

УДК 621.314

*Любов Коваленко, кандидат технічних наук, доцент,  
доцент кафедри електроенергетики та електротехнологій,  
Таврійський державний агротехнологічний університет  
імені Дмитра Моторного,  
м. Запоріжжя, Україна*

## **ПІДВИЩЕННЯ ПРОПУСКНОЇ СПРОМОЖНОСТІ ЕЛЕКТРИЧНИХ МЕРЕЖ ШЛЯХОМ ВПРОВАДЖЕННЯ ЗАСОБІВ КОМПЕНСАЦІЇ РЕАКТИВНОЇ ПОТУЖНОСТІ**

**Анотація.** Основними споживачами реактивної потужності є асинхронні двигуни, індукційні печі, зварювальні трансформатори, випрямлячі тощо, а також силові трансформатори та лінії електропередавання. Передавання реактивної потужності від генераторів електричних станцій до споживачів спричиняє додаткові витрати активної потужності в мережі і додатково її завантажує. Підвищення пропускної спроможності протяжних ліній електропередавання можливе шляхом застосування пристроїв поздовжньої компенсації реактивної потужності. Для ефективного функціонування електричної мережі має складатися оптимальний баланс активної та реактивної потужності. Одними з найпоширеніших керованих пристроїв поздовжньої компенсації, що забезпечують можливість регулювання потоку потужності в лініях електропередавання, є тиристорні пристрої поздовжньої компенсації.

**Ключові слова:** електрична мережа, активна та реактивна потужність, поздовжня компенсація, регулювання потоку реактивної потужності.

**Abstract.** The main consumers of reactive power include asynchronous motors, induction furnaces, welding transformers, rectifiers, and also power transformers and transmission lines. The transmission of reactive power from power plant generators to consumers causes additional active power losses in the network and increases its load. The transmission capacity of long-distance power lines can be increased by using longitudinal reactive power compensation devices. For the efficient operation of the electric power network, an optimal balance of active and reactive power must be maintained. One of the most common types of controllable longitudinal compensation devices that enable power flow regulation in transmission lines are thyristor-controlled series compensation devices.

**Keywords:** electric power network, active and reactive power, longitudinal compensation, reactive power flow.

В Україні, як і в більшості країн світу, електрична енергія виробляється, передається, розподіляється і споживається в основному на змінному струмі. При цьому, як відомо, на змінному струмі крім активного опору, необхідно також враховувати індуктивні та ємнісні опори, які називають реактивними.

Електроприймачі змінного струму є споживачами активної і реактивної потужності. Споживачами суттєвих обсягів реактивної потужності є приймачі електроенергії, які за принципом своєї дії використовують змінне магнітне поле: асинхронні двигуни, індукційні печі, зварювальні трансформатори, випрямлячі тощо, а також окремі ланки електричної мережі – силові трансформатори, лінії електропередавання, реактори та інше обладнання.

За оцінкою ряду джерел близько 65...70% всієї реактивної потужності, пов'язаної з утворенням змінних магнітних полів, споживають асинхронні електричні двигуни і близько 25% – силові трансформатори (автотрансформатори) [1, 2].

Споживання активної і реактивної потужності (електроенергії) завжди супроводжується відповідними втратами. У масштабі електричної системи втратами вважаються активна та реактивна потужність, що втрачаються в елементах і електрообладнанні електричної мережі (повітряних і кабельних лініях, силових трансформаторах, реакторах та в іншому обладнанні знижувальних підстанцій) [1, 2].

Слід відмітити, що істотну різницю у співвідношенні споживання і втрат активної та реактивної потужності. Основна частина активної потужності споживається електроприймачами і лише незначна її частина (близько 10%) втрачається в елементах мережі. Реактивна ж потужність в елементах мережі та електрообладнанні зазвичай порівнянна за величиною з активною потужністю, що споживається електроприймачами [3].

Активна потужність виробляється (генерується) лише генераторами електричних станцій. Реактивна потужність виробляється генераторами електростанцій (синхронними двигунами станцій у режимі перезбудження), а

також додатковими джерелами: ємністю повітряних і кабельних ліній, синхронними компенсаторами, батареями конденсаторів, тощо [3].

Передача реактивної потужності від генераторів електричних станцій електричною мережею до споживачів спричиняє в мережі додаткові витрати активної потужності і додатково навантажує елементи електричної мережі, знижуючи їхню загальну пропускну здатність. Тому, як правило, збільшення видачі реактивної потужності генераторами електричних станцій з метою доставки її споживачам недоцільне, а найбільшого економічного ефекту можна досягти в разі розміщення пристроїв компенсації реактивної потужності поблизу електроприймачів, які споживають у значних обсягах реактивну потужність [1-3].

Наявність в розподільній електричній мережі реактивної потужності знижує якість електроенергії, призводить до збільшення плати за електроенергію, додаткових втрат і перегріву проводів, перевантаження підстанцій, необхідності завищення потужності силових трансформаторів та перерізу струмопровідних жил проводів та кабелів, просідання напруги в електричній мережі [3, 4].

Під час дослідження та розроблення балансів потужностей в електричній мережі має складатися оптимальний баланс активної та реактивної потужності мережі, тобто щоб їхнє споживання, включно з втратами в мережі, було забезпечено генерацією активної та реактивної потужності на електростанціях системи, передачею із сусідніх енергосистем та іншими джерелами реактивної потужності, в тому числі і пристроями компенсації. При цьому має бути забезпечений певний резерв потужності на випадок роботи в умовах післяаварійного або ремонтного режимів.

Під час оцінки реактивної потужності, що споживається, застосовується коефіцієнт потужності  $\cos \phi$  – відношення активної потужності  $P$  до повної  $S$ .

Коефіцієнт потужності є характеристикою, що недостатньо повно характеризує споживання реактивної потужності, так як при значеннях  $\cos \phi$ , що наближаються до одиниці, споживання реактивної потужності є досить високим.

Найбільш повним і об'єктивним показником, що характеризує величину реактивної потужності, що споживається в мережі, є коефіцієнт реактивної потужності  $\text{tg } \phi$  – відношення реактивної потужності  $Q$  до активної  $P$ .

Тривалий час не приділялося належної уваги питанням компенсації реактивної потужності в електричних розподільних мережах сільських районів напругою 10 (6) та 0,38 кВ. Це пояснювалося тим, що комунально-побутове навантаження носило переважно активний характер (лампи розжарювання, електроплити, електронагрівачі різних типів і призначення та ін.). На даний час характер побутового та комунально-побутового навантаження суттєво змінився, в тому числі і в сільських районах, внаслідок широкого використання у побуті таких електроприймачів як холодильники та морозильні камери, мікрохвильові печі, системи кондиціонування повітря, посудомийних машин, персональних комп'ютерів та ноутбуків, принтерів, побутових насосних станцій для водозабезпечення та систем опалення, лінійних та компактних люмінесцентних ламп, тощо. Усі ці пристрої поряд із споживанням активної потужності також споживають і генерують досить значну кількість реактивної потужності [2, 3].

На даний час, із врахуванням факторів, що приведені вище, значну увагу приділяють проблематиці підвищення пропускної спроможності ліній електропередавання усіх класів напруги. Це пояснюється зростанням рівня навантаження, зростанням перетікання активної та реактивної потужностей лініями та проблемами, що пов'язані зі спорудженням нових ліній і зміною конфігурації мереж.

Низький  $\cos \phi$  веде до надмірного завантаження елементів ліній електропередавання та знижувальних трансформаторних підстанцій. У зв'язку із цим необхідно, або збільшувати кількість силових трансформаторів, або збільшувати їх потужність. При цьому підвищене завантаження електричних мереж реактивним струмом веде до зниження рівня напруги в мережі, що впливає на якість (показники якості) електричної енергії. Різкі тимчасові короткочасні зміни рівня реактивної потужності в мережі також ведуть до

коливання рівня напруги в мережі, що також впливає на якість електричної енергії, що відпускається споживачам.

Однією із особливостей сільських розподільних електричних мереж України є значна протяжність фідерів напругою 10 та 6 кВ – часто декілька десятків кілометрів. При тому, що в Європейських країнах фідери аналогічних класів напруги мають протяжність в декілька кілометрів.

Одним із шляхів вирішення завдання підвищення пропускної спроможності протяжних ліній електропередавання є застосування пристроїв поздовжньої компенсації реактивної потужності (ППКРП). Ці пристрої відомі досить давно. Вони не набули широкого застосування в Україні (в деяких випадках були навіть із часом демонтовані на підстанціях напругою 35/10 кВ), але досить широко застосовуються у світовій практиці (США, Швеція, Китай та ін.) [2].

Компенсація реактивної потужності може бути поздовжньою та поперечною. В лініях електропередавання застосовуються переважно поздовжня компенсація. Відомі два шляхи виконання поздовжньої ємнісної компенсації – зосереджена (централізована) компенсація та розподілена. У першому випадку ППКРП споруджується тільки в одній точці будь-якої лінії, частіше за все на трансформаторних підстанціях. У другому випадку ППКРП споруджують у двох або більше точках однієї й тієї самої лінії електропередавання [1, 4].

Одним із недоліків, що притаманний зосередженій компенсації, є підвищення напруги на затискачах самого ППКРП, що змушує застосовувати шунтувальні реактори. Це призводить до ускладнення схеми ППКРП і збільшення його вартості. Однак, якщо розподілити ємнісний опір уздовж лінії електропередавання, можна домогтися зниження напруги на виводах ППКРП, і встановлення реакторів у деяких випадках може не знадобитися.

