

УДК 621.316

С.М. БАЛЮТА,  
І.Є. ІЗВОЛЕНСЬКИЙ,  
В.Є. ШЕСТЕРЕНКО

Національний університет харчових технологій

## КОМПЕНСАЦІЯ РЕАКТИВНОЇ ПОТУЖНОСТІ АСИНХРОННИХ ДВИГУНІВ

Розглянуто шляхи підвищення ефективності компенсації реактивної потужності на промислових підприємствах. Запропоновано спосіб захисту від перенапруг. Досліджені проблеми впровадження вказаного способу.

Враховуючи наведені пропозиції та засоби захисту при проектуванні чи на реально діючих об'єктах можна значно скоротити витрати реактивної потужності, а також витрати на засоби компенсації.

**Ключові слова:** втрати потужності, реактивна потужність, асинхронні двигуни, компенсація, захист двигунів,

Електростанції мають обмежені можливості генерування реактивної потужності. Так, генератори потужністю 100 МВт і вище мають  $\cos \varphi = 0,8$  або 0,9. Значна частина генерованої реактивної потужності споживається трансформаторами та ЛЕП. Тому в період максимуму навантаження енергосистеми можуть видати підприємствам обмежену кількість реактивної потужності.

При зниженні реактивної потужності, що передається (збільшення  $\cos \varphi$ ), втрати активної потужності зменшуються.

Зниження втрат активної потужності відносно реактивної, що передається, називається економічним еквівалентом. Величина його складає 0,02...0,12 кВт/квар і пропорційна віддаленості від джерела живлення.

У мережах промислового підприємства розподіл споживання реактивної потужності такий: асинхронні двигуни — 70 %, трансформатори — 20 %, освітлювальні та інші електроприймачі — 10 % [1 – 5].

Таким чином, реактивну потужність, що передається до електроприймачів, необхідно знижувати (компенсувати) до економічно обґрунтованого рівня.

При компенсації необхідно враховувати такі загальні вимоги:

- 1) на відміну від активної реактивну потужність можна генерувати в будь-якій точці мережі;
- 2) наближення джерел реактивної потужності до споживачів сприяє розвантаженню мережі;
- 3) баланс реактивної потужності має бути витриманий для всіх вузлів системи електропостачання.

Заходи щодо зниження реактивної потужності, що передається споживачам, можна поділити на дві групи:

а) заходи, що не потребують додаткових капітальних вкладень і спрямовані на раціоналізацію режимів роботи електрообладнання у напрямку зменшення реактивних навантажень;

б) заходи з додатковими капітальними вкладеннями, які полягають у встановленні спеціальних джерел реактивної потужності.

Першочерговою при проектуванні є перша група заходів. Але недостатні можливості її вимагають застосування спеціальних пристроїв для компенсації.

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.

Розміщуючи конденсатори у мережі промислового підприємства, необхідно враховувати, що існують індивідуальна, групова та централізована компенсація реактивної потужності [1 – 5].

При індивідуальній компенсації конденсаторна установка підключається до затискачів електроприймача без комутаційних апаратів. Цей вид компенсації слід застосовувати тільки у відносно крупних електроприймачів з великим числом річних робочих годин. Індивідуальна компенсація дозволяє розвантажити від реактивних струмів усю мережу виробничого підприємства. Проте цей спосіб потребує значних капітальних вкладень. Крім того, час роботи компенсуючих пристроїв залежить від тривалості вмикання електроприймача, бо з вимкненням з мережі його вимикається і конденсаторна батарея.

У разі групової компенсації конденсаторна установка підключається до шинопроводів або до шин розподільних пунктів мережі 0,38 кВ. Цей спосіб дозволяє збільшити час використання конденсаторів. Проте частково мережі напругою 0,38 кВ стають завантаженими реактивною потужністю.

При централізованій компенсації конденсаторна установка підключається:

- 1) до шин 0,4 кВ ТП;
- 2) до шин 6...10 кВ РП;
- 3) до шин 6...10 кВ ГПП.

У першому випадку від реактивної потужності розвантажується вся високовольтна мережа й трансформатори ТП; у другому — тільки частина високовольтної мережі й трансформатори ГПП; у третьому — тільки трансформатори ГПП і мережі енергосистеми.

Як правило, люмінесцентні світильники обладнані конденсаторами і освітлювальні мережі окремої компенсації не потребують.

