

Технические науки

УДК 62-531.6

**Стрежекуров Эдуард Евгеньевич**

кандидат технических наук,  
доцент кафедры электротехнологии и электромеханики,  
Днепродзержинский государственный технический университет,  
г. Каменское

**Шаломов Владимир Анатольевич**

кандидат технических наук,  
доцент кафедры безопасности жизнедеятельности  
ГВУЗ «Приднепровская государственная академия  
строительства и архитектуры», г. Днепр

**Николаенко Юрий Владимирович**

студент, Днепроровский государственный  
технический университет, г. Каменское

**Коваленко Артем Евгеньевич**

студент, Днепроровский государственный  
технический университет, г. Каменское

**Strezhekurov Ye. E.**

candidate of Technical Sciences,  
associate professor of department of electric  
technology and electric mechanics  
Dniprodzerzhinskiy state technical university,  
Kam'yanske

**Shalomov V. A.**

candidate of Technical Sciences,  
associate professor of department Life Safety  
«Pridneprovsk State Academy of Civil Engineering and Architecture»,  
Dnipro

**Nikolaenko Yu. V.**

student, Dniprovskiy state technical university, Kam'yanske

**Kovalenko A. Ye.**

student, Dniprovskiy state technical university, Kam'yanske

**ДО ПИТАННЯ АКТУАЛЬНОСТІ ЩОДО КОМПЕНСАЦІЇ  
РЕАКТИВНОЇ ПОТУЖНОСТІ НА ПІДПРИЄМСТВІ**

## THE QUESTION TO RELEVANCE REACTIVE POWER COMPENSATION THE ENTERPRISE

**Анотація:** У статті наведені негативні наслідки підвищення передачі і споживання реактивної потужності, доведена доцільність компенсації реактивної потужності у вузлах навантаження. На підставі дослідження, запропоновано механізм компенсації на основі синхронних двигунів зі зворотним зв'язком по  $\cos \varphi$  в системі керування струмом обмотки збудження.

**Ключові слова:** реактивна потужність, втрати потужності, синхронний двигун, статичний компенсатор, завантаження мережі, коефіцієнт потужності, асинхронний двигун.

**Annotation:** In the article the negative impact of higher transmission and consumption of reactive power, proved feasibility reactive power compensation in load. According to the research, the mechanism of compensation based on synchronous motors with feedback on the system  $\cos \varphi$  control current winding.

**Key words:** reactive power, power loss, synchronous motor, static compensator, network load, power factor induction motor.

**Вступ.** Завантаження системи електропостачання визначається повною потужністю  $S$  (кВА), активна складова якої  $P$  (кВт) представляє корисно спожиту потужність, яка назад до джерела живлення не повертається. Реактивна складова  $Q$  (кВАр) повної потужності витрачається на створення магнітних полів в окремих елементах електричної мережі, зокрема: трансформаторах, електричних двигунах, лініях електропередач, газорозрядних джерелах світла, дугових сталеплавильних печах тощо. Практично вона не споживається, а перетікає від джерела живлення до споживача і в зворотному напрямку. Передача реактивної потужності призводить до втрат, а саме, зниженню напруги і

завантаженню ліній електропередач, що безпосередньо знижує їх пропускну здатність. На практиці в якості величини, яка характеризує роботу електроустановки з точки зору економії електроенергії, застосовується поняття коефіцієнта потужності ( $\cos \varphi$ ). Чим вище ближче значення  $\cos \varphi$  до одиниці, тим більше електроенергією виконується корисної роботи, зменшуються втрати, крім того можна застосовувати менш потужне джерело електроживлення. Таким чином, менша кількість електроенергії витрачається даремно, що є дуже актуальним в сучасних умовах енергетичного дефіциту українських підприємств.

