

Т. М. Червінська, асп.

## СИСТЕМА КЕРУВАННЯ РЕАКТИВНИМИ НАВАНТАЖЕННЯМИ ЗА НЕСИМЕТРИЧНОЇ НАПРУГИ

*Розроблено модель пристрою прийняття рішення з керування реактивними навантаженнями за допомогою батареї статичних конденсаторів, які працюють в умовах несиметрії напруги. Ефективність виконаних наукових розробок демонструється на реальних вихідних даних, отриманих експериментально.*

### Вступ

В системі електропостачання для компенсації реактивної потужності використовуються батареї статичних конденсаторів (БСК) симетричного виконання. Порівняно із іншими компенсуючими пристроями вони мають низку переваг, що дозволяє одночасно із компенсацією використовувати їх для покращення якості електроенергії.

Ввімкнення БСК симетричного виконання в електричних мережах з несиметричною напругою супроводжується зростанням останньої та потребує використання пристрою керування, який дозволив би уникнути небажаних режимів, коли порушуються вимоги ГОСТ 13109-97, що регламентують рівень несиметрії напруги.

Для ефективного керування БСК симетричного виконання при їх під'єднанні до несиметричної напруги розроблено декілька математичних моделей та алгоритмів [1–2], які дозволяють розрахувати вектор керування, що може бути реалізований на практиці. Як відомо, електричний режим є динамічним, тобто розрахунок вектора керування необхідно повторно проводити для кожного моменту часу, коли змінюються вхідні параметри режиму. Цей фактор спричиняє необхідність створення автоматичної системи керування, яка реагуватиме на зміну параметрів стану.

*Метою роботи є підвищення ефективності керування реактивними навантаженнями в умовах несиметричної напруги шляхом створення моделі автоматичної системи прийняття рішення.*

### Модель системи прийняття керувального рішення з компенсації реактивної потужності

Практична реалізація розробленої математичної моделі та алгоритму, наведених в [2], для керування реактивною потужністю за допомогою БСК з урахуванням їх впливу на несиметрію і відхилення напруги можлива під час розробки структурної схеми і програмного забезпечення пристрою прийняття керувального рішення, скориставшись можливостями блокового моделювання, які надаються пакетом Matlab.

На рис. 1 показана модель системи прийняття керувального рішення з компенсації реактивної потужності, що складається із таких блоків: блок вихідних даних, блок розрахунку початкових умов, блок прийняття керувального рішення, яка відтворена в системі Matlab Simulink.

До вихідних даних системи прийняття рішення належать значення параметрів стану та параметрів режиму електричної мережі, які отримують вимірюваннями (модулі та аргументи фазних напруг ( $mU_A$ ,  $\arg U_A$ ,  $mU_B$ ,  $\arg U_B$ ,  $mU_C$ ,  $\arg U_C$ ), реактивна потужність навантаження ( $Q_{vx}$ ), опори струмам прямої, зворотної і нульової послідовностей ( $z_1$ ,  $z_2$ ,  $z_0$ )) або із нормативних документів (допустимі значення реактивної потужності ( $Q_{dop}$ ), фазної напруги ( $U_{fdop}$ ), коефіцієнтів несиметрії напруги по зворотній ( $k_{2Udop}$ ) та нульовій ( $k_{0Udop}$ ) послідовності) чи паспортних даних використовуваного обладнання (потужності секцій БСК, які відповідають номінальній напрузі ( $Q_n$ )).

