

УДК 621.316.72

Т. І. ОВЧАРЕНКО, старший викладач

І. Г. КИРИСОВ, асистент

Кафедра «Електроенергетика», Українська інженерно-педагогічна академія, м. Харків

## ОЦІНКА ЕФЕКТИВНОСТІ СТАТИЧНИХ КОМПЕНСУЮЧИХ ПРИСТРОЇВ НА ПРОМИСЛОВИХ ПІДПРИЄМСТВАХ.

*В статье рассмотрены вопросы внедрения компенсирующих установок в электрические сети потребителей в современных экономических условиях. Определена экономическая целесообразность мощности компенсирующих установок, что соответствует их наиболее эффективному использованию.*

*У статті розглянуті питання впровадження компенсувальних установок у електричні мережі споживачів у сучасних економічних умовах. Визначена економічна доцільність потужності компенсувальних установок, що відповідає їх найбільш ефективному використанню.*

### Вступ

При експлуатації систем електропостачання (СЕР) має місце комплекс заходів економічного, технічного та організаційного характеру, реалізація яких дозволяє у повному обсязі обґрунтувати оптимальний рівень компенсації реактивної потужності (КРП) для зниження технологічних втрат електроенергії та регулювання напруги у вузлах навантажень.

Загальною рисою індуктивного навантаження є магнітне поле, яке створюється в обмотках трансформатора, для підтримки якого потрібна реактивна потужність (РП). Електродвигуни, які працюють на холостому ходу (х.х.), споживають із-за магнітного поля 25–30 % номінального струму.

Установка батарей конденсаторів (БК) приводить до зниження втрат електроенергії (ЕЕ) в мережі, але це не означає автоматичного досягнення енергозберігаючого ефекту. Це пояснюється тим, що генерація БК реактивної потужності спричиняє підвищення напруги на затисках електроприймачів (ЕП), що призводить до певного зростання споживання активної потужності. Це зростання (у ряді випадків) може перевищувати зниження втрат в мережі, що негативно позначиться на енергозбереженні.

У режимах значного електроспоживання та високої ступені КРП швидкість підвищення споживання активної потужності при збільшенні потужності БК практично прямо пропорційне цій потужності, тоді як швидкість зниження втрат в мережі зі збільшенням ступені компенсації зменшується. Ефективність роботи БК зі збільшенням ступеня компенсації знижується. Тому прагнення до повної КРП не завжди виправдано.

Крім того, особливістю наслідків заходів по зниженню перетікання РП в сучасних економічних умовах є те, що вартість компенсаційних пристроїв збільшилась на порядок при тому, що знизилась вартість реактивної електроенергії (в 2–2,5 рази), знизилась вартість реактивних навантажень (в 1,5–2 рази)[1], що не дозволяє обґрунтувати високий рівень КРП в мережах споживачів, а в більшості випадків робить її економічно недоцільною.

Компенсуючі пристрої встановлюють в електричних мережах споживачів для забезпечення вимог по енергозбереженню, по оптимізації режиму електроспоживання, по підтриманню належної якості електроенергії (ЯЕЕ), яка дає можливість оцінити збитки в наслідок змін рівнів напруги режимами електроспоживання підприємства.

### Основна частина

На діючих підприємствах зі значним електроспоживанням на напрузі вище 1 кВ у ряді випадків стоїть завдання підвищення економічності режиму не усієї мережі в цілому, а її окремих високовольтих ліній (ВЛ), що живлять підприємство, шляхом встановлення

додаткових джерел реактивної потужності (РП).

Втрати активної потужності при передачі по лініях РП визначають рівнянням [1]:

$$\Delta P = \frac{q^2 r_0 L^3}{3 \cdot V_{\text{НОМ}}^2} [(1 - Q_{*K})^2 + (Q_{*K} - l_*^2) + l_*^2], \quad (1)$$

де  $q$ ,  $r_0$ ,  $L$  – відповідно щільність РП, погонний активний опір та довжина лінії, що живить підприємство;

$Q_{*k} = Q_k / (q \cdot L)$  – відносна величина потужності джерела РП, (ДРП);

$l_* = l/L$  відношення відстані установки ДРП до загальної довжини лінії (рис. 1);

$U_{\text{НОМ}}$  – номінальна напруга лінії.

