

УДК 621.74.043.2

INFLUENCE OF REACTIVE POWER ON THE QUALITY OF OPERATION OF ENTERPRISES OF MILK PROCESSING INDUSTRY

I. Izvolenskiy, D. Semko, V. Shesterenko
National University of Food Technologies

Key words: <i>Reactive power</i> <i>Supply system</i> <i>Operation efficiency</i>	ABSTRACT The article examines the components of companies' payments for consumed electricity. The components of interest in terms of optimizing electricity overflows and payments for them are displayed. The ways of improving the efficiency of reactive power compensation for food enterprises through the use of automated control system for reactive power sources are proposed. The basic aspects of the regulatory technique for choosing power compensating devices according to voltage and configuration of individual elements of a supply-line are presented. The examples of regulators of reactive power on a modern electronic base and advantages of their application have been studied. The proposed recommendations on the introduction of compensation mode enable to optimize power consumption in an industrial plant. Such an approach can significantly increase the economic performance of all sources of reactive power and the whole enterprise.
---	---

ВПЛИВ РЕАКТИВНОЇ ПОТУЖНОСТІ НА ЯКІСТЬ РОБОТИ ПІДПРИЄМСТВ МОЛОКОПЕРЕРОБНОЇ ГАЛУЗІ

І.Є. Ізволєнський, Д.М. Семко, В.Є. Шестеренко
Національний університет харчових технологій

У статті розглянуто складові оплати підприємств за споживану електроенергію, показані компоненти, які становлять інтерес з точки зору оптимізації перетоків електричної енергії й оплати за них. Запропоновано шляхи підвищення ефективності компенсації реактивної потужності на харчових підприємствах шляхом застосування автоматизованої системи керування джерелами реактивної потужності. Наведено основні аспекти нормативної методики вибору потужності компенсуючих пристроїв залежно від напруги мережі та конфігурації окремих її елементів. Розглянуто приклади регуляторів реактивної потужності на новій електронній базі та переваги їх застосування. Розроблені рекомендації щодо впровадження системи компенсації надають можливість оптимізувати режим електроспоживання на промисловому підприємстві. Такий підхід дозволяє суттєво підвищити економічні показники всіх джерел реактивної потужності і підприємства в цілому.

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

Постановка проблеми. Підприємства молокопереробної галузі є чималим споживачем енергоресурсів, насамперед електричної енергії (ЕЕ). Так, у кожную умовну одиницю вартості масла вкладено 70—75 % вартості енергоносіїв.

Враховуючи постійне зростання вартості ЕЕ (майже квартальне), набуває актуальності питання оцінки витрат ЕЕ на виробництві.

Метою статті є розгляд складових сплати за спожиту електроенергію і розробка рекомендацій щодо шляхів та засобів зменшення сплати за ЕЕ.

Виклад основних результатів дослідження. Як показує досвід, велика кількість підприємств сплачує рахунки електромереж за принципом «рахунки треба сплачувати», не зосереджуючись на деталях. Але зараз, коли собівартість продукції відіграє чи не основну роль, а ринок жорстко відхиляє неконкурентну продукцію, стає не тільки цікавим, а й життєво необхідним розгляд складових цієї сплати.

Так, загальний рахунок підприємства за спожиту електрику складається з декількох частин [1]:

- плата за встановлену потужність;
- плата за втрати в мережах;
- плата за спожиту активну потужність;
- плата за реактивну спожиту потужність;
- плата за генеровану електричну потужність.

Два перші чинники склались для кожного підприємства «історично», залежать від географічних умов розташування та проектно-конструкторських вимог підприємства і не підлягають змінам чи корегуванням. Три інші складові ЕЕ безпосередньо залежать від планів виробництва, кількості продукції, що випускається, і раціональних витрат енергоносіїв на її виробництво. Варто розглянути окремо використання цих складових ЕЕ на підприємстві та їхній вплив на вартість продукції.

Залежно від виду устаткування, що використовується, навантаження поділяється на активне, індуктивне і ємнісне. Найчастіше споживач має справу зі змішаними активно-індуктивними навантаженнями. Відповідно, з електричної мережі маємо споживання як активної, так і реактивної енергії. Активна енергія перетворюється в корисну — механічну, теплову та інші види.

Реактивна ж енергія не пов'язана з виконанням корисної роботи, а витрачається на створення електромагнітних полів в електродвигунах, трансформаторах, зварювальних трансформаторах, дроселях і освітлювальних приладах.

Показником споживання реактивної енергії (потужності) є коефіцієнт потужності $\cos \varphi$, що показує співвідношення активної потужності P і повної потужності S , споживаній електроприймачами з мережі [2, 3, 4]:

$$\cos \varphi = \frac{P_i}{S_i} = \frac{P_i}{\sqrt{P_i^2 + Q_i^2}},$$

де P_i — спожита активна потужність; Q_i — спожита реактивна потужність; S_i — повна електрична потужність, що надійшла до споживача.

Унаслідок цього в обмотках при протіканні змінного струму індукуються реактивні е.р.с., що обумовлюють зрушення по фазі між напругою і струмом. Це зрушення по фазі зазвичай збільшується, а $\cos \varphi$ при низькому навантаженні зменшується. Наприклад, якщо $\cos \varphi$ двигунів змінного струму при повному навантаженні складає 0,75—0,80, то при низькому навантаженні він зменшиться до 0,20—0,40. Малонавантажені трансформатори також мають низький $\cos \varphi$.

В оптимальному режимі показник $\cos \varphi$ повинен прагнути до одиниці і відповідати нормативним вимогам. Коефіцієнт реактивної потужності наочно виражає реактивну потужність у частках активної.

На підприємствах молокопереробної галузі основними споживачами реактивної енергії є силові трансформатори, асинхронні двигуни, лампи денного світла, зварювальні трансформатори. Розподіл споживання реактивної потужності приблизно такий: асинхронні електродвигуни споживають 45—50 % усієї потужності; перетворювачі — 10 %; силові трансформатори — 35 %; лінії електропередач (повітряні та кабельні) — до 7 %.

Таблиця. Коефіцієнти потужності некомпенсованих споживачів.

Тип навантаження	Приблизний коефіцієнт
Силові трансформатори	0,7—0,8
Асинхронні електродвигуни до 100 кВт	0,6—0,8
Асинхронні електродвигуни 100—250 кВт	0,8—0,9
Зварювальні апарати змінного струму	0,5—0,6
Лампи денного світла	0,5—0,6

Усереднений показник якості ($\cos \varphi$) по молокопереробним підприємствам становить 0,6—0,7. За відсутності компенсації реактивної потужності споживач переплачує за споживання реактивної енергії 30—40 % загальної вартості. Відповідно при компенсації реактивної потужності струм, споживаний з мережі, знижується залежно від $\cos \varphi$ на 30—50 %, відповідно зменшується нагрів дротів і старіння ізоляції тощо.

Повна компенсація реактивної потужності навантажень значною мірою допоможе вирішити проблеми пропускної спроможності мережі, знизити втрати електроенергії в лініях, що підводять, і трансформаторах, підвищити напругу мережі й поліпшити якість електроенергії за рахунок фільтрації гармонік. Застосування конденсаторних установок дозволить споживачам отримувати при тій же повній потужності трансформатора велику корисну потужність при тому ж перерізі кабелів і номіналах трансформаторів.

У разі некомпенсованих навантажень на підприємстві виникають додаткові втрати активної потужності в усіх елементах системи електропостачання, обумовлені завантаженням їх реактивною потужністю. Так, при передачі активної (P) і реактивної (Q) потужностей через елемент мережі з опором (R) втрати активної потужності складають:

$$\Delta P = \frac{P^2 + Q^2}{U^2} \cdot R = \frac{P^2}{U^2} R + \frac{Q^2}{U^2} R = \Delta P_a + \Delta P_p.$$

Додаткові втрати активної потужності (ΔP_a), викликані протіканням реактивної потужності (Q), пропорційні її квадрату.

Виникають додаткові втрати напруги, які особливо істотні в мережах промислових підприємств. Наприклад, при передачі потужностей (P) і (Q) через елементи мережі з активним опором (R) і реактивним (X) втрати напруги складуть:

$$\Delta U = \frac{PR + QX}{U} = \frac{PR}{U} + \frac{QX}{U} = \Delta U_a + \Delta U_p,$$

де ΔU_a — втрати напруги, обумовлені активною потужністю; ΔU_p — втрати напруги, обумовлені реактивною потужністю.

Завантаження реактивною потужністю (РП) ліній електропередачі й трансформаторів зменшує їх пропускну спроможність і вимагає збільшення перерізу дротів повітряних і кабельних ліній, збільшення номінальної потужності або числа трансформаторів підстанцій.

Зменшення пропускну спроможності відбувається внаслідок зростання струму (I) за рахунок передачі реактивної потужності (Q_x), що видно з такої формули:

$$Q \text{ мережі} = Q_a + Q_x = I^2R + I^2X.$$

Кожен трансформатор є сам споживачем реактивної енергії. Реактивна енергія витрачається на створення змінного магнітного потоку, за допомогою якого енергія з однієї обмотки трансформатора передається в іншу. Тобто потреба трансформатора в реактивній енергії визначається принципом його дії. Проте реактивна енергія, споживана трансформатором, витрачається не лише на створення головного магнітного потоку, але й на створення магнітного потоку розсіяння.