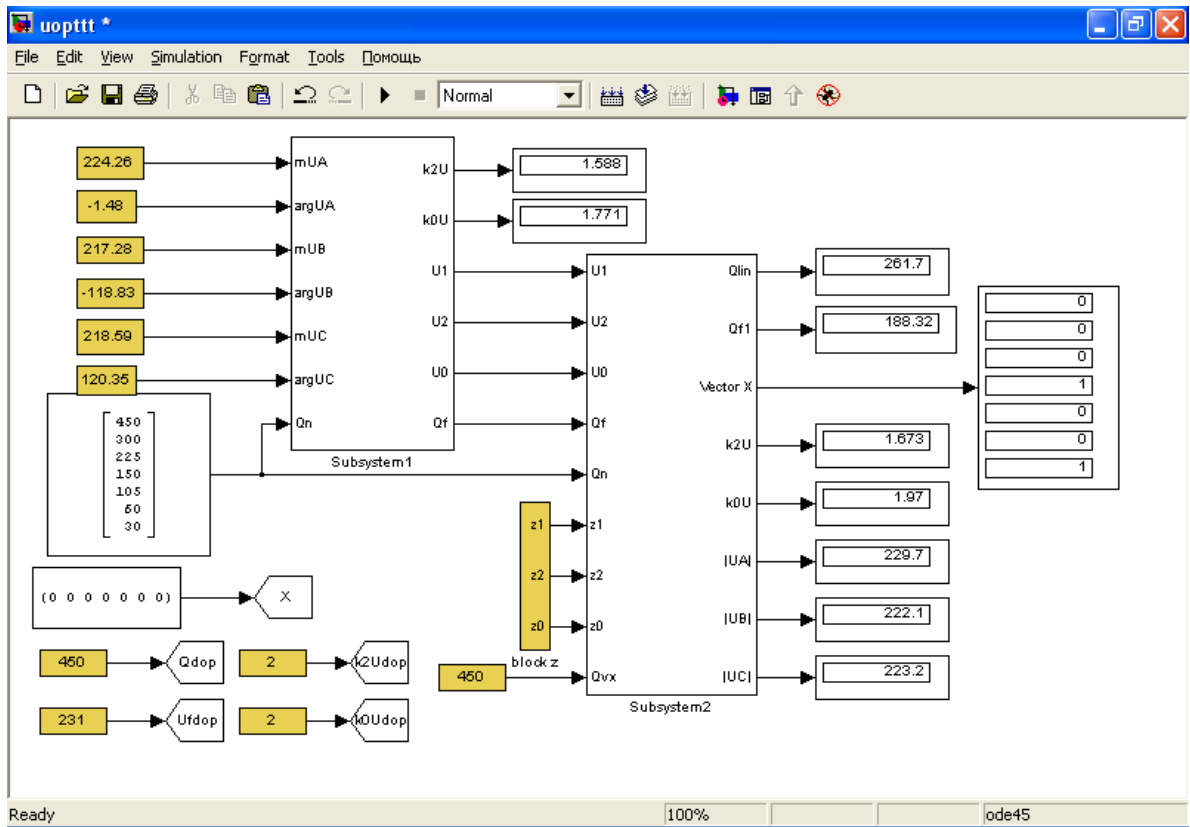


Рис. 1. Модель системи прийняття керувального рішення з компенсації реактивної потужності

Інтерфейс програми дозволяє відслідковувати та порівнювати значення фазних напруг ( $U_A, U_B, U_C$ ), реактивної потужності в лінії ( $Q_{lin}$ ), коефіцієнтів несиметрії напруги по зворотній ( $k_{2U}$ ) та нульовій ( $k_{0U}$ ) послідовності до та після керування, а також стан кожної із секцій БСК ( $X$ ).

Природно, що структура блоку прийняття керувального рішення має розроблятися у відповідності до характеристик встановленого компенсуючого пристрою.