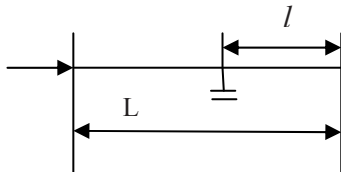


Рис. 1. Розміщення ДРП по довжині живлючої лінії

При розрахунковому значенні  $Q_{*k}$  мінімальні витрати, пов'язані зі зміною розміщення ДРП, будуть при мінімальних втратах потужності (без урахування вартості компенсуючих пристроїв).

Економічно доцільне місце установки може бути визначено з рівняння, отриманого шляхом перетворення рівняння(1):

$$l_{*e} = \frac{Q_{*k}}{2}. \quad (2)$$

Отже, зі зміною потужності  $Q_{*k}$  змінюється економічно доцільність місця підключення ДРП. Якщо підставити  $l_{*e}$  у рівняння (1), то одержимо величину втрат активної потужності в лінії:

$$\Delta P_{qe} = \frac{q^2 r_0 L^3}{3 \cdot V_{\text{НОМ}}^2} \left[ (1 - Q_{*K})^2 + \frac{Q_{*K}^2}{4} \right]. \quad (3)$$

Економічно доцільна величина потужності ДРП, яка розміщена на відстані  $l_{*e}$ , визначиться шляхом ряду перетворень рівняння:

$$Q_{*e} = \frac{1 + l_*}{2}. \quad (4)$$

Тоді величина втрат активної потужності складатиме:

$$\Delta P_e = \frac{q^2 r_0 L^3}{3 \cdot V_{\text{НОМ}}^2} \left[ 1 - \frac{3}{4} (1 - l_*)^2 \cdot (1 - l_*) \right]. \quad (5)$$

Це співвідношення дозволяє приблизно оцінити потужність ДРП, визначити місце його установки та втрати активної потужності в лінії.

Мінімально можливе значення втрат в лінії можливо одержати при наступних допущеннях:

$$l_{*e} = \frac{1}{3}; Q_{*e} = \frac{2}{3}$$

тоді

$$\Delta P = \frac{q^2 r_0 L^3}{27 \cdot V_{\text{ном}}^2}$$

Якщо прийняти цю величину за базисне значення, то з допомогою (1) одержимо критеріальне рівняння:

$$\Delta P_* = 9[(1 - Q_{*к})^2 + (Q_{*к} - l_*)^3 + l_*^3] \quad (6)$$

яке дозволяє визначити відносне збільшення втрат потужності в лінії, якщо місце установки та потужність ДРП відрізняється від економічно доцільного значення. Якщо ДРП не встановлюють, то  $Q_{*к} = l_* = 0$  і  $\Delta P_* = 9$ , тобто компенсація РП дозволяє зменшити втрати активної потужності у 9 разів.

При оптимізації місця установки або тільки потужності ДРП, очікуваний ефект визначають рівнянням (7, 8):

$$\Delta P_{*l} = 9 \left[ 1 - \frac{3}{4}(1 - l_*)^2(1 - l_*) \right] \quad (7)$$

$$\Delta P_{*q} = 9 \left[ (1 - Q_{*к})^3 + \frac{1}{4}Q_{*к}^3 \right]. \quad (8)$$

Аналіз цих рівнянь (дивись рис. 2 а,б) свідчить про те, що оптимізація по одному з параметрів (місця установки ДРП  $l$  або потужності ДРП  $Q_{*к}$ ) приводить до недовикористання можливостей зниження втрат активної потужності в лініях.

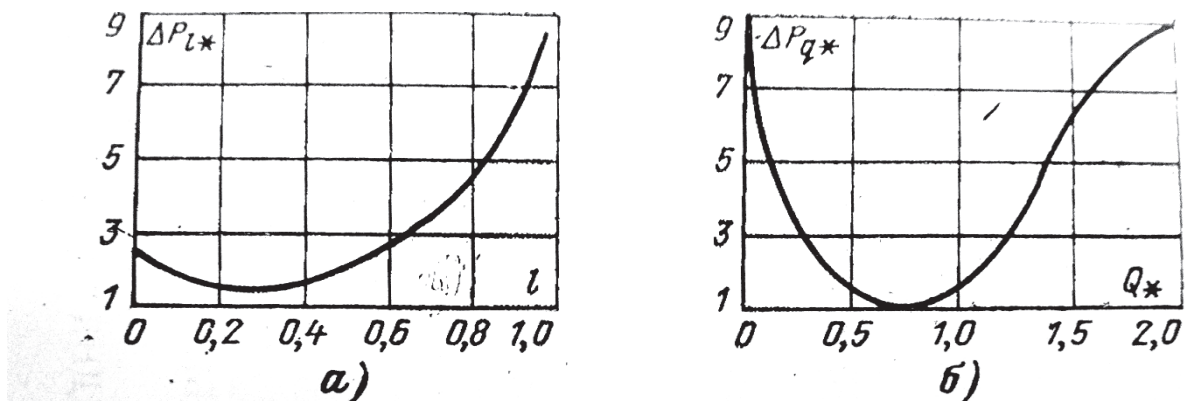


Рис. 2. Розподілення втрат активної потужності в лініях з ДРП:  
а) в залежності від міста його установки; б) в залежності від його потужності

Суттєвим є та обставина, що при експлуатації обладнання змінюються електричні навантаження. Це приводить до зміни умов, при яких втрати активної потужності мінімальні. Це вимагає в умовах експлуатації використання регулюючих пристроїв ДРП та інших компенсуючих пристроїв(КП).

В СЕП енергоємних підприємств, як правило, встановлюють багатофункціональні фільтрокомпенсуючі пристрої (ФКП).

Якщо значення показників якості електроенергії (ПЯЕЕ) не виходять за межі, які регламентує ДСТУ 13109-97, необхідність в економічному обґрунтуванні встановлення засобів по нормалізації ЯЕЕ не потрібне, так як показники стандарту, що нормуються, економічно обґрунтовані.

Для вузлів навантаження з енергоємними споживачами упровадження в роботу ФКП з динамічною КРП забезпечує:

– нульові перетоки РП на межі балансової належності електричної мережі при умовах розміщення компенсуючих пристроїв в електричній близькості до споживача;

- скорочення втрат активної потужності при зниженні перетоки РП;
- зниження навантаження мережних трансформаторів та ліній, що їх живлять;
- скорочення витрат електроенергії;
- стабілізацію напруги мережі, нейтралізацію вищих гармонік (ВГ), симетрування напруги мережі.

КРП є найбільш ефективною енергозберігаючою технологією в електричних мережах споживачів та енергосистеми.

Впровадження в усіх обленерго «Методики розрахунку плати за перетікання реактивної електроенергії між енергопостачальною організацією та її споживачами»[2], призначено до стимулювання підвищення рівня КРП і зниження технологічних втрат електроенергії в електричних мережах. Разом з тим, аналіз результатів її впровадження свідчить, що її вплив на споживачів практично відсутній. Замість підвищення рівня КРП відбувається його зниження, відповідно збільшуються технологічні втрати електроенергії. В сучасних умовах діють фактори, вплив яких на перелічені вище процеси більш відчутні порівняно із стимулюючими механізмами, які закладені у [2].

Оптимальний рівень КРП за критерієм мінімальних витрат та вихідну реактивну потужність (ВРП), яку економічно доцільно споживати із мереж енергопостачальної організації (ЕО), яка забезпечує оптимальний рівень КРП за критерієм мінімальних витрат, визначають формулою [3]:

$$Q_e = \frac{(Z_{пг} - Z_{пп1}) \cdot K_0}{2 \cdot Z_{пп2}}, \quad (9)$$

де  $Z_{пг}$  – питомі витрати на генерацію реактивної потужності джерелами РП (ДРП), грн/квар;

$Z_{пп1}$  – питомі витрати на РП, яка споживається в мережах ЕО, грн./квар;

$K_0$  – коефіцієнт оптимальності поточкорозподілу РП в мережах підприємства до компенсування;

$Z_{пп2}$  – питомі витрати на передавання РП по мережі, грн./квар.

Величина  $Z_{пг}$  відображає питомі витрати на засоби компенсування (силові конденсатори, регулятори, вимірювальні прилади, комутаційна апаратура) і витрати в ДРП. Засоби компенсування, які імпортують в Україну, значно зросли в ціні і знаходяться в межах від 60 до 360 грн/квар. Тому величина  $Z_{пг}$  суттєво збільшилась, що призводить до зменшення економічно обґрунтованого рівня КРП.

Зменшити питомі витрати на передавання РП по мережах  $Z_{пп2}$  можливо за рахунок збільшення рівня напруги у вузлах ЕО. Їх можна визначити згідно виразу:

$$Z_{пп2} = C_0 \cdot R_e / U^2, \quad (10)$$

де  $C_0$  – питома вартість втрат активної потужності в електричних мережах від передавання РП, грн/кВт;

$R_e$  – еквівалентний активний опір мереж підприємства, Ом;

$U$  – фактична напруга при максимальних активних навантаженнях, кВ.

Як було зазначено вище, суттєво (в 1,5–2 рази) зменшився максимум реактивних навантажень.

Таким чином, всі параметри формули (9) свідчать про зниження економічно обґрунтованого рівня  $Q_e$ . За таких умов компенсування РП в мережах споживачів потребує техніко-економічного обґрунтування, а з урахуванням сучасного стану вітчизняної електроенергетики в деяких випадках економічно недоцільною [3, 4].

Для створення економічних умов впровадження оптимального КРП в електричних мережах споживачів в умовах експлуатації необхідні заходи:

– по стимулюванню працівників підприємства за впровадження оптимальної КРН;  
 – при обґрунтуванні рівня КРН в електричних мережах споживачів враховувати ефект зниження втрат в мережах, зменшення трансформаторних потужностей і мереж (при реконструкції);

– посилює стимулюючий вплив на споживачів по удосконаленню діючої методики розрахунку плати за перетікання реактивної електроенергії (РЕЕ) в напрямку уточнення розрахунків та їх спрощення з урахуванням нових підходів до розрахунку КРН.

Установка БК може привести до збільшення напруги, яка може перевищувати оптимальну, і відповідно до збільшення втрат активної електроенергії у споживачів.

При розробці КРП слід мати на увазі, що термін окупності витрат на встановлення компенсуючих пристроїв (КП) значно високий (регулюючий пристрій РП досягає 10 років, що наближається до регламентуємого терміну їх служби). При такій ситуації неправомірна вимога установки КРП.

Ураховуючи ці обставини, слід впроваджувати диференційну систему обліку ЕЕ по порі доби з установкою в базовій частині графіку електричних навантажень постійно включених батарей конденсаторів. Термін окупності нерегулюємих БК від 1 до 1,5 років.

В мережах у останні роки зменшується рівень КРП. Це зумовлено тим, що існуючі методи розрахунку плати за РЕЕ не повною мірою враховують нові економічні відносини між енергосистемою та споживачами, які ускладнюють практичні розрахунки і не підтверджують економічні переваги впровадження компенсуювальних установок (КУ).

Таким чином, виникає необхідність використання спрощених методів розрахунку впровадження КУ, які давали б можливість довести переваги вкладання коштів у КУ, а підприємствам давали б можливість самостійно проводити розрахунки з упровадження КУ залежно від своїх фінансових можливостей.