РП трансформатора складається з двох частин — РП холостого ходу, незалежної від навантаження і РП, залежної від струму навантаження, обумовленого потоками розсіяння. При зменшенні навантаження трансформатора від номінального до холостого ходу РП зменшується від 100 % до 50 %.

РП асинхронного двигуна, так само як і трансформатора, змінюється в межах від реактивної потужності холостого ходу до реактивної потужності, споживаної при номінальному навантаженні, причому збільшення РП також обумовлюється потоками розсіяння, залежними від струму навантаження.

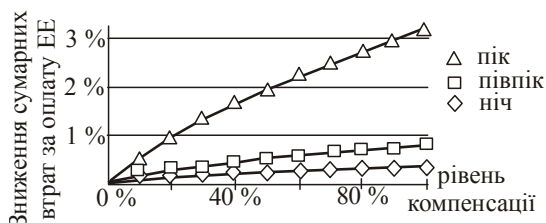


Рис. 1. Криві залежності сплати за електричну енергію

Як показали теоретичні дослідження, правильно скомпенсована РП дає вигравш у загальній сплаті за електроенергію. На графіку (рис. 1) зображено криві залежності сплати за електричну енергію від повноти компенсації РП в різні години доби [5].

З наведеного можна зробити висновок, що компенсація РП на підприємствах є необхідною і корисною, тому що призводить до зниження споживання активної потужності за рахунок зменшення втрат у лініях електропередачі, а також до зменшення сплати за повну спожиту електричну потужність.

Наступне завдання організаційно-технічне: в яких вузлах на підприємстві краще виконувати заходи з компенсації РП і які технічні прилади використати.

Передача реактивної потужності з мережі напругою 6—35 кВ в мережу до 1000 В економічно не вигідна, якщо вимагає збільшення числа цехових трансформаторів. Для електроустановок невеликої потужності, що приєднуються до мереж 6—10 кВ, економічно виправдана компенсація реактивної потужності на стороні низької напруги (до 1000 В).

Компенсація реактивної потужності електроустановок промислових підприємств здійснюється за допомогою статичних конденсаторів, що включаються паралельно електроприймачам (рис. 2).

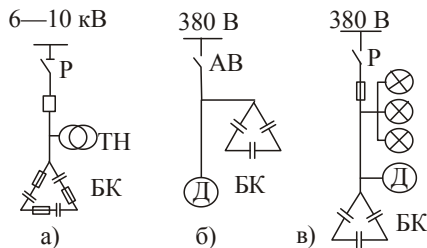


Рис. 2. Підключення статичних конденсаторів до навантаження

Розміщення конденсаторів у мережах напругою до 1000 В і вище повинно задовольняти умову найбільшого зниження втрат активної потужності від реактивних навантажень. При цьому можлива компенсація: а) централізована — з підключенням батареї на шини 6—10 кВ підстанції; б) індивідуальна — з розміщенням конденсаторів безпосередньо у струмоприймача; в) групова — з розміщенням конденсаторів у силових шафах біля шинопроводів у цехах.

Батареї конденсаторів бувають регульовані (керовані) і нерегульовані. У нерегульованих число конденсаторів незмінне, а величина реактивної потужності залежить лише від квадрата напруги. У регульованих батареях конденсаторів, залежно від режиму, автоматично або вручну змінюється число включених конденсаторів.

Пропонується такий алгоритм аналізу, оцінки загального об'єму споживання РП за місяць: визначаємо коефіцієнт реактивної потужності за формулою:

$$\operatorname{tg} \varphi_i = Q_i / P_i .$$

Якщо $\operatorname{tg} \varphi$ не перевищує 0,24 — робимо висновок про необхідність використання засобів (конденсаторних установок — КУ) з плавним дискретним регулюванням. Величина ємності КУ вибирається з аналізу добового графіка навантаження підприємства. Прийнято вважати, що величина одного ступеня не повинна перевищувати 10 % загальної ємності КУ. За необхідності найменший ступінь можна взяти у розмірі 5 % від загальної ємності КУ чи менше, хоча це потребує економічного обґрунтування. Встановлюється КУ у безпосередній

близькості до силового трансформатора, щоб своєю дією охопити найбільшу кількість споживачів.

Якщо $\text{tg } \varphi$ перевищує 0,24 — робимо попередній висновок про необхідність застосування індивідуальної компенсації. Для цього знаходимо найбільш потужні навантаження й оцінюємо графік їх роботи. На молокопереробних підприємствах — це асинхронні двигуни компресорних станцій. На підприємствах потужність цих двигунів знаходиться у межах від 55 до 125 кВт. Для таких навантажень бажано виконувати часткову компенсацію у межах 60—70 % від потужності двигуна.

Під'єднання компенсуючих конденсаторів виконується безпосередньо на шини АД через запобіжний автомат. Таке підключення полегшує пуск АД, зменшує пускові струми, стабілізує температурний режим двигуна і таким чином подовжує термін його роботи. Варто зауважити, що застосування індивідуальної компенсації потужних АД на підприємстві не виключає одночасного застосування автоматичних КУ.

Усі конденсаторні установки мають однакову функціональну схему, а часто й принципову, і відрізняються тільки типом, потужністю конденсаторів і типом регулятора. Загальна електрична схема конденсаторної установки наведена на рис. 3.

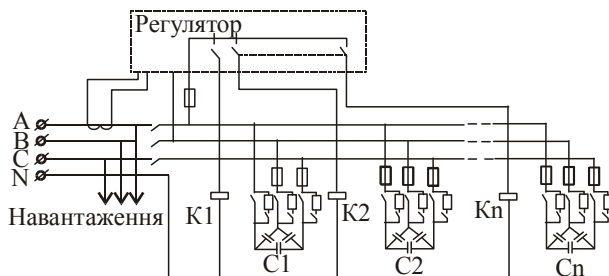


Рис. 3. Принципова схема автоматизованої конденсаторної установки

Розвиток сучасної електронної бази дозволив створити інтелектуальні регулятори, які взяли на себе функції прийняття оптимальних рішень щодо компенсації реактивної потужності конкретного споживача. Прикладом таких приладів можуть стати регулятори італійської фірми LOVATO та чеської фірми NOVAR. Наведені прилади, крім загальних функцій вимірювання $\cos \varphi$ та підключення конденсаторів, виконують вимірювання й аналіз компенсуючих конденсаторів, що є у наявності, порівнюють їх параметри з необхідними для регулювання і виробляють сигнал керування на першочергове підключення. Застосування такого алгоритму значно скорочує час виконання умов компенсації і подовжує термін використання контакторів конденсаторних установок.

Висновки

Впровадження компенсації реактивної потужності й автоматичних конденсаторних установок дозволить знизити вживання активної потужності за рахунок зменшення втрат у лініях електропередачі, знизити оплату за спожиту повну потужність, вивільнити додаткові потужності за рахунок зниження струму, споживаного від трансформатора живлення.

З технічної точки зору можна досягти таких переваг:

- забезпечити живлення навантаження по кабелю з меншим перетином (не допускаючи перегріву ізоляції);
- за рахунок часткового струмового розвантаження силових трансформаторів і кабелів підключити живлення додаткове навантаження;
- дозволяє уникнути глибокого просідання напруги на лініях електропостачання віддалених споживачів (водозабірні свердловини, насосні станції);
- ефективно використовувати потужність автономних дизель-генераторів.

Література

1. *Методика* розрахунків плати за перетоки реактивної електроенергії між енергопостачальною організацією та її споживачами. — Київ: 1997. — 36 с.
2. *Глушков В.М.* Компенсация реактивной мощности в электроустановках промышленных предприятий / В.М. Глушков, В.П. Грибин. — Москва: Энергия, 1975. — 104 с.
3. *Мельников Н.А.* Реактивная мощность в электрических сетях / Н.А. Мельников. — Москва: Энергия, 1975. — 128 с.
4. *Б.А. Константинов* Компенсация реактивной мощности / Б.А. Константинов, Г.З. Зайцев. — Ленинград: Энергия, 1976. — 104 с.
5. *О. Кухта* К вопросу об эффективности компенсации реактивной мощности / О. Кухта, Е. Симонова // Энергетическая политика Украины. — 2004. — № 9. — С. 90—93.

ВЛИЯНИЕ РЕАКТИВНОЙ МОЩНОСТИ НА КАЧЕСТВО РАБОТЫ КОМПАНИЙ МОЛОКОПЕРЕРАБАТЫВАЮЩЕЙ ОТРАСЛИ

И.Е. Изволенський, Д.Н. Семко, В.Е. Шестеренко

Национальный университет пищевых технологий

В статье рассмотрены составляющие оплаты предприятий за потребляемую электроэнергию, показаны компоненты, представляющие интерес с точки зрения оптимизации перетоков электрической энергии и оплаты за них. Предложены пути повышения эффективности компенсации реактивной мощности на пищевых предприятиях путем применения автоматизированной системы управления источниками реактивной мощности. Приведены основные аспекты нормативной методики выбора мощности компенсирующих устройств в зависимости от напряжения сети и конфигурации отдельных ее элементов. Приведены примеры регуляторов реактивной мощности на современной электронной базе и преимущества их использования. Данные рекомендации по внедрению системы компенсации позволяют оптимизировать режим электропотребления на промышленном предприятии. Такой подход предоставляет возможность существенно повысить экономические показатели всех источников реактивной мощности и предприятия в целом.

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