

агротехнологічного університету. 2023. No 13(1). 8 с. <https://doi.org/10.31388/sbtsatu.v13i1.388>

3. Самойленко Є. Г. Основи проектування гідроенергетичних вузлів : підручник. Запоріжжя, ЗДІА, 2011. 388 с.

4. Ghadimi A., Razavi F., Mohammadian B. Determining optimum location and capacity for micro hydropower plants in Lorestan province in Iran. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 2011. Vol. 15(8). P. 4125–4131. DOI:10.1016/j.rser.2011.07.003

УДК 621.316.929

## КОМПЕНСУЮЧІ ПРИСТРОЇ ДЛЯ ЗМЕНШЕННЯ ВТРАТ ПОТУЖНОСТІ В ЕЛЕКТРОМЕРЕЖІ

Попова І. О., к.т.н.,

Чаусов С. В., к.т.н.,

*Таврійська державна агротехнічний університет імені  
Дмитра Моторного, м. Запоріжжя, Україна*

**Постановка проблеми.** В українській промисловості і агропромисловому комплексі найбільш розповсюдженими споживачами електричної енергії є електричні машини (асинхронні двигуни, трансформатори, зварювальні апарати, індукційні печі та інші) з постійним нелінійним і різко змінним навантаженням. Найбільш часто маємо діло із змішаним активно-індуктивним навантаженням, в яких реактивна потужність витрачається на створення магнітного поля. Тобто з мережі споживається не тільки активна, а і реактивна потужність., що викликає дисбаланс у електромережі.

Реактивна потужність в електромережі погіршує її роботу, підвищує втрати активної потужності в мережах, збільшує падіння напруги і відхилення напруги на затискачах електроспоживачів. Тому компенсація реактивної потужності необхідна на всіх підприємствах для покращення електропостачання і підвищення енергоефективності всіх споживачів [2].

**Аналіз останніх досліджень.** Показником споживання реактивної потужності є коефіцієнт потужності  $\cos\varphi$ , який визначається як

$$\cos j = \frac{P}{S} = \frac{P}{\sqrt{P^2 + Q^2}}, \quad (1)$$

де  $P$ ,  $Q$ ,  $S$  – відповідно, активна, реактивна і повна потужності електричних споживачів, Вт, VAR, VA.

При низьких коефіцієнтах потужності споживачів, для забезпечення передачі їм заданої активної потужності, треба вкладати додаткові витрати на спорудження більш потужних електростанцій, збільшувати пропускну потужність мереж і трансформаторів та внаслідок цього нести додаткові експлуатаційні витрати.

Передача реактивної потужності по мережі призводить до додаткових втрат напруги в них. Розмір втрат активної потужності  $\Delta P$  в мережі, в залежності від коефіцієнта потужності  $\cos\varphi$ , активного опору і напруги мережі, визначається

$$\Delta P = \frac{P^2}{U_1^2 \times \cos^2 \varphi} \times r, \quad (2)$$

де  $P$  – сумарна активна потужність споживачів мережі, Вт;

$U_1$  – напруга на початку лінії електропередачі мережі, В;

$r$  – активний опір лінії електропередачі, Ом;

$\cos\varphi$  – коефіцієнт потужності споживачів мережі.

З рівняння (2) слідує, що втрати потужності прямо пропорційні сумарній активній потужності споживачів, приєднаних до електричної мережі, і зворотно залежать від добутку квадрата напруги лінії і квадрата коефіцієнта потужності  $\cos\varphi$  навантаження, таким чином, для зменшення втрат потужності необхідно прагнути до підвищення коефіцієнта потужності, оскільки низький  $\cos\varphi$  несе: високі втрати активної потужності в мережі, за рахунок протікання реактивної потужності в мережі; великі перепади напруги в мережах; необхідність збільшення габаритної потужності генераторів, перерізів кабелів, потужностей силових трансформаторів [1]. З цього слід, що компенсація реактивної потужності край необхідна.

*Основна частина.* В основу принципу компенсації реактивної потужності покладене явище резонансу струмів між ділянками з індуктивними та ємнісними опорами: коли за рахунок досягнення резонансних умов безпосередньо біля навантаження, коливання електричної енергії здійснюється в контурі «навантаження - компенсаційна установка», тим самим істотно зменшується «перекачування» енергії лінії електропередачі, не виключаючи їх перегрів, і, отже, перевитрати електричної енергії. В цьому разі результуюча реактивна енергія, споживана навантаженнями дорівнює

$$Q_p = Q_L - Q_k. \quad (3)$$

де  $Q_L$  – реактивна потужність, що споживається індуктивними навантаженнями (асинхронними двигунами), ВАР;

$Q_k$  – реактивна потужність, що виробляється компенсуючим пристроєм, ВАР.

Таким чином, реактивна потужність, що споживається від електростанції, зменшується, тобто компенсується на величину потужності, виробленої пристроєм компенсації реактивної потужності. На практиці для компенсації реактивної потужності використовують

різні пристрої: конденсаторні батареї, синхронні компенсатори, шунтуючі реактори, статичні тиристорні компенсатори, фільтри вищих гармонік.