Як правило, компенсацію реактивної потужності виконують на трансформаторних підстанціях, за рахунок застосування синхронних компенсаторів. На підприємствах використовують статичні компенсатори у вигляді конденсаторних батарей. Однак останні на жаль не мають можливості плавного регулювання і не забезпечують ефективну компенсацію реактивної потужності для електрообладнання, яке працює в короткочасному режимі роботи з низьким коефіцієнтом потужності.

**Постановка задачі.** Аналіз негативного впливу реактивної потужності на різних ділянках лінії електропередач і розробка ефективного методу її компенсації.

**Результати роботи.** При передачі споживачам активної і реактивної потужності в мережах системи електропостачання з'являються втрати активної потужності [1]:

$$\begin{aligned} \Delta P &= 3I^2 R = 3 \left( \frac{S}{\sqrt{3}U} \right)^2 R = \frac{S^2}{U^2} R = \frac{P^2 + Q^2}{U^2} R = \\ &= \frac{P^2 R}{U^2} + \frac{Q^2 R}{U^2} = \Delta P_P + \Delta P_Q. \end{aligned} \quad (1)$$

тут перший доданок - втрати активної потужності на лінії електропередач, другий - втрати активної потужності на лінії

електропередач за рахунок передачі реактивної потужності по цієї ж лінії. Таким чином, додаткові активні втрати, які пов'язані з відсутністю компенсації, пропорційні квадрату реактивної потужності:

$$\Delta P_Q = \frac{Q^2 R}{U^2}. \quad (2)$$

Крім цього, втрати також пропорційні активному опору провідників:

$$R = \rho \frac{l}{S}, \quad (3)$$

де  $\rho$  - питомий опір матеріалу провідників,  $l$  і  $S$  - відповідно їх довжина і площа перетину.

При передачі електроенергії від джерела живлення до споживача велике значення має коефіцієнт потужності, який дорівнює:

$$\cos \varphi = \frac{P}{S} = \frac{P}{\sqrt{P^2 + Q^2}}. \quad (4)$$

Звідки

$$P^2 + Q^2 = \frac{P^2}{\cos^2 \varphi}. \quad (5)$$

або втрати потужності

$$\Delta P = \frac{P^2}{U^2 \cos^2 \varphi}. \quad (6)$$

При незмінних параметрах переданої потужності  $P$ , напрузі  $U$  і опорі мережі  $R$  величина втрат активної потужності в мережі обернено пропорційна квадрату коефіцієнта потужності переданого навантаження, або:

$$\Delta P = f \left( \frac{1}{\cos^2 \varphi} \right). \quad (7)$$

Додаткові втрати активної потужності, пов'язані з перетіканням реактивної потужності, змушують за рахунок нагріву збільшувати перетин провідників всіх ланок електропередачі, що веде до втрат кольорових металів.

Також передача реактивної потужності споживачу супроводжується її додатковими втратами  $\Delta Q$ :

- в лінії

$$\Delta Q = 3I^2 \cdot \chi_0 \cdot l, \quad (8)$$

Де  $\Delta Q$  - втрати реактивної потужності, кВАр;  $I$  - струм навантаження, А;  $\chi_0$  - погонний індуктивний опір лінії, Ом/км;  $l$  - довжина лінії, км;

- в трансформаторі

$$\Delta Q = \frac{S_{ном}}{100} (i_{xx} + u_{кз} \beta), \quad (9)$$

де  $i_{xx}$  - струм холостого ходу трансформатора, %;  $u_{кз}$  - напруга короткого замикання трансформатора, %;  $S_{ном}$  - номінальна потужність трансформатора, кВА;  $\beta$  - коефіцієнт завантаження трансформатора.

На ці величини повинна бути збільшена потужність компенсуючих пристроїв.

Ще одним негативним явищем при передачі реактивної потужності є додаткові втрати напруги. Проблема найбільш актуальна в протяжних мережах, виконаних провідниками малого перетину. При передачі потужностей  $P$  і  $Q$  через елемент мережі з активним  $R$  і реактивним  $X$  опором втрати напруги складуть:

$$\Delta U = \frac{P \cdot R + Q \cdot X}{U} = \frac{P \cdot R}{U} + \frac{Q \cdot X}{U} = \Delta U_p + \Delta U_q, \quad (10)$$

де  $\Delta U_p$  – втрати напруги, обумовлені передаванням активної потужності;  $\Delta U_q$  – втрати напруги, обумовлені передаванням реактивної потужності.

При зменшенні переданої реактивної потужності до нуля напруга в кінці лінії збільшиться на:

$$\Delta U_q = \frac{Q \cdot X}{U}. \quad (11)$$

Додаткові втрати напруги збільшують інтервал відхилень напруги на затискачах споживачів електричної енергії від номінального значення при змінах навантажень і режимів електричної мережі. Характер навантаження і величина переданої реактивної потужності впливають також і на втрати напруги в трансформаторах.

При зниженні напруги асинхронні двигуни вибирають свою потужність за рахунок збільшення струму. Це призводить до додаткового збільшення струму в лініях електропередач і подальшого зниження напруги.

При зниженні напруги на шинах навантаження до рівня  $U < U_{кр}$  (критичної напруги статичної характеристики вузла навантаження по напрузі (рис. 1)) відбувається різке підвищення споживання реактивної потужності, що приводить до збільшення втрати напруги, подальшого зниження напруги та швидкого розвитку протягом декількох секунд процесу, який називається лавиною напруги (рис. 2) [2].

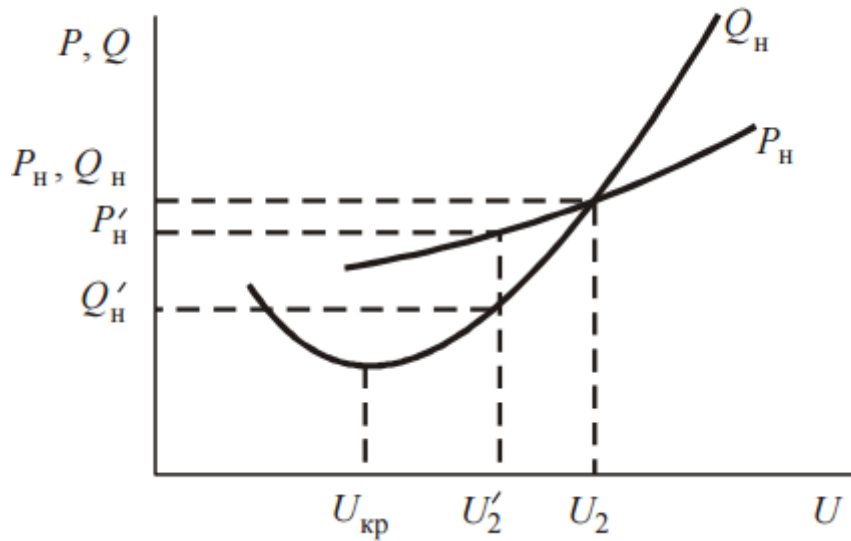


Рис. 1 – Статичні характеристики комплексного навантаження по напрузі

Завантаження реактивною потужністю ліній трансформаторів зменшує їх пропускну здатність, що в деяких випадках не дозволяє використовувати повну встановлену потужність електрообладнання. Коефіцієнт потужності асинхронних двигунів підприємств близький до значення 0,7. Якщо на підприємстві експлуатуються тільки асинхронні двигуни без компенсаторів, то і загальний  $\cos \varphi$  близький до значення 0,7. Якщо споживач підприємства з  $\cos \varphi = 0,7$  живиться від трансформаторної підстанції, де повна номінальна потужність трансформатора 2000 кВА, то максимальна активна потужність, яку може отримати споживач за умови, що він один навантажує всю підстанцію дорівнює:

