

М. Й. Бурбело¹
 Ю. П. Войтюк¹
 Ю. В. Лобода¹

АНАЛІЗ ПОМИЛОК СИМЕТРУВАННЯ ШВИДКОЗМІННИХ НАВАНТАЖЕНЬ ЗА УМОВ НЕСИНУСОЇДНОСТІ

¹Вінницький національний технічний університет

Проаналізовано помилки симетрування швидкозмінних навантажень і показано, що застосування миттєвих умовних потужностей зворотної послідовності навантаження забезпечує допустиме значення помилок симетрування, що зумовлені несинусоїдністю.

Ключові слова: симетрування навантажень, несинусоїдність напруг і струмів, миттєві умовні потужності зворотної послідовності.

Вступ

Симетрування навантажень висвітлено в низці публікацій [1—3]. Одним з найефективніших методів симетрування швидкозмінних навантажень є метод прямого формування реактивних потужностей фаз симетрувального пристрою на основі вимірних поточних значень дійсної та уявної складових комплексної умовної потужності зворотної послідовності, за умов [4, 5]

$$b_{BC}(t) = \frac{1}{9U_1^2}(-2Q_2(t)); \quad b_{CA}(t) = \frac{1}{9U_1^2}(Q_2(t) - \sqrt{3}P_2(t)); \quad b_{AB}(t) = \frac{1}{9U_1^2}(Q_2(t) + \sqrt{3}P_2(t)). \quad (1)$$

Для отримання інформації про складники $P_2(t)$, $Q_2(t)$ умовної потужності зворотної послідовності використано підхід, оснований на інтегруванні миттєвих потужностей на ковзному інтервалі часу тривалістю пів періоду ($T/2$) [6—9],

$$P_2(t) = \frac{2}{T} \int_{t-T/2}^t p_2 dt; \quad Q_2(t) = \frac{2}{T} \int_{t-T/2}^t q_2(t) dt, \quad (2)$$

де $p_2(t)$, $q_2(t)$ — миттєві складники умовної потужності зворотної послідовності.

Вибір напрямку досліджень

За використання комплексної умовної потужності зворотної послідовності навантаження $\underline{S}_2 = P_2 + jQ_2 = 3\dot{U}_1^* \dot{I}_2$ як інформативного параметра систем керування вирази складників миттєвих потужностей можна записати як півсуми миттєвих умовних потужностей [10]:

$$p_2 = \frac{1}{2}(p_{2p} + p_{2q}); \quad q_2 = \frac{1}{2}(q_{2p} + q_{2q}). \quad (3)$$

У виразах (3) доцільно використати миттєві умовні потужності зворотної послідовності [7—9]:

$$p_{2p}(t) = u_\alpha i_\alpha - u'_\beta i'_\beta; \quad q_{2p}(t) = u'_\alpha i_\alpha + u_\beta i'_\beta; \quad (4)$$

$$p_{2q}(t) = u_\alpha i'_\beta - u'_\beta i_\alpha; \quad q_{2q}(t) = u'_\alpha i'_\beta + u_\beta i_\alpha, \quad (5)$$

де $u_\alpha, u_\beta, i_\alpha, i_\beta$ — миттєві напруги та струми в системі $\alpha\beta$ -координат; штрихом позначено фазовий зсув миттєвих величин на -90 ел. градусів.

Ці потужності відповідають дійсній та уявній частинам комплексних умовних потужностей зворотної послідовності

$$\underline{S}_{2p} = 3 \left(\dot{U}_1^* I_2 + \dot{U}_2^* I_1 \right) = \left(\dot{U}_\alpha^* I_\alpha - \dot{U}_\beta^* I_\beta \right); \quad (6)$$

$$\underline{S}_{2q} = 3 \left(\dot{U}_1^* I_2 - \dot{U}_2^* I_1 \right) = j \left(\dot{U}_\alpha^* I_\beta + \dot{U}_\beta^* I_\alpha \right), \quad (7)$$

де $\dot{U}_1, \dot{U}_2, I_1, I_2$ — комплексні напруги та комплексні спряжені струми, відповідно, прямої та зворотної послідовностей; $\dot{U}_\alpha, \dot{U}_\beta, I_\alpha, I_\beta$ — комплексні напруги та комплексні спряжені струми в системі $\alpha\beta$ -координат.