Одними з найпоширеніших керованих пристроїв поздовжньої компенсації, що забезпечують можливість регулювання потоку потужності в лініях електропередавання, є тиристорні пристрої поздовжньої компенсації (ТППК) [5], що на даний час переважно застосовуються в мережах високої і надвисокої

напруги і дуже рідко застосовуються в мережах середньої напруги. Ці пристрої працюють на основі схеми, що передбачає регулювання струму в реакторі за допомогою ввімкнених зустрічно-паралельно тиристорів V. Спрощену схему заміщення ділянки лінії електропередавання з ППКРП з тиристорним керуванням зображено на рис. 1.

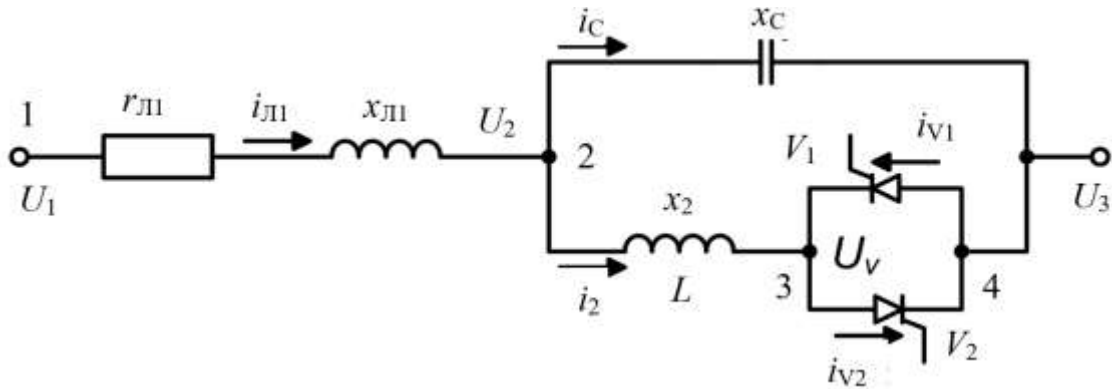


Рисунок 1 – Схема заміщення ділянки лінії електропередавання з ППКРП

У подальшому, для вибору параметрів обладнання ППКРП і отримання закону регулювання необхідно дослідити і отримати функціональну залежність між еквівалентним опором ППКРП та кутом відкривання тиристорів  $\alpha$  для ефективного регулювання балансу потужностей в мережі.

Слід зауважити, що застосування більш дешевих і простих за конструкцією ППКРП без регулювання створює труднощі із забезпечення допустимого режиму напруги в електричній мережі при малих значення активної потужності, що передається по ній. Застосування ж керованих ППКРП забезпечує зростання ступеня компенсації із зростанням потужності, що передається мережею і, відповідно, зменшується при зменшенні рівня потужності, що передається.

*Висновки.* Передача реактивної потужності від генераторів електричних станцій електричною мережею до споживачів спричиняє в мережі додаткові витрати активної потужності у вигляді втрат і додатково завантажує елементи електричної мережі, знижуючи їхню загальну пропускну здатність. Найбільшого економічного ефекту можна досягти в разі розміщення пристроїв компенсації реактивної потужності поблизу електроприймачів.

Одними з найпоширеніших керованих пристроїв поздовжньої компенсації, що забезпечують можливість регулювання потоку потужності в лініях електропередавання, є тиристорні пристрої поздовжньої компенсації.

Пропонується в подальших дослідженнях звернути увагу на вибір параметрів обладнання пристроїв поздовжньої компенсації і отримання закону регулювання, необхідно дослідити і отримати функціональну залежність між еквівалентним опором пристрою компенсації та кутом відкриття тиристорів  $\alpha$  для ефективного регулювання балансу потужностей в мережі.

### Список використаних джерел

1. Балюта С. М., Изволенський І. Є., Шестеренко В. Є. Компенсація реактивної потужності асинхронних двигунів. *Харчова промисловість. Процеси та обладнання*. 2013. № 14. С. 155-158.
2. Говоров П. П., Говоров В. П. Компенсація реактивної потужності в системах електропостачання та освітлення міст. *Наукові праці ДонНТУ. Серія «Електротехніка і енергетика»*. 2013. № 1(14). С. 71-76.
3. Лежнюк П. Д., Грицюк Ю. В., Пірняк В. М. Регулювання реактивної потужності й напруги в електричних мережах як допоміжна послуга. *Наукові праці Вінницького національного технічного університету. Енергетика та електротехніка*. 2012. № 2. С. 1-6.
4. Ягуп В. Г., Ягуп К. В. Пошукова оптимізація режиму повної компенсації реактивної потужності в електричній мережі. *Технічна електродинаміка*. 2023. № 5. С. 55-63.
5. Сучасні підходи до компенсації реактивної потужності в системах тягового електропостачання змінного струму / Шпілевий М. О. та ін. *Вісник Вінницького політехнічного інституту*. 2024. № 6(177). С. 34-44.