$$P = S \cdot \cos \varphi = 2000 \cdot 0,7 = 1400 \text{ кВт.}$$

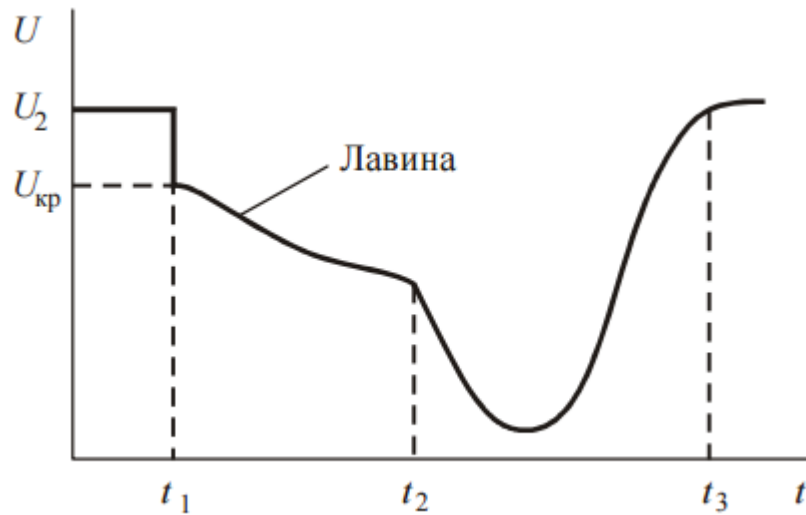


Рис. 2 – Розвиток лавини напруги

Також завантаження реактивною потужністю трансформаторів знижує їх коефіцієнт корисної дії, тому що максимальна активна потужність зменшиться на  $(1/\cos \varphi)$  раз, а втрати будуть такими ж як і при  $\cos \varphi = 1$  через те, що сила струму залишиться незмінною.

Проблеми, в наслідок підвищення споживання реактивної потужності, узагальнені і наведені на рис. 3.

З вище наведеного аналізу видно, що втрати пов'язані з передачею реактивної потужності збільшуються на кожній наступній ланці енергосистеми, тому велике значення має компенсація реактивної потужності в безпосередній близькості до споживача з невеликим коефіцієнтом потужності.

Для компенсації реактивної потужності на підприємствах, як правило, використовують батареї конденсаторів [3]. Незважаючи на свою відносно не велику вартість такий метод компенсації має такі недоліки:

- немає можливості плавного регулювання;
- велика залежність  $Q$  від  $U$ ;
- наявність заряду після вимкнення;



- конденсатори компенсатора не підлягають ремонту та схильні до пробою при імпульсних перевантаженнях;
- немає можливості здійснювати корисну роботу, крім генерації реактивної потужності.