### Керування реактивною потужністю в реальних умовах та аналіз його результатів

Розроблена модель системи прийняття керувального рішення використана для проведення пасивного експерименту. Сутність експерименту полягає в тому, що використовуючи результати експериментальних досліджень, проведених на одній з ТП Бершадського РЕМ ПАТ АК «Вінницяобленерго», та вважаючи, що у вузлі, де здійснювались вимірювання, встановлено керувану БСК (потужності секцій, що відповідають номінальній напрузі, 450, 300, 225, 150, 105, 60, 30 квар), проводився розрахунок послідовності векторів керування і отримано динаміку для таких параметрів:

- реактивної потужності по вводу ТП;
- коефіцієнта несиметрії напруги по зворотній послідовності;
- коефіцієнта несиметрії напруги по нульовій послідовності;
- напруги у фазі, в якій вихідне її значення найбільше, за умови реалізації знайдених керувальних рішень.

Розрахунки проводились за умови, що БСК має схему з'єднань «зірка з нулем», не враховуючи (випадок 1) та враховуючи (випадок 2) вплив на несиметрію і відхилення напруги.

На рис. 2 показані графіки реактивної потужності споживача і реактивної потужності, що генерується БСК під час реалізації вектора керування у випадках 1 і 2. У випадку 1 реактивна потужність в лінії живлення підприємства після ввімкнення БСК не перевищує значення, що відповідає секції з найменшою потужністю. У випадку 2 приймається рішення щодо ввімкнення БСК з урахуванням рівня несиметрії та відхилення напруги лише у 60 % випадків.

Із них у 75 % вектор керування у випадках 1 та 2 збігається.

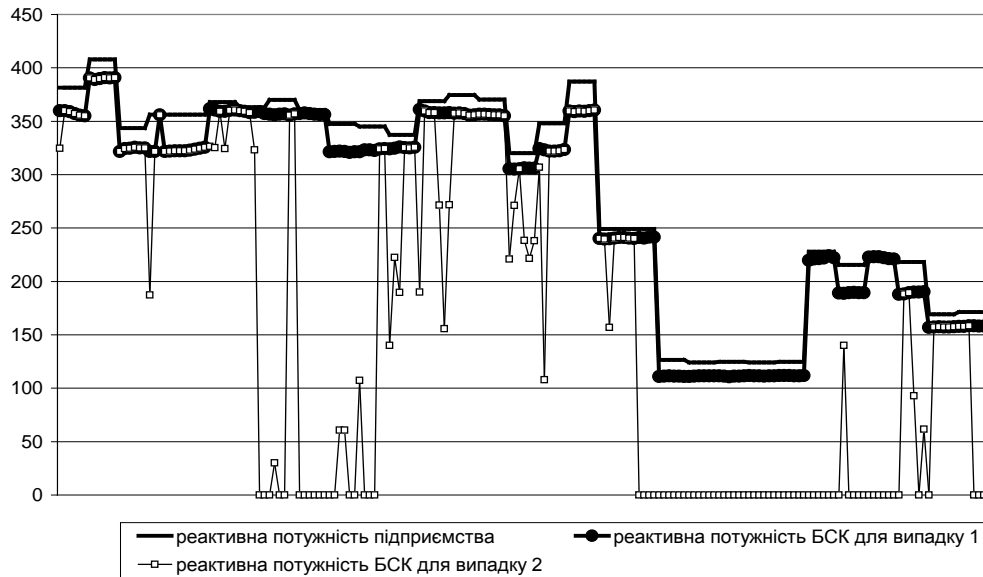


Рис. 2. Графіки реактивної потужності

На рис. 3 показані графіки напруги у фазі С (у фазі, де вихідне значення напруги найбільше) до та після ввімкнення БСК для випадків 1 і 2. До ввімкнення БСК 99 % значень напруги у фазі С знаходились в нормально допустимих межах і 1 % значень в гранично допустимих за ГОСТ 13109-97. При ввімкненні БСК з урахуванням несиметрії та відхилення напруги (випадок 2) це співвідношення залишається таким самим, тоді як, для випадку 1 — змінюється, 66 % — в нормально допустимих межах і 34 % — в гранично допустимих.