В силових мережах основним споживачем реактивної потужності є асинхронний двигун. Внаслідок великої різноманітності досить важко дати чіткі рекомендації по вибору потужності конденсаторів.

В табл.1. приведені рекомендації по вибору КУ в залежності від потужності двигуна.

Потужність конденсаторів в табл.1. вибрана за умовами недопущення самозбудження двигунів після вимкнення їх з електричної мережі.

Таблиця 1. Потужність КУ для індивідуальної компенсації

$P$ , кВт	$Q$ , квар	$\Delta I$ , %
2...5	1...1,5	20
6...10	2,5...4	15
11...15	4...5	15
16...25	5...6	12
26...40	6...10	11
41...60	10...13	9
61...75	13...20	9
76...100	20...25	9
110...150	26...35	9
160...200	40...45	8
210...300	50...70	8
310...450	70...75	7
460...500	80...90	6

де  $P$  — номінальна потужність двигуна,  $\Delta Q$  — рекомендована реактивна потужність конденсатора для індивідуальної компенсації,  $I$  % — величина, на яку зменшується струм в лінії живлення двигуна при індивідуальній компенсації.

При самозбудженні напруга на затискачах двигуна зростає пропорційно струму конденсатора та швидкості ротора двигуна. Величина напруги може піднятися до 160 %  $U_{ном}$ .

Якщо двигун повторно вмикається в період самозбудження, розвивається потужний перехідний процес, оскільки фаза напруги самозбудження рідко співпадає з фазою напруги електричної мережі. На обмотки та вал двигуна діють електродинамічні сили, які в декілька

разів вищі за ті, що зустрічаються при нормальній роботі. Особливо це стосується двигунів з інерційним навантаженням. Тому рекомендується всі двигуни з індивідуальною компенсацією перевірити на процес самозбудження, підключаючи вольтметр на затискачах двигуна [1].

Збільшити потужність конденсаторної установки індивідуальної компенсації реактивної потужності двигуна можна шляхом підключення конденсаторів до затискачів двигуна через автоматичний вимикач, що обладнаний електромагнітом дистанційного відключення, паралельно затискачам двигуна підключають реле максимальної напруги, сигнал керування з реле подають на електромагніт автоматичного вимикача і відключають конденсаторну установку при підвищенні напруги безпосередньо на двигуні, як при нормальній роботі двигуна, так і під час перехідних процесів в моменти відключення двигуна від мережі [1]. Цей спосіб дозволяє повністю компенсувати реактивну потужність двигуна, що дозволить знизити втрати електроенергії в мережі. При виникненні самозбудження двигуна КУ миттєво відключається.

Рекомендоване застосування КУ напругою 6...10 кВ [1 – 5] призводить до завантаження мережі підприємства реактивною потужністю та до збільшення втрат енергії. При цьому, як правило, економічний ефект від компенсації буде тільки в мережах енергосистеми, а не підприємства. Більше того, енергосистема може застосовувати штрафні санкції до підприємства, оскільки маючи тільки високовольні КУ досить великої потужності, часто без регулювання потужності, підприємство не зможе витримати задані енергосистемою величини реактивних потужностей в режимах максимуму та мінімуму.

Вказівки по компенсації рекомендують до кожної секції розподільчої підстанції (РП) напругою 6...10 кВ підключати КУ однакової потужності, але не менш як 1000 квар [3]. При цьому регулювання реактивної потужності практично виключається, оскільки ретроспективний аналіз показує, що сумарна потужність всіх КУ на діючому пересічному підприємстві середньої потужності знаходиться в цих межах. Споживання реактивної потужності протягом доби нерівномірне. Режим роботи всіх джерел реактивної потужності повинен відповідати графіку споживання реактивної потужності. Потужність КУ необхідно змінювати в залежності від графіка споживання реактивної потужності. Застосування конденсаторів індивідуальної компенсації дозволяє відмовитися від складних та дорогих пристроїв регулювання потужності конденсаторних установок, якими необхідно комплектувати установки централізованої компенсації на трансформаторних підстанціях. Системам же компенсації реактивної потужності підприємств притаманна ієрархічна структура та висока складність. Критерієм оптимальності при оперативному керуванні компенсацією є мінімум втрат електроенергії.

Коефіцієнт ефективності використання КУ (1):

$$\Psi = \frac{\sum_1^n Q_i t_i}{T \sum_1^n Q_i}, \quad (1)$$

де  $Q_i$  — реактивна потужність КУ, квар;  $t$  — тривалість роботи КУ протягом року, год;  $T$  — тривалість роботи підприємства за рік, год.

Змінюючи коефіцієнти ефективності використання джерел реактивної потужності можна підвищити показники пристроїв з низьким коефіцієнтом корисної дії. Максимальне значення потужності КУ (2)

$$Q_M = M(Q_x) + \beta \delta_x, \quad (2)$$

де  $M(Q_x)$  — математичне чекання реактивної потужності, що споживається в мережі,  $\delta_x$  — середньоквадратичне відхилення цієї потужності,  $\beta$  — кратність міри розсіювання.

Втрати електричної енергії (3)

$$\Delta W_i = \frac{r_i}{U_{НОМ}^2} \sum_{k=1}^{\omega} T_k [M_k(P_i^2) + M_k(Q_i^2)], \quad (3)$$

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

Для вибору компенсуючих пристроїв досить мінімізувати функцію (4)

$$f = \sum_{i=1}^n r_i [M^2(Q_i) + D(Q_i)], \quad (4)$$

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

**Висновки.** 1. Вартість втрат електричної енергії зростає значно швидше, ніж питома вартість конденсаторів, що дозволяє забезпечити всі асинхронні двигуни конденсаторами індивідуальної компенсації і суттєво знизити втрати в електричних мережах промислових підприємств напругою до 1 кВ.

2. Застосування конденсаторів індивідуальної компенсації дозволяє відмовитися від складних та дорогих пристроїв регулювання потужності конденсаторних установок, якими необхідно комплектувати установки централізованої компенсації на трансформаторних підстанціях.

3. Захист двигуна від режиму самозбудження можна здійснити шляхом підключення конденсаторів до затисків двигуна через автоматичний вимикач, що обладнаний електромагнітом дистанційного відключення, паралельно затискачам двигуна підключають реле максимальної напруги, сигнал керування з реле подають на електромагніт автоматичного вимикача і відключають конденсаторну установку при підвищенні напруги безпосередньо на двигуні.

#### ЛІТЕРАТУРА

1. Патент України № 34943, Н02J 3/12. — Спосіб підключення конденсаторів індивідуальної компенсації реактивної потужності асинхронного двигуна — / Шестеренко В.Є., Сірий О.М., Балюта С.М., Мащенко О.А. — Оpubл.26.08.2008. Бюл. № 16.
2. Патент України № 52809, Н02 J 3/12. — Оптимальний спосіб використання резервної дизельної електростанції — / Балюта С.М. Шестеренко В.Є., — Оpubл. 10.09.2010. Бюл. № 17.
3. Шестеренко В.Є. Системи електроспоживання та електропостачання промислових підприємств: підручник / Шестеренко В.Є. — Вінниця: Нова Книга, 2011. — 656 с.
4. Патент України № 62323, Н02J 3/12, Спосіб реєстрації реального терміну служби трансформатора — / Шестеренко В.Є., Балюта С.М., Сірий О.М. — Оpubл. 25.08.2011. Бюл. № 16.
5. Сірий О.М. Розрахунки при проектуванні та реконструкції систем електропостачання промислових підприємств / О.М. Сірий, В.Є. Шестеренко. — К.: ІСДО, 1993. — 592 с.

Рассмотрены пути повышения эффективности компенсации реактивной мощности на промышленных предприятиях. Предложен способ защиты от перенапряжений. Исследованы проблемы внедрения указанного способа.

Учитывая приведенные предложения и способы защиты при проектировании или на реально действующих объектах можно значительно сократить расход реактивной мощности, а также затраты на устройства компенсации.

**Ключевые слова:** потери мощности, реактивная мощность, асинхронные двигатели, компенсация, защита двигателей

#### S. Baluta, I. Izvolenskiy, V. Shesterenko *Reactive power compensation of induction motors*

The ways of increasing operation efficiency of reactive power compensation on the plants are considered. Small capacitor units may be connected at the individual loads. Greater power — factor corrective effect for a given total capacitor kilovolt — ampere will result with the capacitors located directly at each individual load, since the current is thereby reduced all the way from the load to the source. The first cost of an installation of individual capacitors will be greater, however, than that for one unit of the same total kilovolt-ampere located at a central point. The greater saving in operating expense due to individual capacitors must be weighed against their increased first cost. The locking circuit against high voltage is presented. The problems of its engineering implementation are considered.

**Key words:** reactive power, induction motor, compensation.

Одержана редколлегією 25 лютого 2012 р.