}(Q_{HK} - Q_H) - \phi &= 0 \end{aligned} \right\} \quad (12)$$

Розв'язок цієї системи

$$Q_{HK} = Q - \frac{U^2}{2r_T} \cdot \left[\frac{E}{C_0} \cdot (3_{HK} - 3_{BK}) + \Delta P_H - \Delta P_B \right] \quad (13)$$

$$Q_{BK} = Q_{\Sigma KV} - Q_{HK}$$

При визначенні Q_{HK} необхідна перевірка

$$P_P^2 + (Q_P - Q_{HK})^2 \leq \beta^2 S_{НОМ}^2, \quad (14)$$

де P_P, Q_P — розрахункові значення активної та реактивної потужності, β — коефіцієнт навантаження трансформатора, $S_{НОМ}$ — номінальна потужність трансформатора.

Враховуючи, що

$$\beta S_{НОМ} = S_P$$

Знайдемо

$$S_P = \sqrt{P^2 + Q^2} + \beta \cdot \sqrt{\delta_P^2 + \delta_Q^2}, \quad (15)$$

де P, δ_P — математичне очікування та дисперсія активної потужності вузла.

Для визначення Q_{HK}

$$\beta S_{НОМ} = \sqrt{P^2 + (Q - Q_{HK})^2} + \beta \cdot \sqrt{\delta_P^2 + \delta_Q^2}. \quad (16)$$

Після спрощення

$$Q_{HK} = Q - \sqrt{(\beta \cdot S_{НОМ} - \beta \cdot \sqrt{\delta_P^2 + \delta_Q^2})^2 - P^2}. \quad (17)$$

Реактивна потужність j -ої ділянки мережі

$$Q(t) = \sum_{j=1}^n [Q_j(t) - Q_{KV i}], \quad (18)$$

де $Q(t)$ — реактивна потужність навантаження, Q_{KV} — потужність конденсаторних установок.

Для вибору КУ необхідно мінімізувати функцію

$$f = \sum_{i=1}^n r_i \left[\sum_{j=1}^i (Q_i - Q_{KVj}) \right]^2 + \sum_{j=1}^i \sum_{e=1}^i K_{je}, \quad (19)$$

де Q_j — математичне очікування реактивної потужності навантаження в j — му вузлі навантаження, K_{je} — кореляційний момент випадкових величин $Q_j(t)$ та $Q_e(t)$.

Максимальне значення потужності КУ

$$Q_M = M(Q_\Sigma) + \beta \cdot \delta_x, \quad (20)$$

де $M(Q_\Sigma)$ — математичне очікування реактивної потужності, що споживається в мережі, δ_x — середньоквадратичне відхилення цієї потужності, β — кратність міри розсіювання.

Втрати електричної енергії

$$\Delta W_i = \frac{r_i}{U_{ном}^2} \cdot \sum_{k=1}^{\omega} T_k [M_k(P_i^2) + M_k(Q_i^2)], \quad (21)$$

де $M_k(P_i^2)$ — математичне очікування активної потужності, $M_k(Q_i^2)$ — математичне очікування квадрату реактивної потужності, ω — кількість інтервалів стаціонарності та ергодійності, T_k — тривалість цих інтервалів.

Для вибору компенсуючих пристроїв досить мінімізувати функцію

$$f = \sum_{i=1}^n r_i [M^2(Q_i) + D(Q_i)], \quad (22)$$

де $M(Q_i)$ — математичне очікування Q на i -й ділянці мережі, $D(Q_i)$ — дисперсія значення цієї потужності.

У сучасних схемах застосовують способи розподілення компенсуючих пристроїв по вузлах мережі: 1) пропорційно реактивним навантаженням вузлів; 2) за мінімумом зведених затрат; 3) за мінімумом втрат енергії. У зв'язку з високим ступенем компенсації реактивної потужності на підприємствах, що проектуються, й застосуванням багатосекційних конденсаторних установок, які монтуються звичайно на ТП, два останніх способи не забезпечують великих переваг, хоча трудовитрати на розрахунки по них на порядок вищі.