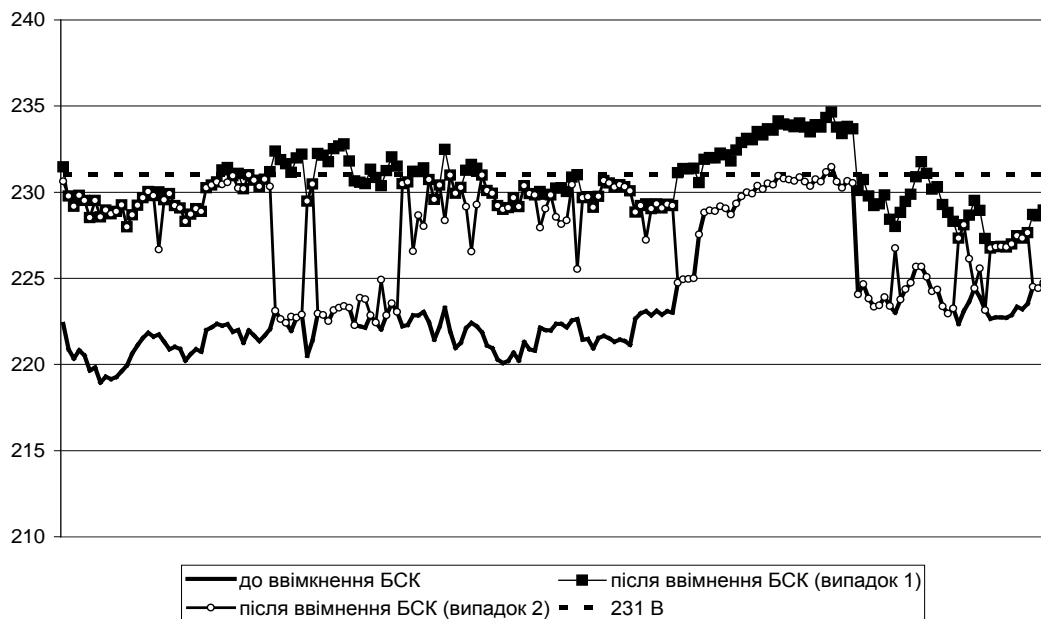


Рис. 3. Графіки напруги у фазі С до та після ввімкнення БСК

Гістограми розподілу напруги в фазі С і  $k_{2U}$  показані на рис. 4. Значення коефіцієнта несиметрії напруги по нульовій послідовності як до, так і після ввімкнення БСК знаходиться в нормально допустимих межах за ГОСТ 13109-97.

Аналіз отриманих результатів свідчить, що керування реактивною потужністю при несиметричній напрузі за математичною моделлю, наведеною в [2], дозволяє забезпечити допустимі значення  $k_{2U}$ ,  $k_{0U}$  і допустимі відхилення напруги. Якщо вихідний режим характеризу-

ється порушеннями норм ГОСТ 13109-97 для деяких моментів часу, то за результатами керування числові значення відповідних показників якості електроенергії залишаються незмінними. Для таких випадків з метою забезпечення норм стандарту треба попередньо, використовуючи БСК несиметричного виконання [3–4], забезпечити нормовані значення  $k_{2U}$  і  $k_{0U}$ , з подальшим прийняттям керувальних рішень.