Остаточню вирази миттєвих потужностей можна записати у такому вигляді:

$$p_2 = \frac{1}{2}(u_\alpha - u'_\beta)(i_\alpha + i'_\beta); \quad q_2 = \frac{1}{2}(u'_\alpha + u_\beta)(i_\alpha + i'_\beta). \quad (8)$$

Зважаючи на складність вимірювальних перетворень, необхідність застосування перетворення фазового зсуву на -90 електричних градусів кожної гармоніки напруги та струму, похибки, зумовлені несинусоїдністю, можуть суттєво впливати на точність симетрування швидкозмінних навантажень.

Метою роботи є оцінювання помилок симетрування навантажень, зумовлених впливом несинусоїдності напруг і струмів.

Обґрунтування результатів

Спочатку проаналізуємо помилки симетрування навантажень за наявності вищих гармонік струму в разі, якщо струм навантаження містить п'яту (20 %) та сьому (14 %) гармоніки, а несиметрія струму за зворотною послідовністю складає 5,3 %, які забезпечують стійкість систем керування.

На рис. 1 показано залежності миттєвих активної та реактивної потужностей та складників миттєвих потужностей зворотної послідовності. З наведених залежностей випливає, що миттєві активна та реактивна потужності за умов несиметрії та несинусоїдності струму коливаються з частотою, зумовленою вищими гармоніками, а їх обвідні, які мають синусоїдний характер, характеризують несиметрію навантажень.

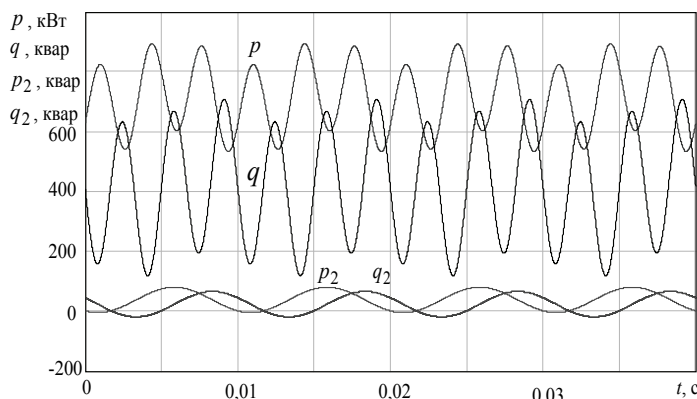


Рис. 1. Залежності складників миттєвих потужностей зворотної послідовності

Інформативними є постійні складники миттєвих величин. Після усереднення миттєвих величин отримано такі значення: $P_2 = 37,52$ квар, $Q_2 = 21,64$ квар. Дійсне значення цих складників $P_2 = 37,50$ квар, $Q_2 = 21,65$ квар. У цьому випадку похибки, зумовлені несинусоїдністю струмів, малі. Порівняно з системами керування, принцип дії яких оснований на використанні струмів і напруг в системі dq -координат без виділення основних гармонік, похибки, зумовлені несинусоїдністю, зменшуються приблизно на порядок (відповідно 0,05 % та 1 %).

Розглянемо несиметричний несинусоїдний режим, за якого п'ята та сьома гармоніки струму становлять відповідно 20 % та 14 % від основної гармоніки, а напруги фаз крім першої гармоніки містять п'яту та сьому гармоніки, вміст кожної з яких становить 2 % від основної гармоніки (вказаний рівень вищих гармонік напруги відповідає відносному опору мережі 0,02 щодо потужності навантаження), і одночасно напруга і струм фази C менші на 5 % від значення напруг і струмів інших фаз (коефіцієнти несиметрії напруг і струмів за зворотною та нульовою послідовностями рівні і становлять 1,7 %).

На рис. 2 показано залежності складників миттєвих умовних потужностей зворотної послідовності з помітним впливом вищих гармонік. Тобто, за наявності вищих гармонік струму та напруги з'являються комбінаційні складники, які спотворюють синусоїдну форму дійсного та уявного

складників миттєвих умовних потужностей зворотної послідовності.