Місцеве регулювання з допомогою індивідуальних регуляторів дозволяє до мінімуму знизити втрати енергії у мережах споживача, що викликані перетоками реактивної потужності. Проте такий вид регулювання не дозволяє врахувати режим роботи енергосистеми, і конденсаторні установки споживача можуть бути вимкнені в періоди нестачі реактивної потужності в енергосистемі.

На централізоване регулювання, що виконується підімкненням конденсаторних установок до АСДУ енергосистеми, у даний час покладаються великі надії. Але ця система потребує значної кількості давачів і каналів зв'язку, що є важкорозв'язуваною задачею. Крім того, централізоване регулювання враховує, в основному, інтереси енергосистеми й може призвести до завищення втрат енергії у мережах окремих споживачів [2, 3].

Споживання реактивної потужності протягом доби нерівномірне. Режим роботи всіх джерел реактивної потужності повинен відповідати графіку споживання реактивної потужності. Частина компенсуючих установок повинна працювати в тривалому режимі роботи (базисна ділянка графіка). Це нерегульовані КУ. Потужність інших КУ необхідно змінювати в залежності від графіка споживання реактивної потужності. Найменші питомі втрати мають конденсаторні батареї напругою вище 1000 В. Найбільші — синхронні двигуни (СД) невеликої потужності. Чим менші втрати в КУ, тим вигідніше використовувати їх в тривалому режимі роботи і навпаки, КУ з більшими втратами варто підключати короткочасно. Наприклад, для покриття реактивних навантажень в години максимуму енергосистеми, а також для покриття піків графіка. Таким чином, в тривалому, базовому, режимі варто використовувати високовольтні КУ. Регульовані КУ напругою 0,4 кВ і синхронні двигуни з низькими втратами (великої потужності, швидкохідні) для покриття основного графіка, СД з високими питомими втратами тільки для компенсації короткочасних піків графіка [1]. Системам компенсації реактивної потужності підприємств притаманна ієрархічна структура та висока складність. Критерієм оптимальності при оперативному керуванні компенсацією є мінімум втрат електроенергії.

Висновки

Суттєвим резервом підвищення ефективності може бути система комплексної компенсації реактивної потужності, що створена на базі сучасних технічних та обчислювальних засобів. Система дозволяє змінити акценти в керуванні потужностями КУ від децентралізації до забезпечення системної цілеспрямованості вирішення проблеми, що концептуально пов'язана з оптимізацією режиму електроспоживання на промисловому підприємстві. Система комплексної компенсації дозволяє підтримувати потоки реактивної потужності в елементах системи електропостачання на оптимальному рівні, з максимальним ефектом використовувати встановлені джерела реактивної потужності, оскільки не допускається вимкнення КУ в періоди дефіциту реактивної потужності у вузлі мережі. В резервних дизельних електростанціях, що складаються з дизельного двигуна та електрогенератора, можна використовувати електрогенератор як джерело реактивної потужності в періоди безаварійної роботи системи електропостачання [1].

Література

1. Патент України № 52809, Н02 J 3/12. — Оптимальний спосіб використання резервної дизельної електростанції — / Балюта С.М. Шестеренко В.С., — Опубл. 10.09.2010. Бюл. №17.
2. Правила технічної експлуатації електроустановок споживачів. Затверджено наказом Міністерства палива та енергетики України від 25.10.2006.
3. Правила користування електричною енергією. Затверджено постановою НКРЕ 31.07.2005 № 910. Зареєстровано в міністерстві юстиції України 18.11.2005 № 1399/11679.

4. Патент України №27126, H02J 3/12. — Спосіб керування джерелами реактивної потужності промислового підприємства. / Шестеренко В.Є., Шестеренко О.В., — Опубл.25.10.2007. Бюл. № 16.

ОПТИМАЛЬНЫЙ РЕЖИМ РАБОТЫ ИСТОЧНИКОВ РЕАКТИВНОЙ МОЩНОСТИ ПРЕДПРИЯТИЯ

С.Н. Балюта, И.Е. Изволенский, В.Е. Шестеренко

Национальный университет пищевых технологий

В статье рекомендовано источники реактивной мощности предприятия объединить в систему, что позволит существенно поднять эффективность их работы. Рассмотрены проблемы выбора мощности этих источников и внедрения системы в зависимости от особенностей каждого предприятия.

Ключевые слова: реактивная мощность, система электроснабжения, эффективность работы, компенсация.