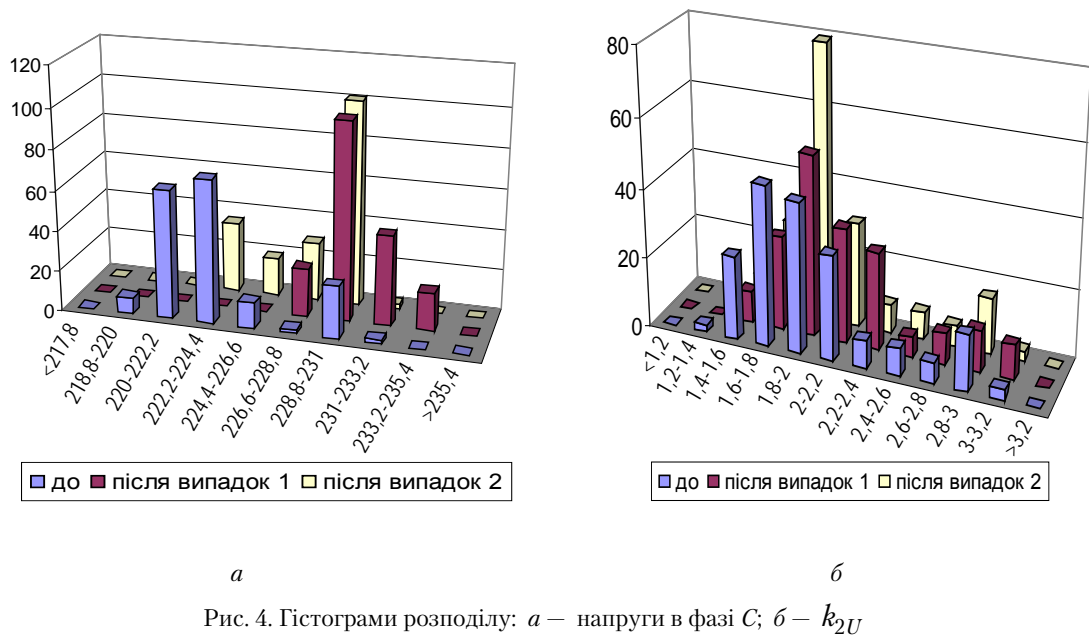


Рис. 4. Гістограми розподілу: а – напруги в фазі С; б –  $k_{2U}$

Якщо вихідний режим характеризується недопустимим значенням відхилення напруги, то необхідно, наприклад, скорегувати положення регульовального відгалуження трансформатора.

### Висновки

1. Розроблена модель пристрою прийняття керувального рішення, яка реалізована в пакеті Matlab, дозволяє визначити вектор керування в умовах несиметрії напруги, що підтверджено тестовим розрахунком.

2. Результати проведеного експерименту, який виконаний на отриманих експериментально реальних вихідних даних, засвідчив необхідність прийняття рішень з керування реактивною потужністю в умовах несиметрії напруги з урахуванням впливів на параметри несиметрії і відхилення напруги.

3. Керування реактивною потужністю забезпечує нормовані ГОСТ 13109-97 значення відхилення напруги та коефіцієнтів несиметрії напруги по зворотній та нульовій послідовностям (за умови, якщо ці параметри вихідного режиму знаходяться в межах допустимих значень). Це підтверджено експериментально.

### СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Терешкевич Л. Б. Керування реактивною потужністю в умовах несиметрії напруги мережі / Л. Б. Терешкевич, Т. М. Червінська // Промелектро. — 2008. — № 5. — С. 16—20.
2. Терешкевич Л. Б. Математична модель керування реактивною потужністю в електричних мережах з несиметричною напругою / Л. Б. Терешкевич, Т. М. Червінська // Вісник Кременчуцького державного університету імені Михайла Остроградського. — 2010. — № 3(62). Ч. 1. — С. 161—164.
3. Кузнецов В. Г. Снижение несимметрии и несинусоидальности напряжений в электрических сетях / В. Г. Кузнецов, А. С. Григорьев, В. Б. Данилюк. — К. : Наукова думка, 1992. — 240 с.
4. Аввакумов В. Г. Методы нескалярной оптимизации и их приложения / В. Г. Аввакумов — К. : Вища щкола, 1990. — 188 с.

Рекомендована кафедрою електротехнічних систем електроспоживання та енергетичного менеджменту

Стаття надійшла до редакції 27.09.11

Рекомендована до друку 25.10.11

**Червінська Тетяна Миколаївна** — аспірантка кафедри електротехнічних систем електроспоживання та енергетичного менеджменту.

Вінницький національний технічний університет, Вінниця