Усереднення миттєвих величин дає такі значення: $P_2 = 12,21$ квар, $Q_2 = -7,03$ квар. Задане значення цих складників $P_2 = 12,29$ квар, $Q_2 = -7,10$ квар. У такому випадку похибки, зумовлені несинусоїдністю напруг і струмів, приблизно дорівнюють 1 %.

Оскільки, згідно з умовами (1), помилки симетрування приблизно дорівнюють похибкам вимірювань, то вони теж будуть на рівні 1 %. За таких похибок вимірювальні перетворювачі умовних потужностей зворотної послідовності можна рекомендувати в системах керування симетрувальними пристроями за збуренням.

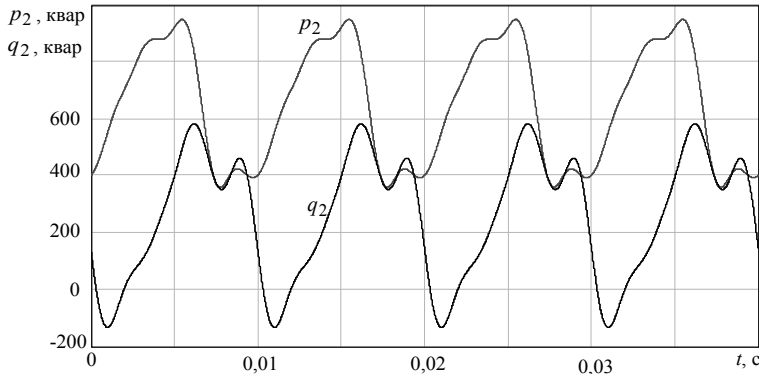


Рис. 2. Залежності складників миттєвих потужностей зворотної послідовності

інформації з затримкою напруг в часі на чверть періоду [11] без урахування фазових зсувів вищих гармонік. Після усереднення миттєвих величин за вказаним алгоритмом отримано такі значення: $P_2 = 12,13$ квар, $Q_2 = -6,69$ квар. У цьому випадку особливо збільшується похибка вимірювання уявного складника умовної потужності зворотної послідовності навантаження. Похибка при цьому приблизно становить 5,7 % відносно цього складника. Таке значення похибки вимірювань, зумовленої невідповідністю фазових зсувів вищих гармонік напруг і струмів куту 90 електричних градусів, може вважатися допустимим лише для систем керування симетрувальними пристроями за відхиленням.

Висновки

Проаналізовано помилки симетрування швидкозмінних навантажень з використанням умовних потужностей зворотної послідовності. Показано, що застосування миттєвих умовних потужностей зворотної послідовності навантаження забезпечує допустиме значення помилок симетрування, зумовлених несинусоїдністю.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Шидловский А. К. Повышение качества энергии в электрических сетях [Текст] / А. К. Шидловский, В. Г. Кузнецов. — К. : Наукова думка, 1985. — 268 с.
2. Кузнецов В. Г. Снижение несимметрии и несинусоидальности напряжений в электрических сетях [Текст] / В. Г. Кузнецов, А. С. Григорьев, В. Б. Данилюк. — К. : Наукова думка, 1992. — 240 с.
3. Качество электрической энергии в системах электроснабжения : учеб. пос. [Текст] / А. Г. Баталов, О. Г. Гриб, Г. А. Сендерович и др. ; под ред. О. Г. Гриба. — Харьков : ХНАГХ, 2006. — 272 с.
4. Пат. 94181. Україна. МПК Н 02 J 3/00. Пристрій для компенсації реактивної потужності трифазного навантаження / М. Й. Бурбело, М. В. Никитенко. — № a201001785 : заявл. 19.02.10 ; опубл. 11.04.2011, Бюл. № 7.
5. Керування пристроями динамічної компенсації реактивної потужності за несиметричних швидкозмінних навантажень [Текст] / М. Й. Бурбело, О. М. Кравець, М. В. Никитенко, Ю. В. Лобода // Електромеханічні і енергозберігаючі системи. Науково-виробничий журнал Кременчуцького державного політехнічного університету. — 2013. — Вип. 2. — С. 37—43.
6. Бурбело М. Й. Спосіб вимірювання параметрів несиметрії навантажень вузлів електричних мереж / М. Й. Бурбело, М. В. Кузьменко, М. В. Никитенко // Вісник Вінницького політехнічного інституту. — 2009. — № 3. — С. 30—33.
7. Бурбело М. Й. Вимірювання параметрів несиметричних швидкозмінних трифазних навантажень / М. Й. Бурбело, С. М. Мельничук, М. В. Никитенко // Технічна електродинаміка. — 2011. — № 2. — С. 54—56.
8. Бурбело М. Й. Вимірювальні канали для установок динамічної компенсації реактивної потужності та симетрування навантажень / М. Й. Бурбело, О. В. Бабенко, М. В. Никитенко // Вісник НУ «Львівська політехніка» Електроенергетичні та електромеханічні системи. — 2010. — № 666. — С. 14—18.
9. Бурбело М. Й. Визначення потужностей за несиметричних режимів трифазних мереж із заземленою нейтраллю / М. Й. Бурбело, С. М. Мельничук // Технічна електродинаміка. — 2015. — № 4. — С. 71—75.

10. Бурбело М. Й. Роздільне вимірювання параметрів несиметричних швидкозмінних трифазних навантажень / М. Й. Бурбело, С. М. Мельничук, Ю. В. Ільчук // Електромеханічні і енергозберігаючі системи. Науково-виробничий журнал Кременчуцького державного політехнічного університету. — 2011. — № 1. — С. 44—46.

11. Бурбело М. Й. Вимірвальний канал для установок динамічної компенсації реактивної потужності [Електронний ресурс] / М. Й. Бурбело, В. І. Романовський // Наукові праці ВНТУ. — 2014. — № 3. — 6 с. — Режим доступу : <http://praci.vntu.edu.ua/article/view/3754/5487>.

Рекомендована кафедрою електротехнічних систем електроспоживання та енергетичного менеджменту ВНТУ

Стаття надійшла до редакції 2.02.2016

Бурбело Михайло Йосипович — д-р техн. наук, професор, професор кафедри електротехнічних систем електроспоживання та енергетичного менеджменту, e-mail: burbelomj@gmail.com;

Войтюк Юрій Петрович — завідувач лабораторіями кафедри електротехнічних систем електроспоживання та енергетичного менеджменту;

Лобода Юрій Васильович — асистент кафедри електротехнічних систем електроспоживання та енергетичного менеджменту.

Вінницький національний технічний університет, Вінниця

M. Yo. Burbelo¹
Yu. P. Voitiuk¹
Yu. V. Loboda¹

Analysis of Errors of Balancing of Quick Load Balancing upon Condition of Nonsine

The article analyzes the mistakes of balancing loads and shows that the use of instant capacity of conventional reverse sequence provides load balancing permissible value of error caused by nonsine.

Keywords: balancing device, nonsine of voltages and currents, instant power of conventional reverse sequence.

Burbelo Mykhailo Yo. — Cand. Sc. (Eng.), Professor, Professor of the Chair of Electrical Systems of Power and Energy Management, e-mail: burbelomj@gmail.com;

Voitiuk Yuri P. — Head of the Laboratories of the Chair of Electrical Systems of Power and Energy Management;

Loboda Yuri V. — Assistant of the Chair of Electrical Systems of Power and Energy Management

М. И. Бурбело¹
Ю. П. Войтюк¹
Ю. В. Лобода¹

Анализ ошибок симметрирования быстроизменяющихся нагрузок в условиях несинусоидальности

Проанализированы ошибки симметрирования быстроизменяющихся нагрузок и показано, что применение мгновенных условных мощностей обратной последовательности обеспечивает допустимое значение ошибок симметрирования, вызванных несинусоидальностью.

Ключевые слова: симметрирования нагрузок, несинусоидальность напряжений и токов, мгновенные условные мощности обратной последовательности.

Бурбело Михаил Иосифович — д-р техн. наук, профессор, профессор кафедры электротехнических систем электропотребления и энергетического менеджмента, e-mail: burbelomj@gmail.com;

Войтюк Юрий Петрович — заведующий лабораториями кафедры электротехнических систем электропотребления и энергетического менеджмента;

Лобода Юрий Васильевич — ассистент кафедры электротехнических систем электропотребления и энергетического менеджмента