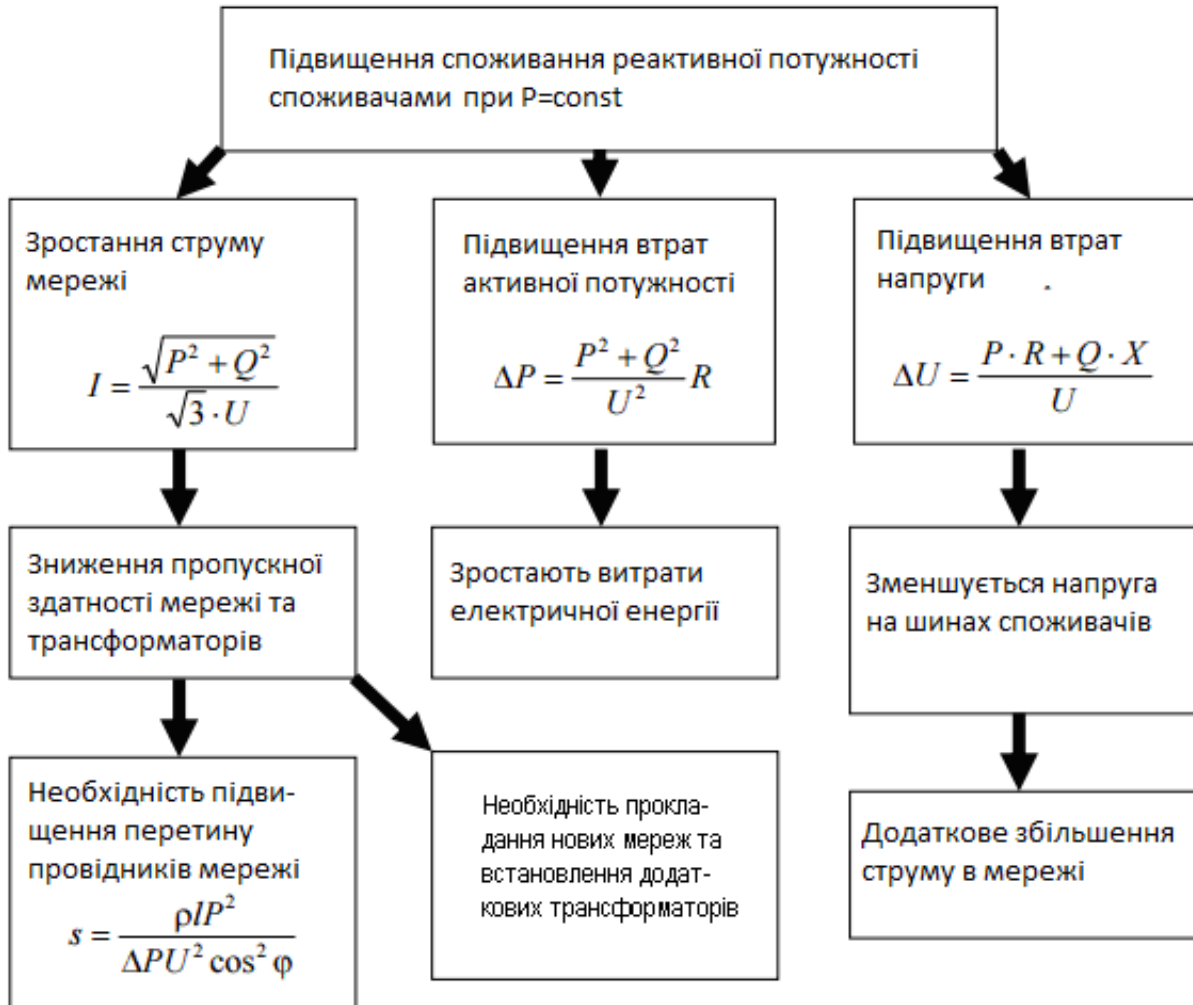


Рис. 3 – Проблеми в наслідок підвищення споживання реактивної потужності

Відомо [4], що крім конденсаторів генератором реактивної потужності є синхронний двигун. Залежно від струму обмотки збудження він може працювати як в режимі споживання так і генерації реактивної потужності. На рис. 4 наведені U-подібні характеристики синхронного двигуна.

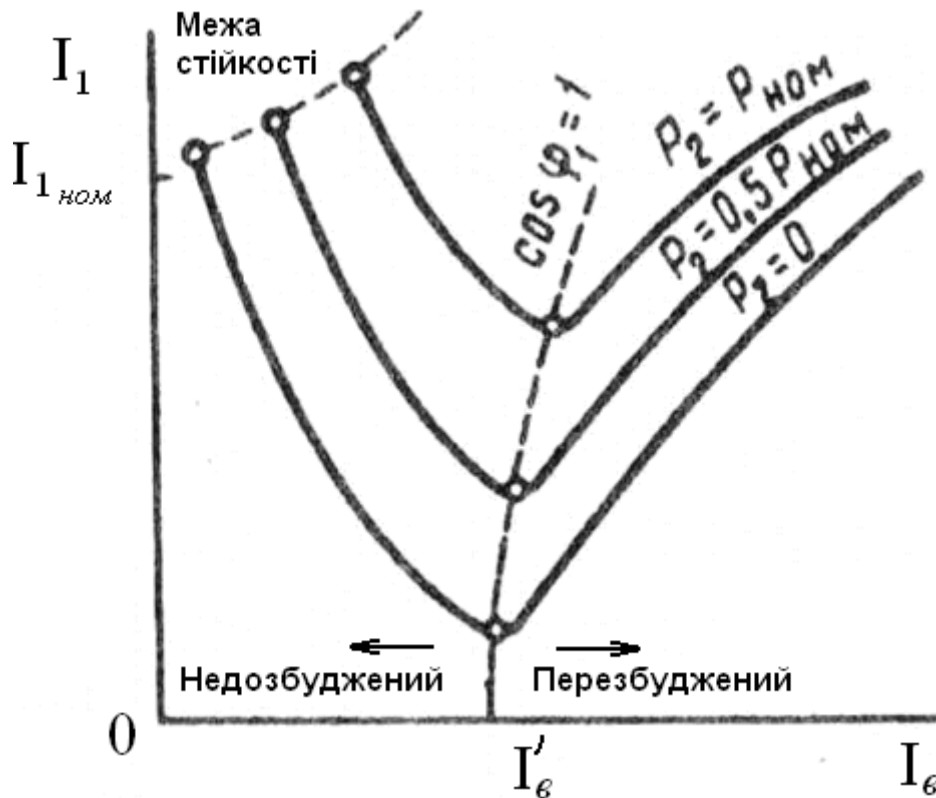


Рис. 4 – U-подібні характеристики синхронного двигуна

Основною перевагою синхронного двигуна є можливість виконувати корисну роботу і забезпечувати компенсацію реактивної потужності. Для забезпечення режиму, при якому  $\cos \varphi$  буде близький до одиниці необхідно в систему керування струмом обмотки збудження ввести зворотний зв'язок по  $\cos \varphi$ . Контроль здійснюється у вузлі живлення цеху. Струміві трансформатори знімають миттєве значення струму, і система керування виконує розрахунок відставання струму від напруги. При збільшенні контрольованого значення, відбувається збільшення струму збудження синхронного двигуна, що призводить до генерації реактивної потужності необхідної для роботи споживачів з низьким коефіцієнтом потужності. Таким чином, загальний коефіцієнт потужності цеху буде підтримуватися близьким до одиниці.

**Висновки:** Робота споживачів з низьким коефіцієнтом потужності призводить до зменшення пропускної здатності ліній електропередач та

трансформаторів, збільшення втрат активної потужності, зниження напруги мереж живлення. Статичні компенсатори не дозволяють забезпечувати плавність регулювання і мають ряд вище наведених недоліків. Використовуючи синхронні двигуни у виробництві можливо забезпечити як корисну роботу так і компенсацію реактивної потужності, а завдяки системі керування струмом обмотки збудження синхронного двигуна зі зворотним зв'язком по  $\cos \varphi$  наблизити загальний коефіцієнт потужності до одиниці.

### **Література:**

1. Железко Ю. С. Потери электроэнергии. Реактивная мощность. Качество электроэнергии: Руководство для практических расчетов — Изд-во: НЦ ЭНАС, 2009. — 210 с.
2. Кабышев А. В. Компенсация реактивной мощности в электроустановках промышленных предприятий: учебное пособие / А. В. Кабышев. — Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2012. — 234 с.
3. Глушков В. М., Грибин В. П. Компенсация реактивной мощности в электроустановках промышленных предприятий. — Москва, «Энергия» 1975 — 104 с.
4. Абрамович Б. Н., Круглый А. А. Возбуждение, регулирование и устойчивость синхронных двигателей. Ленинград «Энергоатомиздат» 1983 — 128 с.