

## АВТОМАТИЗОВАНА СИСТЕМА КЕРУВАННЯ ГРУПОВОЮ КОМПЕНСАЦІЄЮ РЕАКТИВНОЇ ПОТУЖНОСТІ В РОЗПОДІЛЬЧИХ МЕРЕЖАХ

Вінницький національний технічний університет

### *Анотація*

*У роботі розглядаються питання оптимізації перетікань реактивної енергії розподільними електричними мережами за комплексним критерієм, що враховує витрати на експлуатацію джерел реактивної потужності, втрати та якість електроенергії.*

**Ключові слова:** розподільні електричні мережі, втрати електроенергії, перетікання реактивної енергії, оптимізація, автоматичне керування, джерела реактивної потужності.

## AUTOMATED SYSTEM OF CONTROLLING GROUP EFFICIENCY POWER IN DISTRIBUTION NETWORKS

### *Abstract*

*The paper considers the issues of optimization of reactive energy flows by distribution electric networks on the basis of a complex criterion, which takes into account the expenses for the operation of sources of reactive power, losses and the quality of electric power.*

**Keywords:** power distribution networks, power losses, reactive power flows, optimization, automatic control, reactive power sources.

### Вступ

В сучасних розподільних електричних мережах (РЕМ), для забезпечення безперервного живлення споживачів, планування та реалізація заходів з підвищення ефективності функціонування мереж є складним завданням. Вирішення даної проблеми у сучасних умовах не можливе без застосування засобів автоматизації керування.

З аналізу заходів зі зменшення втрат електроенергії та підвищення її якості у розподільних електричних мережах (РЕМ) відомо, що одним з найбільш ефективних є встановлення додаткових джерел реактивної потужності (ДРП) та керування ними. Останні, зменшуючи струмові навантаження ЛЕП та силових трансформаторів, забезпечують зниження втрат електроенергії та підвищення якості напруги.

Виходячи з наведеного, розроблення заходів з компенсації реактивної потужності у сучасних умовах потребує вдосконалення існуючих та розроблення нових методів оптимізації й розрахункових алгоритмів, які б враховували не лише особливості передачі електроенергії розподільними мережами, а й експлуатаційні особливості сучасних ДРП. Підвищення рівня автоматизації розподільних мереж, розроблення відповідних автоматизованих систем, а отже, засобів ідентифікації законів керування локальними системами автоматичного керування ДРП є актуальними завданнями в Україні й світі.

Метою роботи є зменшення втрат електроенергії у розподільних електромережах шляхом вдосконалення методів та засобів автоматизації керування комплексом джерел реактивної потужності.

### Результати дослідження

Для забезпечення рентабельності впровадження додаткових ДРП у розподільних електричних мережах особливо актуальними виявляються питання оптимізації їх розміщення, визначення констук-

тивних параметрів, а також оперативного (автоматичного) керування режимами їх роботи для отримання максимального прибутку від зменшення втрат електроенергії та підвищення якості напруги [1]. Для ДРП, що працюють у межах балансової належності споживачів (абонентів), вимоги чинних нормативних документів обмежують можливості регулювання перетікань реактивної потужності в РЕМ на рівні компенсації власного споживання. Це робить нерентабельною участь таких ДРП у зменшенні втрат в електромережах шляхом групової компенсації реактивного споживання, а також у добовому регулюванні напруги. Таким чином, для обласних енергопостачальних компаній необхідно вирішувати завдання щодо впровадження власних ДРП.

Для оптимізації функціонування ДРП у нормальних режимах електричних мереж особливо актуальними виявляються питання організації планування і оперативного керування режимами їх роботи з метою отримання максимального прибутку від їх експлуатації.

У випадку керування засобами компенсації реактивної потужності в умовах, пов'язаних з обмеженнями з боку живильних мереж (обтяжені режими магістральних мереж, умови суборенди абонентських мереж), доцільно розв'язувати задачу оптимізації режимів ДРП для зменшення обміну реактивною потужністю між локальною електричною мережею з сукупним споживанням  $Q_{\text{наб}}(t)$  та джерелом живлення.