Підприємству в сучасних економічних умовах доцільно вкладати кошти в КУ такі, які забезпечать економічну ефективність ( $P_K$ ) за рахунок зниження плати за споживану РЕЕ ( $\Delta\Pi$ ) та зниження втрат електроенергії в мережах споживача ( $\Delta W$ ) за рахунок встановлення КУ потужністю  $Q_K$  [4]:

$$P_K = P_{K1} + P_{K2} = \frac{\Delta\Pi + \Delta W \cdot a}{C_K \cdot Q_{K\Sigma}}, \quad (11)$$

Де  $P_{K1}$ ,  $P_{K2}$  – економічні ефективності впровадження КУ відповідно за рахунок зниження  $\Delta\Pi$  і  $\Delta W$ ;

$a$  – тариф на активну електроенергію;

$C_K$  – вартість компенсуювальних установок.

Величина  $P_{K1}$  дорівнює:

$$P_{K1} = \frac{\delta\Pi}{C_K \cdot Q_{K\Sigma}}, \quad (12)$$

де  $\delta$  – відносне зниження втрат у мережі за рахунок встановлення КУ;

$\Pi$  – плата підприємства за спожиту електроенергію.

$$P_{K2} = \frac{2T \cdot a}{V_M^2 \cdot C_K} [R_j (Q_{pj} - Q_{kj}) + \sum_{i=1}^{n-1} Q_{pi} \cdot R_{ji}] - p, \quad (13)$$

де  $T$  – число годин роботи КУ;

$R_j$  – вхідний опір  $j$ -го вузла;

$R_{ji}$  – взаємний опір  $j$ -го та  $i$ -го вузлів;

$Q_{pj}$ ,  $Q_{pi}$  – реактивні навантаження відповідно  $j$ -го та  $i$ -го вузлів;

$Q_{kj}$  – величина потужності КУ, яка встановлена в  $j$ -му вузлі;

$p$  – амортизаційні відрахування.

Використання цих залежностей дозволяє визначити економічну доцільність потужності КУ, яка відповідає найбільш ефективному використанню КУ.

Таким чином, розрахунки плати за РЕ доцільно виконувати засобом, що дає можливість спрощення процесу впровадження КУ.

### Висновки

1. Для впровадження оптимальної КРН склалися несприятливі економічні умови. З одного боку суттєво підвищилась вартість засобів компенсування, з іншого – знижена вартість РЕЕ та максимальні РН, що не дозволяє обґрунтувати оптимальні рівні КРН в мережах споживачів, а в багатьох випадках робить його економічно недоцільним.

2. Наслідком зниження електричних активних і реактивних навантажень є підвищення рівня напруги у вузлах навантаження, що змушує відключити діючі БК.

3. В сучасній електроенергетиці розроблені заходи економічного, технічного та організаційного характеру, реалізація яких дозволить досягти оптимальної КРП для зниження технологічних втрат електроенергії і регулювання напруги у вузлах споживачів.

### Список літератури

1. Праховник А. В., Божко В. М., Рогальский Б. С., Нанака О. М. Комплексне і системне вирішення проблеми компенсації реактивних навантажень в електричних мережах споживачів та електропостачальних компаній //Промелектро . – 2004. – № 2. – С. 2–9.

2. Методика обчислення плати за перетікання реактивної електроенергії між електропередавальною організацією та її споживачами.(затверджена наказом міністерства палива та енергетики України №19 від 17.01.2002).// Офіційний вісник України, – 2002. – № 48. – 147 с.

3. Рогальский Б. С. Методи поетапного розрахунку компенсації реактивної потужності в електричних мережах енергосистем і споживачів //Промислова енергетика та електротехніка. – 2001. – Вип. 1. – С. 22–29.

4. Демов А. О., Демов О. Д., Войнаровський А. Ж., Паламарчук О. П. Особливості впровадження компенсувальних установок у електричні мережі споживачів у сучасних економічних умовах //Енергетика та електрифікація. – 2006. – № 2. – С. 12–15.

## PERFORMANCE EVALUATION OF STATIC COMPENSATING DEVICES IN INDUSTRIAL FACILITIES

T. I. OVCHARENKO, Seniora Teacher  
I. G. KIRISOV, Assistant

*The paper deals with the issues of introduction of compensating units in electric networks of end-users in modern economic conditions. It determined economic feasibility of the power of compensating units that corresponds to their most effective use.*

Поступила в редакцію 24.05 2013 г.