*Конденсаторні батареї* видають реактивну потужність в електричній системі. Оскільки знижуються перетоки потужності в самій мережі, це призводить до зменшення втрат активної потужності, зниженню втрат напруги, знижується навантаження на лінії електропередачі і трансформатори.

*Синхронний компенсатор* являє собою синхронний двигун полегшеної конструкції, призначений для роботи на холостому ході. При роботі в режимі перезбудження він генерує реактивну потужність.

*Шунтуючі реактори*, що споживають реактивну потужність, компенсують надлишок реактивної потужності, знижують її перетікання і зменшують струм у лініях і трансформаторах, внаслідок, знижують активні втрати потужності.

*Статичні тиристорні компенсатори* як видають, так і споживають реактивну потужність, але вони дозволяють плавно і швидко регулювати реактивну енергію. Статичні тиристорні компенсатори в електричних мережах призначені для підвищення пропускної спроможності і стійкості лінії електропередачі, стабілізації напруги у вузлах навантаження, зменшення втрат електроенергії і підвищення її якості.

При виборі пристроїв компенсації реактивної потужності слід враховувати їхню складність ремонту і експлуатації, вартість та ефективність. Наприклад, статичні тиристорні компенсатори мають складну конструкцію і високу вартість. Синхронні компенсатори для ефективного роботи повинні встановлюватися якомога ближче до споживача, щоб не навантажувати мережу реактивними струмами. Синхронні компенсатори встановлюють на напругу більше 6-10 кВ районних підстанцій. Фільтрокомпенсуючі пристрої дуже коштовні, тому їх раціонально застосовувати тільки для стаціонарних навантажень. Недоліком шунтуючих реакторів є те, що вони викликають падіння напруги мережі.

Найбільш конструктивно простими і економічними пристроями є конденсаторні батареї. Найбільш широко використовують статичні конденсатори на напругу до 1000 В і 6-10 кВ. Вони мають тривалий строк служби, мають можливість підключатися безпосередньо до шин як низької, так і високої напруги, мають малі власні втрати активної потужності. Статичні батареї конденсаторів прості в експлуатації, мають порівняну легкість операцій при монтажі, можлива як їх як внутрішні так і зовнішня установка, мають відносно невелику вартість; надійні, оскільки один пошкоджений конденсатор не може впливати на роботу батареї статичних конденсаторів; безпечні в експлуатації; мають можливість використання як ступеневого, так і плавного регулювання потужності конденсаторної батареї з метою

попередження загрозливого підвищення напруги; є фільтрами вищих гармонік струмів.

Батарея статичних конденсаторів (БСК) складається із конденсаторної батареї, струмообмежуючого реактора, шафи комутації і захисту БСК з вимірюючими трансформаторами струмів. Основний елемент БСК – косинусні конденсатори для кожної фази [2]. Конструкція конденсаторної батареї представляє собою збірку з блоків силових високовольтних конденсаторів, розміщених у зварених металевих рамах. Блоки з'єднуються між собою паралельно і послідовно, встановлюються вертикально у декількох рівнях на опорних ізоляторах. Трифазна батарея містить три однофазні конструкції, які з'єднуються у зірку або трикутник в залежності від режиму роботи нейтралі. Системи компенсації бувають *одиночні* – там де потрібна компенсація потужних (більш 20 кВт) споживачів або споживана потужність постійна впродовж довгого часу; *групові* – у випадку компенсації індуктивних навантажень, підключених до одного розподільчого пристрою або розташованих рядом; *централізовані* – для підприємств зі змінною потребою реактивної потужності. В цьому випадку конденсаторна батарея оздоблюється спеціальним контролером, комутуючою і захисною апаратурою. Перевагою централізованої компенсації є відповідність включеної потужності конденсаторів в конкретний момент часу без перекомпенсації або недокомпенсації. При виборі конденсаторної установки потрібну потужність визначають

$$Q_C = P \times (tgj_1 - tgj_2), \quad (3)$$

де  $tgj_1 = \frac{Q_1}{P_1}$  – співвідношення активної та реактивної потужностей споживачів до установки БСК;

$$tgj_2 = \frac{Q_2}{P_2} \quad \text{– бажане або що задається енергосистемою}$$

співвідношення потужностей споживачів після установки БСК.

На практиці коефіцієнт потужності після компенсації знаходиться в межах від 0,93 до 0,99.

*Фільтри реактивної потужності* або вищих гармонік є доволі перспективним способом компенсації реактивної потужності. Фільтри призначені для динамічної компенсації реактивної потужності та зниження гармонійних спотворень в електричних мережах. Принцип роботи таких фільтрів полягає у генерації компенсуючих струмів ємнісного характеру, що компенсують споживання реактивної потужності нелінійними навантаженнями. Застосування фільтрів для компенсації реактивної потужності має низку переваг: фільтри здатні швидко реагувати на зміни споживання реактивної потужності та гармонійних спотворень; забезпечують точну та надійну компенсацію, що дозволяє покращити якість електричної енергії; фільтри мають

високу енергоефективність та можуть знизити втрати електроенергії в системі; вони дозволяють зменшити гармонічні спотворення, що сприяє стабільнішій роботі електричного обладнання. Фільтри широко використовуються у різних галузях промисловості та електроенергетики [2, 3]. Фільтри знаходять застосування в електроприводах, системах електропостачання лікарень (магніторезонансні томографи) та лабораторій, а також у електричних мережах з високим вмістом нелінійних навантажень (для подачі живлення для комп'ютерних центрів, де висока ступінь навантаження та гармонійні спотворення вимагають активної компенсації реактивної потужності. Застосування таких фільтрів для компенсації реактивної потужності є ефективним вирішенням проблеми, пов'язаної з реактивною потужністю електроенергетичних системах

Сучасним засобом компенсації реактивної потужності є застосування статичних компенсаторів реактивної потужності (Static Var Compensator, SVC). SVC – це електронний пристрій, призначений для керування реактивною потужністю в електричній мережі. Пристрій складається з силового трансформатора, керованого тиристорним перетворювачем, і фільтрів, які запобігають попаданню високочастотних перешкод у мережу. SVC також здатний згладжувати перехідні процеси та пригнічувати коливання напруги, що важливо для систем з високою часткою відновлюваної енергії, як вітряні і сонячні станції [4].

Системи компенсації бувають наступних видів: *одиночна* – там де потрібна компенсація потужних (більш 20 кВт); *групова* – у випадку компенсації індуктивних навантажень, підключених до одного розподільчого пристрою; *централізована* – для підприємств зі змінною потребою реактивної потужності.

**Висновки.** Використання активних фільтрів, статичних компенсаторів реактивної потужності та розумних мереж дозволяє компенсувати реактивну потужність більш точно та ефективно, що сприяє зниженню втрат енергії та підвищенню енергоефективності системи. Взагалі, пристрої компенсації дозволяють зменшити втрати активної потужності в мережі, а споживачам електричної енергії дозволяють зменшити витрати реактивної потужності до 30-40 % і зменшити оплату за електроенергію.

#### **Список використаних джерел**

1. Попова І. О., Курчанов А. А. Система компенсації реактивної потужності в сільських мережах як засіб скорочення витрат. *Сучасний стан та перспективи розвитку електротехнічних систем: III Всеукр. наук.-практ. інтернет-конф. пам'яті В.В. Овчарова: зб. тез доповідей.* Мелітополь, 2021. С. 34-35.

2. Dixon J., Moran L., Rodriguez J., Domke R. Reactive Power Compensation Technologies: State-of-the-Art. *Review IEEE Proc.* 2005. P. 2144 – 2164.

3. Akagi H. Modern Active Filters and Traditional Passive Filters / *Bulletin of the Polish Academy of Sciences Technical Sciences*. 2006. Vol. 54, No. 3.

4. Лобода Ю. В.: Система керування статичними компенсаторами реактивної потужності в несиметричних несинусоїдних режимах розподільних мереж: дис...д-ра філософії, спец. 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка». Вінниця, 2020. 156 с.

УДК 620.95

## **ВИВЧЕННЯ МОЖЛИВОСТЕЙ ВПРОВАДЖЕННЯ ЕНЕРГОЗБЕРІГАЮЧИХ ТЕХНОЛОГІЙ У РОБОТУ БІОГАЗОВИХ УСТАНОВОК ДЛЯ ПЕРЕРОБКИ ОРГАНІЧНИХ ВІДХОДІВ**

Скляр Р. В., к.т.н.,

Акулов В. Д., аспірант

*Таврійський державний агротехнологічний університет імені  
Дмитра Моторного, м. Запоріжжя, Україна*

**Анотація.** У статті проаналізовано основні енергозберігаючі технології, що застосовуються в біогазових установках для переробки органічних відходів. Наведено кількісні орієнтири енергозаощадження для ключових рішень (рекуперація тепла, оптимізоване перемішування, енергоефективні газоочищення, цифровий контроль) та запропоновано пріоритети впровадження для різних типів господарств.

**Основна частина.** Сучасний розвиток агропромислового комплексу вимагає переходу до інноваційних методів управління органічними відходами та впровадження технологій, які забезпечують енергетичну ефективність і екологічну сталість. Біогазові установки, що здійснюють анаеробну переробку гною, пташиного посліду, поживних решток та інших органічних субстратів, стають фундаментальним елементом циркулярної біоекономіки [1]. З огляду на зростання вартості енергоресурсів, необхідність скорочення викидів парникових газів та прагнення аграрних підприємств до енергонезалежності, впровадження енергозберігаючих рішень у біогазові комплекси є одним із ключових напрямів технологічного розвитку.

Органічні відходи аграрного походження становлять значний потенціал для виробництва біогазу, проте їх фізико-хімічні властивості, зокрема висока вологість, низька буферність або підвищена