

THE ADVANTAGES OF THE SYSTEM OF REGULATION OF REACTIVE POWER IN FOOD PRODUCTION

S. Baliuta, I. Izvolenskiy, V. Shesterenko
National University of Food Technologies

Key words:

*Reactive power
Supply system
The system approach
Operation efficiency*

Article history:

Received 20.02.2014
Received in revised form
05.03.2014
Accepted 19.03.2014

Corresponding author:

S. Baliuta
Email:
npnuht@ukr.net

ABSTRACT

The paper considers ways to improve the efficiency of reactive power compensation on food enterprises through the use of a two-tier system of management of sources of reactive power. The proposed systematic approach to the compensation can significantly improve the economic performance of all sources of reactive power. Complex compensation system provides a change in emphasis capacity management CU from decentralization to ensure a focused solution to the problem, which is conceptually related to the optimization of power consumption mode in an industrial plant. The recommendations on the implementation of the system in the industry.

ПЕРЕВАГИ СИСТЕМНОГО РЕГУЛЮВАННЯ РЕАКТИВНОЇ ПОТУЖНОСТІ НА ХАРЧОВИХ ВИРОБНИЦТВАХ

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

У статті розглянуто шляхи підвищення ефективності компенсації реактивної потужності на харчових підприємствах шляхом застосування дворівневої системи керування джерелами реактивної потужності. Запропонований системний підхід до компенсації дозволяє суттєво підвищити економічні показники всіх джерел реактивної потужності. Система комплексної компенсації забезпечує зміну в акцентах керування потужностями конденсаторних установок (КУ) від децентралізації до забезпечення системної цілеспрямованості вирішення проблеми, що концептуально пов'язана з оптимізацією режиму електроспоживання на промисловому підприємстві. Надано рекомендації щодо впровадження системи на промислових підприємствах.

Ключові слова: реактивна потужність, система електропостачання, системний підхід, система керування, компенсація.

Критерієм раціонального вирішення задачі компенсації реактивної потужності є мінімум приведених витрат, які складаються з витрат на компенсуючі, регулюючі та супутні пристрої, витрат на регулювання реактивної потужності

та передачу її по елементах мережі. Ці витрати включають складові, що не залежать від величини реактивної потужності, а тому була розроблена методика визначення потужності компенсуючих пристроїв, що не потребує врахування абсолютних значень вартості елементів системи електропостачання [1,2,3].

Споживання реактивної потужності протягом доби нерівномірне. Режим роботи всіх джерел реактивної потужності повинен відповідати графіку споживання реактивної потужності. Потужність КУ необхідно змінювати залежно від графіка споживання реактивної потужності. Застосування конденсаторів індивідуальної компенсації дозволяє відмовитися від складних і дорогих пристроїв регулювання потужності конденсаторних установок, якими необхідно комплектувати установки централізованої компенсації на трансформаторних підстанціях [1,2,3,4].

Системам компенсації реактивної потужності підприємств притаманна ієрархічна структура та висока складність. На промислових підприємствах

для компенсації реактивних навантажень використовують конденсатори і синхронні двигуни [2,3]. Слід зауважити, невелика маса, відсутність частин, що обертаються, незначні втрати енергії, простота обслуговування, безпека і надійність в експлуатації дозволяють використовувати конденсатори для компенсації реактивної потужності на всіх ступенях системи електропостачання. Синхронні двигуни широко використовуються на підприємствах для приводу пристроїв, що не потребують регулювання частоти обертання. 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.

У цехах з великою кількістю малопотужних двигунів індивідуальна компенсація не завжди ефективна. В таких випадках застосовується централізована компенсація з установкою конденсаторів біля трансформаторної підстанції цеху.

Якщо на підприємстві наявні кілька конденсаторних установок, то застосовується багатоступеневе регулювання сумарної реактивної потужності шляхом різночасового вмикання чи вимикання окремих батарей згідно з графіком навантаження. Сумарна потужність нерегульованих джерел не повинна перевищувати споживану потужність у години мінімуму навантаження, бо реактивна потужність не повинна передаватися з мережі підприємства у мережу енергосистеми.

