

# КОМПЕНСАЦІЯ РЕАКТИВНОЇ ПОТУЖНОСТІ В УМОВАХ НЕСИМЕТРІЇ НАПРУГ В СИСТЕМАХ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ

Вінницький національний технічний університет

## Анотація

Досліджено вплив на кінцеві рішення з компенсації реактивної потужності, яке здійснюється за допомогою батарей статичних конденсаторів, несиметрії напруги в електричній мережі.

**Ключові слова:** батареї статичних конденсаторів; системи електропостачання; компенсація реактивних навантажень, симетрування напруги.

## Abstract

The influence on the final decisions on reactive power compensation, which is carried out with the help of batteries of static capacitors, asymmetry of voltage in the electrical network.

**Keywords:** batteries of static capacitors; power supply systems; reactive load compensation, voltage symmetry

## Вступ

Для отримання високоефективних результатів із зниження втрат електроенергії в електричних мережах використовуються керовані компенсуючі пристрої [1], найбільш поширеними серед яких є батареї статичних конденсаторів (БСК) симетричного виконання, керування якими має здійснюватись із врахуванням всіх впливових факторів. Серед таких факторів може бути несиметрія напруги в електричній мережі. Можна очікувати, що прийняття керуючого рішення за відомими методиками, які не враховують рівень несиметрії напруги, приведе до технічно недопустимих результатів, наприклад таких, що порушують вимоги стандарту за показниками, які регламентують якість електроенергії.

Для розробки практичних рекомендацій необхідно оцінити і довести потребу в деяких випадках врахування зазначеного фактору при оперативному керуванні БСК.

Метою роботи є проведення кількісного аналізу впливу несиметрії напруги на КРП (на втрати активної потужності в БСК, на реактивну потужність, що ними генерується, та на параметри стану об'єкта керування).

## Результати дослідження

Розглянуто випадок, коли БСК працюють за схемою трикутника. При цьому БСК здійснює вплив лише на режим зворотної послідовності і ніяким чином не діє на режим нульової (при її під'єднанні до чотирипровідної мережі).

При несиметричному режимі в БСК виникають додаткові втрати активної потужності, які визначаються за формулою:

$$\Delta P_{2\text{БК}} = Q_{\text{НОМ}} \cdot \text{tg} \delta \cdot k_{2\text{U}}^2,$$

де  $\text{tg} \delta$  - коефіцієнт діелектричних втрат при основній частоті.

При несиметрії лінійних напруг реактивна потужність, що генерується БСК, змінюється по відношенню до  $Q_{\text{НОМ}}$  на:

$$\Delta Q = Q_{\text{НОМ}} \cdot \frac{U_{\text{НОМ}}^2 - U_1^2 \cdot (1 + k_{2\text{U}}^2)}{U_{\text{НОМ}}^2}.$$

При  $k_{2\text{U}} = 0,05 - 0,06$  виходить  $|\Delta Q| = (0,01 - 0,04) Q_{\text{НОМ}}$ . Оскільки на практиці напруга  $U_1$  може бути більшою чи меншою напруги  $U_{\text{НОМ}}$ , тому можливе як збільшення, так і зменшення генеруючої реактивної потужності. В останньому випадку в найбільш навантаженої фазі значення теплових втрат може значно перевищувати номінальне. У результаті з'являється місцевий перегрів ізоляції, що призводить до скорочення терміну її служби.

Для ділянки електричної мережі з еквівалентними опорами живильної мережі ( $\underline{z}_1$ ) і розподільних мереж підприємства ( $\underline{z}_2$ ), використовуючи метод суперпозиції, можна розрахувати добавку напруги внаслідок ввімкнення секцій БСК:

$$\Delta \dot{U}_2 = \dot{I}_2^{БСК} \cdot \frac{\underline{z}_1 \cdot \underline{z}_2}{\underline{z}_1 + \underline{z}_2},$$

де  $\dot{I}_2^{БСК}$  – струм зворотної послідовності, що створюється БСК у вузлі її під'єднання, який визначається за формулою:

$$\dot{I}_2^{БСК} = -\frac{j}{3} \cdot (a^2 \cdot \dot{I}_{CA} + \dot{I}_{BC} + a \cdot \dot{I}_{CA}),$$

де  $a$  – оператор повороту трифазної системи;

$\dot{I}_{CA}, \dot{I}_{BC}, \dot{I}_{CA}$  – конденсаторне навантаження у плечах А-В, В-С та С-А, що виражене через струми.

Якщо напруга зворотної послідовності до ввімкнення секцій БСК у вузлі їх під'єднання дорівнює  $\dot{U}_{2до}$ , а добавка напруги зворотної послідовності -  $\Delta \dot{U}_2$ , то напруга зворотної послідовності після ввімкнення секцій БСК становитиме:

$$\dot{U}_{2після} = \dot{U}_{2до} + \Delta \dot{U}_2.$$

Оскільки ГОСТ 13109-97 обмежує значення коефіцієнта несиметрії напруги по зворотній послідовності, то доцільно розрахувати значення коефіцієнтів несиметрії напруги по зворотній послідовності за відомими  $\dot{U}_{2до}$  і  $\dot{U}_{2після}$ .

Розглянемо як зміниться значення коефіцієнта несиметрії напруги по зворотній послідовності після ввімкнення секцій БСК симетричного виконання ( $k_{2Uпісля}$ ) в залежності від його вихідного значення ( $k_{2Uдо}$ ), а також від інших параметрів:  $Q_{БСК}, \underline{z}_1$  і  $\underline{z}_2$ .

Проведені кількісні розрахунки для випадку, коли ввімкнення БСК потужністю 1200 квар при  $k_{2Uдо} = 1,5\%$  в схемі, де  $\underline{z}_1 = 0,2e^{j 49,3^\circ}$  Ом та  $\underline{z}_2 = 0,2e^{j 31,8^\circ}$  Ом, змінює значення коефіцієнта несиметрії напруги по зворотній послідовності,  $k_{2Uпісля} = 2,2\%$ . Видно, що в даному прикладі несиметрія напруги до ввімкнення БСК оцінюється як допустима ( $k_{2Uдо} = 1,5\%$ ), а після – стає недопустимою за ГОСТ 13109-97 ( $k_{2Uпісля} = 2,2\%$ ). Зробивши узагальнення, можна стверджувати, що ввімкнення БСК може привести до того, що  $k_{2U}$ , який мав допустимі за ГОСТ 13109-97 значення, за певних умов може стати більшим за нормовану величину -  $k_{2Uдоп}$ .

Такий керуючий вплив слід вважати як недопустимий, оскільки має місце порушення стандарту, хоча втрати активної потужності можуть при цьому зменшуватись.

## Висновок

Ввімкнення БСК, яке здійснюється при керуванні реактивною потужністю, призводить до збільшення значення коефіцієнта несиметрії напруги по зворотній послідовності та рівня відхилення напруги, а в деяких випадках може супроводжуватись порушенням вимог ГОСТ 13109-97 по відповідним параметрам.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Терешкевич Л. Б. АСУ в електроспоживанні / Л. Б. Терешкевич. – Вінниця.: ВНТУ, 2016. – 136 с.

**Юрій Петрович Добровольський** – студент групи групи Е-18мс, факультет електроенергетики та електромеханіки, Вінницький національний технічний університет, Вінниця;

Науковий керівник: **Леонід Борисович Терешкевич** – к.т.н., доцент, професор кафедри Електротехнічних систем електроспоживання та енергетичного менеджменту, Факультет електроенергетики та електромеханіки, Вінницький національний технічний університет, Вінниця.

**Yuri Petrovich Dobrovolsky** – student of group 4E-18ms, Faculty of Power Engineering and Electromechanics, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia;

Supervisor: **Leonid Borisovich Tereshkevich** – Dr. Sc. (Eng), professor, professor of the Department of Electrotechnical Systems of Power Consumption and Energy Management, Faculty of Power Engineering and Electromechanics, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia.