

УДК 621.316.7:621.317.73

О. В. Бабенко, канд. техн. наук, доц.;

А. В. Гадай, канд. техн. наук, доц.;

М. В. Хурцилава, студ.

ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ УСТАНОВОК СИМЕТРУВАННЯ НАВАНТАЖЕНЬ

Обґрунтовано доцільність комплексного керування компенсаційною симетрувальною установкою і симетрувальним трансформатором зі схемою з'єднання обмоток «трикутник/зигзаг», в результаті чого забезпечується ефективно симетрування навантажень за умов несиметрії джерела напруги.

Вступ

Забезпечення якості електроенергії на достатньому рівні — одне з головних завдань електроенергетики України. Несиметрія напруги згідно з ГОСТ 13109-97 є одним з важливих показників якості електроенергії. Перевищення цього показника приводить до зниження надійності й економічності роботи асинхронних двигунів, конденсаторних установок та багатьох інших електроприймачів [1].

Для зниження втрат активної потужності в елементах системи електропередавання і ефективної компенсації реактивної потужності необхідно також здійснювати симетрування струмів навантажень з використанням компенсаційних симетрувальних установок. При цьому необхідно, щоб напруги джерела живлення були симетричні [2]. В роботі ставиться завдання обґрунтування ефективності комплексного керування компенсаційною симетрувальною установкою і симетрувальним трансформатором зі схемою з'єднання обмоток «трикутник/зигзаг» з інформативними параметрами для керування — напругою вторинної обмотки трансформатора і врахуванням впливу струму несиметричного навантаження.

Обґрунтування результатів

В [3, 4] досліджувались симетрувальні трансформатори зі схемою з'єднання обмоток «трикутник/зигзаг». Умова симетрування напруги такими трансформаторами сформована у вигляді

$$-3\underline{K}_2\dot{U}_{1B} - 3e^{-j60^\circ}\underline{K}_1\dot{U}_{2B} = 0, \quad (1)$$

де $\underline{K}_1 = -\frac{1}{3}(k_A + k_B + k_C)$; $\underline{K}_2 = -\frac{1}{3}(k_A + ak_B + a^2k_C)$ — комплексні коефіцієнти передачі трансформатора, тут k_A , k_B , k_C — коефіцієнти передачі, що визначаються як співвідношення витків первинної і вторинної обмоток для кожної з фаз; \dot{U}_{1B} ; \dot{U}_{2B} — величини, що близькі за значеннями до напруг, відповідно, прямої та зворотної послідовностей первинної обмотки трансформатора.

Величини \dot{U}_{1B} та \dot{U}_{2B} є інформативними параметрами сторони високої напруги трансформатора, безпосереднє вимірювання яких є досить складним, оскільки вимагає використання вимірювальних трансформаторів напруги. В [5] пропонується їх отримати з системи рівнянь

$$\begin{cases} -3e^{j60^\circ}\underline{K}'_1\dot{U}_{1B} - 3\underline{K}'_3\dot{U}_{2B} = \dot{U}_{1H}; \\ -3\underline{K}'_2\dot{U}_{1B} - 3e^{-j60^\circ}\underline{K}'_1\dot{U}_{2B} = \dot{U}_{2H} \end{cases} \quad (2)$$

для чого необхідно визначити напруги прямої та зворотної послідовностей (відповідно, \dot{U}_{1H} та \dot{U}_{2H}) на стороні низької напруги трансформатора. В системі рівнянь (2) \underline{K}'_1 , \underline{K}'_2 , \underline{K}'_3 — комплексні коефіцієнти передавання трансформатора на момент регулювання, тут $\underline{K}'_3 = -\frac{1}{3}(k_A + a^2k_B + ak_C)$.

Умови пофазового регулювання, які відповідають (1) та (2), подано в [5] у вигляді виразів для визначення коефіцієнтів передавання кожної з фаз симетрувального трансформатора, які необхід-

но забезпечити для здійснення ефективного симетрування напруги.

Математичне моделювання [5] показало, що симетрувальний трансформатор за використанням інформативних параметрів — напруг прямої та зворотної послідовностей вторинної обмотки — забезпечує ефективне зниження несиметрії напруги в мережі споживачів.

Після здійснення симетрування напруги стає ефективним керування компенсаційної симетрувальної установки за критерієм

$$\underline{Y}_{21} = 0, \tag{3}$$

де \underline{Y}_{21} — провідність несиметричного навантаження, що приєднана до сторони низької напруги симетрувального трансформатора (рис. 1).

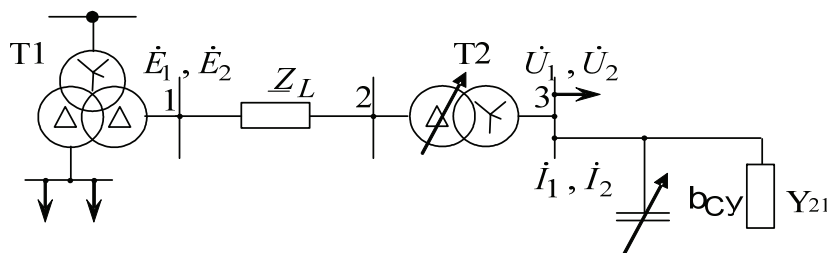


Рис. 1. Схема комплексного використання симетрувальних установок

Умови керування компенсаційною СУ, що відповідають критерію (3) [6, 7], забезпечують зниження струму зворотної послідовності в електричній мережі, а також компенсацію реактивної потужності в необхідній мірі. Відповідно до цих умов провідності конденсаторів компенсаційної СУ b_{AB} , b_{BC} , b_{CA} визначаються в залежності від значень провідностей несиметричного навантаження.

Результати проведеного математичного моделювання у вигляді залежності коефіцієнта зворотної послідовності по струму після симетрування навантаження $k_{2\text{Після}} = (\dot{I}_{2\text{Після}} / \dot{I}_{1\text{Після}}) \cdot 100$ від коефіцієнта зворотної послідовності по струму несиметричного навантаження до здійснення симетрування $k_{2\text{До}} = (\dot{I}_{2\text{До}} / \dot{I}_{1\text{До}}) \cdot 100$ подано на рис. 2. Тут \dot{I}_2 , \dot{I}_1 струми, відповідно, зворотної та прямої послідовностей навантаження.

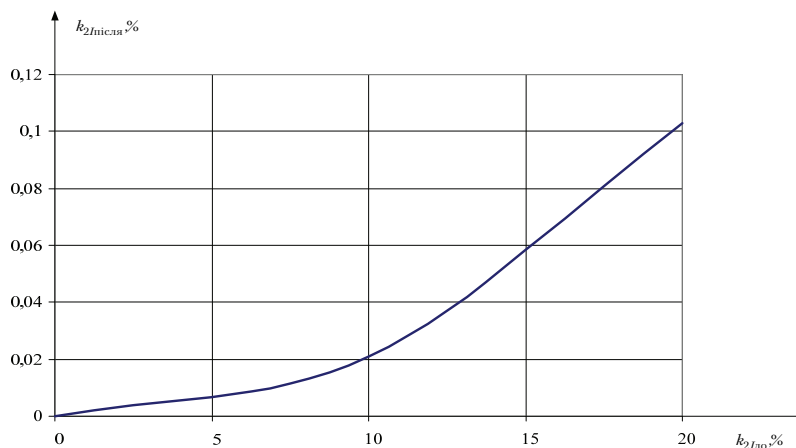


Рис. 2. Результати симетрування навантаження ($k_{2\text{Після}}$) за несиметричного навантаження ($k_{2\text{До}}$) та несиметричного джерела напруг

Після зниження несиметрії вторинної напруги і отримання інформації про провідність несиметричного навантаження компенсаційна симетрувальна установка, як видно з рис. 2, забезпечує суттєве зниження струму зворотної послідовності (приблизно в 200 разів) в електричній мережі. Оскільки при цьому здійснюється ефективна компенсація реактивної потужності і знижуються втрати активної потужності в лініях і трансформаторі, то забезпечується допустимий термін окуп-

ності симетрувальних установок, а комплексне їх регулювання стає ефективною енергоаудиторською рекомендацією з підвищення якісних показників роботи об'єкта симетрування.

Невелике зростання несиметрії струму зумовлено тим, що несиметричне навантаження незначно знижує результати симетрування напруги симетрувальним трансформатором.

Висновки

Обґрунтовано доцільність комплексного керування компенсаційною симетрувальною установкою і симетрувальним трансформатором зі схемою з'єднання обмоток «трикутник/зигзаг» для забезпечення ефективного симетрування несиметричних навантажень за умов несиметрії джерела напруг. В результаті такого керування досягається суттєве зниження несиметрії струмів і напруг у вузлі приєднання навантажень. Як наслідок, надійність обладнання, робота якого залежить від якості напруги, підвищується, а ефективно реалізований за симетричної напруги процес симетрування навантажень та компенсації реактивної потужності забезпечує зниження втрат електричної енергії в лініях електропередачі і трансформаторах.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. 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.
2. Бурбело М. Й. Квазірівноважені вимірвальні канали для симетрувальних установок : моногр. / М. Й. Бурбело, О. В. Бабенко. — Вінниця : УНІВЕРСУМ-Вінниця, 2008. — 100 с.
3. Застосування багатоцільової оптимізації для симетрування та зменшення відхилень напруг в електричних мережах / [М. Й. Бурбело, А. М. Волоцький, О. В. Бабенко, О. В. Салій] // Вісник Вінницького політехнічного інституту. — 2007. — № 6. — С. 76—79.
4. Математична модель процесу регулювання симетрувального трансформатора [Електронний ресурс] / [М. Й. Бурбело, А. М. Волоцький, О. В. Бабенко, О. В. Салій] // Наукові праці ВНТУ. — 2009. — № 1. — 4 с. — Режим доступу : <http://praci.vntu.edu.ua>.
5. Бабенко О. В. Математична модель процесу регулювання симетрувального трансформатора за несиметричного навантаження / О. В. Бабенко, С. В. Мусійчук // Вісник Вінницького політехнічного інституту. — 2012. — № 1. — С. 74—76. — ISSN 1997-9266.
6. Шидловский А. К. Повышение качества энергии в электрических сетях : моногр. / А. К. Шидловский, В. Г. Кузнецов. — К. : Наукова думка, 1985. — 268 с.
7. Квазікомпенсаційні вимірвальні пристрої для регуляторів реактивної потужності / [М. Й. Бурбело, Б. С. Рогальський, В. М. Непийвода, С. І. Вознюк] // Энергетика и электрификация. — 2001. — № 6. — С. 29—33.

Рекомендована кафедрою електротехнічних систем електроспоживання та енергетичного менеджменту

Стаття надійшла до редакції 19.11.12

Рекомендована до друку 10.12.12

Бабенко Олексій Вікторович — доцент, **Хурцилава Марина Віталіївна** — студент.

Кафедра електротехнічних систем електроспоживання та енергетичного менеджменту,
Вінницький національний технічний університет, Вінниця;

Гадай Андрій Васильович — доцент кафедри електропостачання.

Луцький національний технічний університет, Луцьк