Протягом доби потужність, що генерується, повинна не менш як на 80—90 % збігатися з графіком споживаної реактивної потужності. Завжди необхідно забезпечувати вимкнення нерегульованих компенсуючих пристроїв у вихідні дні та неробочі години. Вимкнення може здійснюватися вручну чи автоматично. Кількість секцій конденсаторних батарей слід вибирати з урахуванням характеру графіка реактивної потужності. Ступінчасто-регульовані конденсаторні установки виготовляються з різним числом регульованих секцій. Такі установки ступінчастого регулювання дозволяють підтримувати в певних межах задане значення того параметра, на який настроєний вимірювальний орган блока керування. Це є їхньою додатковою перевагою порівняно з нерегульованими шунтовими конденсаторними батареями. Недоліком

таких пристроїв є неможливість точного регулювання параметра, бо потужність батареї змінюється дискретно, збільшуючись або зменшуючись відразу на значення потужності однієї секції.

Регулювання потужності ДРП може вестись по напрузі, струму навантаження, реактивній потужності навантаження, часу доби, зовнішньому сигналу та реактивній потужності навантаження [2,3]. Розглянемо докладніше ці методи. Регулювання по напрузі досить ефективний спосіб, якщо лінії живлення мають високий індуктивний опір. Це стосується, в основному, сільських мереж, де переважають повітряні ЛЕП. Метод дозволяє поліпшити якість напруги для електроприймачів.

Регулювання по повному струму реалізується дуже просто. Конденсатори вмикаються при зменшенні навантаження. Якщо компенсація ведеться на шинах підстанції, ефективність методу падає, оскільки завантаження ліній може бути різним. Крім того, зменшення завантаження промислового обладнання призводить до падіння $\cos\phi$. Метод можна рекомендувати для побутових споживачів.

Регулювання по реактивній потужності є ідеальним методом з багатьох точок зору. Регулятор вмикається у вузлі живлення мережі. Конденсаторна установка може бути багатосекційною, а регулювання вестись з достатньою точністю згідно з графіком реактивного навантаження.

Регулювання по часу доби — простий та ефективний спосіб регулювання. Сигнал для комутації секцій КУ посилає таймер з відповідною програмою. Програма розробляється на основі ретроспективного аналізу графіків навантаження. Якщо реальний графік буде відрізнятися від розробленої моделі, метод може дати значні похибки в регулюванні.

Регулювання по зовнішньому сигналу та реактивній потужності забезпечує система комплексної компенсації реактивної потужності. Система дозволяє підтримувати оптимальні потоки реактивної потужності в елементах електричної мережі, оптимізувати в реальному масштабі часу ці потоки, з максимальним ефектом використовувати встановлені на підприємстві КУ, оскільки не допускається вимкнення КУ в періоди дефіциту реактивної потужності у вузлі енергосистеми.

Ступінчасто-регульоване ДРП являє собою конденсаторну установку, що складається з певної кількості конденсаторів, підімкнених до загальних шин через контактори чи напівпровідникові ключі (зустрічно-паралельно ввімкнені тиристри). Енергопостачальна організація задає режим роботи компенсуючих пристроїв підприємства. Для підприємств з більшою нерівномірністю графіка навантаження треба передбачати автоматичне регулювання: збудження синхронних електродвигунів, потужності частини конденсаторних батарей.

Потужність нерегульованих конденсаторних батарей приймається за найменшим реактивним навантаженням мережі. Як правило, слід застосовувати багатоступеневе регулювання.

Основний принцип плавного регулювання закладений у зміні кута провідності чи часу, протягом якого тиристор залишається відкритим і пропускає струм. При зменшенні кута провідності зменшується ефективне значення першої гармоніки струму, що тече через конденсатор, а отже, й потужність,

яку віддає КБ у мережу. Зміна кута провідності тиристорів у колі з КБ не можна здійснювати зміною кута керування, тобто зміною моменту їх відкриття. Таке регулювання, як відомо, супроводжується значними кидками вільного струму і практично жодного ефекту регулювання на дас. Плавне регулювання КБ, обладнаної тиристорним вимикачем, досягається шляхом штучного вимкнення тиристорів. Умови для вимкнення тиристора утворюються тоді, коли напруга стає від'ємною чи потенціал катода перевищує потенціал анода. Для виконання вказаного співвідношення потенціалів служить спеціальний пристрій — джерело імпульсів струму для примусового закривання тиристорів. Найсуттєвішими можна вважати такі технічні показники КБ, керованої тиристорами:

- 1) діапазон регулювання реактивної потужності чи здатність ДРП плавно змінювати цю потужність від мінімального значення до максимального;
- 2) швидкодія або час, протягом якого ДРП спроможний змінити потужність, що генерується, від одного значення до іншого;
- 3) гармонічний склад сумарного струму, що характеризує якість компенсації та фільтрації гармонік струму ДРП, що генеруються.

Перераховані характеристики розглянутого вище ДРП пов'язані між собою і залежать від параметрів мережі, в яку ДРП ввімкнені. Так, розширення діапазону регулювання спричинює погіршення гармонічного складу струму ДРП. До подібного ефекту приводить зростання співвідношення між установленою потужністю ДРП і потужністю короткого замикання в точці його установки, що може сприяти виникненню резонансних явищ. Для плавного способу регулювання існує практично доцільний обмежений діапазон, який має за потужністю верхню та нижню межу [2,3,5].

Синхронні двигуни (СД) застосовуються для приводу механізмів з тривалим режимом роботи — насосів, вентиляторів тощо. Заводи вітчизняної електропромисловості випускають СД з номінальним випереджальним коефіцієнтом потужності, що дорівнює 0,9, і можуть бути використані як 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 необхідне визначення активної потужності. Основна частина затрат визначатиметься вартістю втрат активної потужності (що є недоліком СД).

Комбіноване регулювання конденсаторних батарей ґрунтується на поєднанні двох способів регулювання — ступінчастому та плавному. Таке поєднання дозволяє використовувати їхні найкращі якості й доставати нові вищі характеристики регульованого статичного джерела реактивної потужності [2,3]. В основу принципу покладено поєднання кількох ступенів КБ, керованих тиристорами, зі ступенем, в межах якого реактивна потужність змінюється плавно. Спосіб плавної зміни реактивної потужності може бути різним, або це КБ, що вмикається тиристорним вимикачем і вмикається за

допомогою спеціального джерела керування імпульсів струму, або це постійно ввімкнена КБ, потужність якої дорівнює одиничній потужності ступеня, паралельно якій увімкнений такої самої потужності керований тиристорами реактор. Таке вмикання дозволяє плавно набирати потужність від нуля до границі, що дорівнює потужності ступеня, а потім за допомогою відповідної системи керування та синхронізації вводити перший ступінь, у той самий час знижуючи до нуля потужність плавно регульованого ступеня. У проміжку між ступенями потужність статичного компенсатора дорівнює потужності нижчих ступенів і потужності плавно регульованого ступеня. Так само здійснюється і зниження потужності. У разі форсування вмикаються всі ступені й плавно регульований ступінь на своє максимальне значення. Якщо необхідний повний скид потужності, що видається, система керування та синхронізації вимикає як ступінь статичного компенсатора, так і плавнорегульовану секцію.

Треба зазначити, що завдяки такому принципу керування статичний ДРП з комбінованим регулюванням має таку саму швидкодію, як і плавний, і ступінчастий ДРП, але на відміну від ступінчастого ДРП, дозволяє регулювати реактивну потужність плавно, а на відміну від плавно регульованого ДРП не викликає у мережі значних спотворень форми кривої напруги. Серед недоліків такого способу регулювання можна зазначити необхідність застосування старанно налаштованої системи керування та синхронізації.

Споживач електричної енергії зобов'язаний підтримувати рівень реактивної потужності відповідно до вимог енергосистеми. При цьому задається і контролюється реактивна потужність у період максимуму та мінімуму енергосистеми, Q_{e1} та Q_{e2} відповідно [2,3]. Проміжні режими не контролюються, і споживач може експлуатувати компенсуючі пристрої протягом 60—80% часу доби. Таким чином, сумарна потужність компенсуючих пристроїв промислового підприємства задається енергосистемою, а спосіб розподілення джерел реактивної потужності по вузлах мережі підприємства, режим роботи їх і параметр керування можна вибирати за прийнятими критеріями оптимізації.

У сучасних схемах застосовують способи розподілення компенсуючих пристроїв по вузлах мережі: пропорційно реактивним навантаженням вузлів, за мінімумом зведених витрат, за мінімумом втрат енергії [2,3]. У зв'язку з високим ступенем компенсації реактивної потужності на підприємствах, що проектується, й застосуванням багатосекційних конденсаторних установок, які монтуються на ТП, два останні способи не забезпечують великих переваг, хоча трудовитрати на розрахунки по них на порядок вищі. Спосіб регулювання потужності конденсаторних батарей за напругою виправданий тільки у вузлах, де спостерігається дефіцит реактивної потужності. У зв'язку з тим, що намічається тенденція повної компенсації реактивної потужності у вузлах її споживання, прогресивнішим слід вважати спосіб регулювання за реактивним струмом.

Місцеве регулювання з допомогою індивідуальних регуляторів дозволяє до мінімуму знизити втрати енергії у мережах споживача, що викликані перепадами реактивної потужності. Проте такий вид регулювання не дозволяє

врахувати режим роботи енергосистеми, тому 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. А ця система потребує значної кількості давачів і каналів зв'язку, що є складним завданням. Крім того, централізоване регулювання враховує, в основному, інтереси енергосистеми й може призвести до завищення втрат енергії у мережах окремих споживачів.

Критерієм оптимальності при оперативному керуванні компенсацією є мінімум втрат електроенергії. Суттєвим резервом підвищення ефективності може бути система комплексної компенсації реактивної потужності, що створена на базі сучасних технічних та обчислювальних засобів [2,3]. 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.

Коефіцієнт ефективності використання КУ:

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

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.

Для вибору компенсуючих пристроїв досить мінімізувати функцію

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

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

Максимальне значення потужності КУ (2):

$$Q_M = M(Q_\Sigma) + \beta \delta_x, \quad (3)$$

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

При зниженні реактивної потужності, що передається, втрати активної потужності зменшуються до 0,12 кВт/квар і залежать від віддаленості до джерела живлення. При компенсації необхідно враховувати такі загальні ви-

ПРОЦЕСИ І АПАРАТИ ХАРЧОВИХ ВИРОБНИЦТВ

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

Система комплексної компенсації реактивної потужності передбачає облік вимог енергосистеми на межі розділу енергопостачальних і мереж споживачів й одночасно регулювання потужності високовольтних конденсаторних установок, батарей на напругу нижче 1000 В, рівня реактивної потужності, що видається синхронними двигунами. Для підвищення коефіцієнта потужності застосовані конденсаторні установки. За допомогою регуляторів реактивної потужності змінюють реактивну потужність конденсаторних батарей, КУ (або синхронних двигунів, СД) [1, 2, 3].

Для мінімізації втрат і точнішого виконання вимог енергосистеми до реактивної потужності сигнал, що надходить на регулятори у лініях мережі, зростає швидше у часі. При цьому відбувається перемикання малопотужних конденсаторних установок, що викличе зміни коефіцієнта потужності. Якщо новий коефіцієнт відповідає вимогам енергосистеми щодо величини споживаної реактивної потужності, напруга на виході задавального регулятора падає до нуля і сигнали також зменшуються.

Коли перемикаць у лініях недостатньо, через певний час сигнал сягне рівня, який викличе перемикання ступеня конденсаторної установки на головній ділянці (або зміни режиму роботи синхронних двигунів). Після такого перемикання можливі комутації малопотужних установок у лініях мережі для точнішої підтримки потрібного значення реактивної потужності. Якщо сигнал відповідає вимозі підімкнути додаткову секцію батареї, а $tg\phi$ у лінії близький до нуля, підімкнення не відбудеться. Додаткові секції підімкнуться лише у тих лініях, де власна реактивна потужність скомпенсована не повністю. Таким чином, у лініях мережі підтримуватиметься коефіцієнт потужності, близький до оптимального. І тільки тоді, коли вся потужність конденсаторної установки на головній ділянці буде використана, можливе зростання сигналу до такого рівня, що конденсаторні установки у лініях перемикаються незалежно від сигналу місцевих здавачів [2, 3].

Суттєвою перевагою дворівневого способу регулювання потужності ДРП є комплексність керування потоками реактивної потужності й одночасність регулювання всіх джерел реактивної потужності підприємства. Проте на відміну від дистанційного регулювання, де за сигналом з диспетчерського пункту здійснюється перемикання незалежно від $tg\phi$ у вітці, даний спосіб пропонує враховувати рівні двох сигналів — від місцевого давача і від задавального регулятора. Перемикання секцій конденсаторних батарей відбувається вибірково, в окремих вітках і тільки за певних рівнів сигналів. Споживання реактивної потужності протягом доби нерівномірне. Режим роботи всіх джерел реактивної потужності повинен відповідати графіку споживання реактивної потужності. Найменші питомі втрати мають конденсаторні батареї напругою вище 1000 В. Найбільші - синхронні двигуни невеликої потужності. Чим менші втрати в КУ, тим вигідніше використовувати їх у тривалому режимі роботи, і навпаки, КУ з

більшими втратами варто підключати короткочасно. Наприклад, для покриття реактивних навантажень у години максимуму енергосистеми, а також для покриття піків графіка [2, 3, 5].

Таким чином, у 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.

Висновки

1. Споживання реактивної потужності протягом доби нерівномірне. Режим роботи всіх джерел реактивної потужності повинен відповідати графіку споживання реактивної потужності. Потужність КУ необхідно змінювати залежно від графіка споживання реактивної потужності.

2. Системам компенсації реактивної потужності підприємств притаманна ієрархічна структура та висока складність. Критерієм оптимальності при оперативному керуванні компенсацією є мінімум втрат електроенергії.

3. 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.

4. Система комплексної компенсації дає змогу 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.

Література

1. Балюта С.М., Изволенський І.Є., Шестеренко В.Є. Оптимальний режим роботи джерел реактивної потужності підприємства // Наукові праці НУХТ. — 2012. — № 45. — С. 61—66.

2. Шестеренко В.Є. Системи електроспоживання та електропостачання промислових підприємств. Підручник. — Вінниця: Нова Книга, 2011. — 656 с.

3. Сірий О.М., Шестеренко В.Є. Розрахунки при проектуванні та реконструкції систем електропостачання промислових підприємств. — К.: ІСДО, 1993, — 592 с.

4. Патент України № 34943, Н02J 3/12. — Спосіб підключення конденсаторів індивідуальної компенсації реактивної потужності асинхронного двигуна / Шестеренко В.Є., Сірий О.М., Балюта С.М., Машенко О.А. — Опубл.26.08.2008; Бюл. №16.

5. Shesterenko V., Sydorchuk I. Reactive power compensation in the combined system of sugar refinery electricity // Ukrainian food journal. — 2013. — Volume 2, Issue 1 — P.116—122.

ПРЕИМУЩЕСТВА СИСТЕМНОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ РЕАКТИВНОЙ МОЩНОСТИ НА ПИЩЕВЫХ ПРОИЗВОДСТВАХ

С.Н. Балюта, И.Е. Изволенский, В.Е. Шестеренко
Национальный университет пищевых технологий

В статье рассмотрены пути повышения эффективности компенсации реактивной мощности на пищевых предприятиях путем применения двухуровневой системы управления источниками реактивной мощности. Предложенный системный подход к компенсации позволяет существенно повысить экономические показатели всех источников реактивной мощности. Система комплексной компенсации обеспечивает изменение в акцентах управления мощностями КУ от децентрализации до обеспечения целенаправленного решения проблемы, которая концептуально связана с оптимизацией режима электропотребления на промышленном предприятии. Даны рекомендации по внедрению системы на промышленных предприятиях.

Ключевые слова: реактивная мощность, компенсация, система электро-снабжения, системный подход, система управления.