Виходячи з наведених задач оптимізації режимів ДРП, формування єдиних умов оптимальності для їх розв'язання виявляється неможливим. Отже, керування такими джерелами у електричних мережах має виконуватися за окремими законами, що визначаються ситуацією в РЕМ.

Враховуючи особливості організації інформаційного забезпечення у сучасних РЕМ, оцінювання поточного стану мереж та формування законів керування для окремих ДРП можливо здійснювати лише централізовано. Тобто автоматизація керування засобами КРП потребує застосування локальних систем автоматичного керування для безпосереднього керування ДРП, а також централізованого керування для формування й адаптації налагоджувальних параметрів САК.

Реалізація двоконтурної адаптивної системи, умови оптимальності та сформовані на їх підставі закони керування ДРП повинні базуватися на загальній методології. Ефективним шляхом вирішення проблеми формування законів оптимального керування є застосування принципу найменшої дії [2].

Адаптивні системи автоматичного керування дозволяють здійснювати керування технологічними процесами в умовах неповної або недосконалої поточної інформації щодо характеристик об'єкту керування та зовнішніх впливів. Це характерно для комплексу просторово розподілених ДРП, що виконують функції групової оптимізації перетікань реактивної потужності в РЕМ, особливо, якщо керування має здійснюватися у реальному часі. Відомим напрямком детермінованих, функціонально-адаптивних, саморегульованих систем керування є керування з еталонною моделлю.

Кожен з основних контурів керування утворюється об'єктом (ДРП) та локальною системою автоматичного керування. Функціонування локальних САК підпорядковується централізованій системі. Для узгодження централізованого та локального керування призначений блок визначення уставок САК. Зворотний зв'язок централізованого керування здійснюється завдяки оперативно-інформаційному комплексу, який формує вектор спостереження РЕМ  $\mathbf{y}$ . Для імітації економічних режимів РЕМ, тобто режимів з мінімальними витратами використовується еталонна модель, що є частиною системи керування. Згідно умов оптимальності тут формуються керуючі впливи для кожного ДРП  $\mathbf{u}_{\text{ек}}(t)$ , які б забезпечили перехід від поточного режиму до економічного з урахуванням динамічності функціонування РЕМ. Параметри кожного регулятора ДРП налагоджуються зовнішнім контуром керування так, щоб мінімізувати неузгодженість  $\mathbf{u}_{\Delta}(t)$  між виходом еталонної моделі  $\mathbf{u}_{\text{ек}}(t)$  та блоку імітації режимів РЕМ  $\mathbf{u}_{\text{ім}}(t)$ . Останній використовується як джерело псевдовимірів для параметрів керування  $\mathbf{u}$ , окремих локальних САК, які у сукупності утворюють вектор керування  $\mathbf{u}$ . Імітаційна модель, враховуючи відносну простоту відтворення процесів передачі електроенергії в РЕМ, забезпечує високу вірогідність, що контролюється завдяки відповідним зворотним зв'язкам  $\mathbf{y}$ .

Рішення щодо введення до контуру централізованого керування блоку імітації режимів РЕМ  $\mathbf{u}_{\text{ім}}(t)$  замість оперативного телевимірювання параметрів ДРП  $\mathbf{u}$  є економічно обґрунтованим не лише для розподільних мереж України, але й для мереж європейських країн. Останнє було показано на підставі техніко-економічного аналізу в [3].

На різних етапах впровадження системи групового керування ДРП імітаційна модель РЕМ виконує різні функції. На початковому етапі (автоматизоване керування), коли необхідно узгоджувати оперативне керування з автоматичним, це функціональна модель, за допомогою якої оперативний персонал не тільки визначає та коригує налагоджувальні параметри САК, а й відтворює прогнозні

стану РЕМ та оцінює наслідки зміни потужностей ДРП. Після підтвердження адекватності імітаційної моделі у нормальних та особливих режимах та остаточного впровадження системи керування імітаційна модель стає основним елементом її самоналагодження та самоаналізу САК.

Стійкість та ефективність процесу оперативного керування ДРП залежить від співвідношення частоти отримання відгуків від РЕМ та швидкості й інтервалу відхилення параметрів спостереження  $u$ . Для забезпечення стійкості необхідно оптимізувати уставки по часу  $\Delta t$  для окремих САК, а для ефективного використання ресурсу комутаційної апаратури ДРП – граничні коефіцієнти потужності  $\cos\varphi_{min}$ ,  $\cos\varphi_{max}$ . Означені процеси реалізуються блоком визначення уставок. Основною складністю тут є потреба значного обсягу обчислень, пов'язаних з оптимізацією графіків генерування реактивної потужності ДРП. Таким чином, визначення вектора налагоджувальних параметрів потребує значних витрат часу, що можуть бути суттєво зменшені у випадку попереднього оцінювання кореляції та ідентифікації періодів оновлення налагоджувальних параметрів за типовими графіками.

Отже, для реалізації задач оперативного й автоматичного керування ДРП можливе використання адаптивної системи керування з еталонною моделлю. Ефективність адаптивного підходу підвищується завдяки розділенню функцій керування перетіканнями реактивної потужності на централізоване формування налагоджувальних параметрів САК за результатами імітаційного моделювання режимів РЕМ і локальну реалізацію цих налаштувань системами керування окремих ДРП за місцевими параметрами.

### Висновки

Показано, що сучасні умови та особливості експлуатації ДРП в електричних мережах України вимагають підвищення рівня автоматизації процесів, пов'язаних з перетіканням реактивної потужності. Для забезпечення ефективності функціонування розподільних електричних мереж з розосередженим генеруванням запропоновано критерії та сформовано умови оптимальності з урахуванням витрат на експлуатацію ДРП та якості електроенергії

Показано, що двоконтурна структура АСК забезпечує високу надійність та ефективність системи. Враховуючи динамічність та просторову розподільність об'єкта керування система керування потребує застосування натурно-імітаційного моделювання режимів розподільних мереж для пошуку оптимальних рішень. Ефективність запропонованих у роботі підходів до оптимізації перетікань реактивної потужності підтверджено шляхом проведення розрахунків з оптимізації параметрів ДРП Вінницьких міських електричних мереж.

### СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Кулик В.В. Оптиміальне керування потоками реактивної потужності в розподільних електромережах з розосередженим генеруванням / В.В. Кулик, І.В. Грицюк, Ю.В. Грицюк // Праці Інституту електродинаміки НАНУ. Збірник наукових праць. Спеціальний випуск. – 2013. – С. 151–158.
2. Принцип найменшої дії в електротехніці та електроенергетиці [П. Д. Лежнюк, В. В. Кулик, В. В. Нетребський, В. В. Тептя]: Монографія. – Вінниця: УНІВЕРСУМ-Вінниця, 2014. – 212 с. – ISBN 978-966-641-576-2.
3. Andreas T. Procopiou, And Luis F. Ochoa. “Voltage Control In PV-Rich LV Networks Without Remote Monitoring”, IEEE Transactions On Power Systems, Vol. 32, No. 2, pp. 1224-1236, 2017.

**Салецький Анатолій Вікторович** — студент бакалаврської підготовки, кафедра електричних станцій та систем, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця

**Кулик Володимир Володимирович** — доктор техн. наук, доцент, професор кафедри електричних станцій та систем, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця

**Saletskyi Anatolii V.** — Student of Bachelor's Degree, Chair of Power Stations and Systems, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia.

**Kulyk Volodymyr V.** — Dr. Sc. (Eng.), Professor of the Chair of Power Stations and Systems, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia.