

УДК 621.316.7

М. Й. Бурбело, д-р техн. наук, проф.;

Ю. П. Войтюк;

В. О. Кошкалда, асп.

КЕРУВАННЯ КОМПЕНСАЦІЙНО-СИМЕТРУВАЛЬНИМИ ПРИСТРОЯМИ ЗА БАГАТОКРАТНОЇ НЕСИМЕТРІЇ НАВАНТАЖЕНЬ І НЕСИМЕТРІЇ НАПРУГИ ДЖЕРЕЛА ЖИВЛЕННЯ

Обґрунтовано інформативні параметри та алгоритм керування симетрувальними пристроями за багатократною несиметрією навантажень та несиметрії напруги джерела живлення у разі змінного характеру несиметричного навантаження.

Вступ

Компенсаційні симетрувальні пристрої (СП) знаходять широке застосування у симетруванні навантажень окремих вузлів розподільних електричних мереж [1, 2]. Водночас для районних електричних мереж актуальною є задача зменшення несиметрії навантажень одночасно в декількох вузлах з використанням одного СП. З метою збільшення або зменшення впливу компенсаційних СП на суміжні вузли за багатократною несиметрією навантажень вектор провідностей фаз СП навантажень формується у такому вигляді [3, 4]:

$$\begin{aligned} b_{BC} &= \frac{1}{3}[(b_1 - b_{\text{вх}}) - 2k_2 b_2]; \\ b_{CA} &= \frac{1}{3}[(b_1 - b_{\text{вх}}) + k_2 b_2 - \sqrt{3}k_2 g_2]; \\ b_{AB} &= \frac{1}{3}[(b_1 - b_{\text{вх}}) + k_2 b_2 + \sqrt{3}k_2 g_2], \end{aligned} \quad (1)$$

де $b_{\text{вх}} = g_1 \operatorname{tg} \phi_{\text{вх}}$ — задане значення вхідної реактивної провідності після симетрування; $g_1 = \operatorname{Re}(Y_1)$; $b_1 = -\operatorname{Im}(Y_1)$ — активна та реактивна провідності прямої послідовності навантаження $Y_1 = \dot{I}_1 / \dot{U}_1$; $g_2 = \operatorname{Re}(Y_2)$; $b_2 = -\operatorname{Im}(Y_2)$ — активна та реактивна умовні провідності зворотної послідовності навантаження $Y_2 = \dot{I}_2 / \dot{U}_1$; $\operatorname{tg} \phi_{\text{вх}}$ — задане значення коефіцієнта реактивної потужності; k_2 — коефіцієнт, що характеризує ступінь симетрування навантажень.

Для оцінювання доцільності збільшення або зменшення k_2 в процесі регулювання в [5] рекомендується використовувати приріст напруги зворотної послідовності у вузлі регулювання СП. Якщо зі збільшенням k_2 напруга зворотної послідовності у цьому вузлі зменшується (однакова несиметрія навантажень в суміжних вузлах), то k_2 потрібно збільшити; якщо напруга зворотної послідовності, навпаки, збільшується (протилежна несиметрія навантажень в суміжних вузлах), то k_2 потрібно зменшити; а у разі незмінності напруги зворотної послідовності (різна несиметрія навантажень в суміжних вузлах) — k_2 потрібно залишити незмінним ($k_2 = 1$). Недоліком такого підходу є ітераційність процесу симетрування напруги.

В [6] пропонується здійснювати симетрування в два етапи. На першому етапі використовуються умови симетрування (1) за $k_2 = 1$, що забезпечує мінімум струму зворотної послідовності для вузла мережі, в якому встановлений СП. На другому етапі в умови (1) вводиться додаткова провідність $\Delta Y_2^{(0)}$

$$\underline{Y}'_2 = \underline{Y}_2 - \Delta \underline{Y}_2^{(0)} = \underline{Y}_2 - \frac{\dot{U}_{2Б}^{(0)} / \dot{U}_{1Б}^{(0)}}{\underline{Z}_0 + \underline{Z}_Б},$$

а умови (1) після заміни $\underline{Y}_2 = g_2 - jb_2$ на $\underline{Y}'_2 = g'_2 - jb'_2$ набувають вигляду:

$$\begin{aligned} b_{BC}^{(1)} &= b_{BC}^{(0)} + \frac{k'_2}{3} [-2b'_2]; \\ b_{CA}^{(1)} &= b_{CA}^{(0)} + \frac{k'_2}{3} [b'_2 - \sqrt{3}g'_2]; \\ b_{AB}^{(1)} &= b_{AB}^{(0)} + \frac{k'_2}{3} [b'_2 + \sqrt{3}g'_2], \end{aligned} \tag{2}$$

де $b_{BC}^{(0)}, b_{CA}^{(0)}, b_{AB}^{(0)}$ — вектор провідностей фаз СП, сформований на першому етапі.

У цьому випадку мінімум напруги зворотної послідовності досягається, якщо $k'_2 \approx 1$. Однак при цьому зростають втрати потужності, що зумовлені струмом зворотної послідовності. На другому етапі можливим є вибір компромісного значення коефіцієнта k'_2 , наприклад, в діапазоні 0,5...0,8, з метою необхідності дотримання вимог ГОСТ 13109-97 щодо напруги зворотної послідовності і обмеження значення струму зворотної послідовності.

Недоліком алгоритму (2) є нестабільність процесу керування за змінного характеру несиметричного навантаження у вузлі встановлення СП.

Мета роботи полягає в обґрунтуванні інформативного параметра та алгоритму керування СП за змінного характеру несиметричного навантаження.

Обґрунтування результатів

У разі змінного характеру несиметричного навантаження у вузлі встановлення СП вектор провідностей фаз СП (1) доцільно сформулювати у такому вигляді:

$$\begin{aligned} b_{BC} &= \frac{1}{3} [(b_1 - b_{вх}) - 2(b_2 + \Delta b_2)]; \\ b_{CA} &= \frac{1}{3} [(b_1 - b_{вх}) + (b_2 + \Delta b_2) - \sqrt{3}(g_2 + \Delta g_2)]; \\ b_{AB} &= \frac{1}{3} [(b_1 - b_{вх}) + (b_2 + \Delta b_2) + \sqrt{3}(g_2 + \Delta g_2)], \end{aligned} \tag{3}$$

де $\Delta \underline{Y}_2 = \Delta g_2 - j\Delta b_2$ — прирости комплексної провідності зворотної послідовності та її складових, що зумовлені несиметричними навантаженнями суміжних вузлів та несиметрією напруги джерела живлення.

З метою обґрунтування інформативних параметрів керування СП розглянемо схему заміщення розподільної мережі з двома несиметричними споживачами, які приєднані до вузлів А та Б, до останнього з яких приєднаний СП (рис. 1).

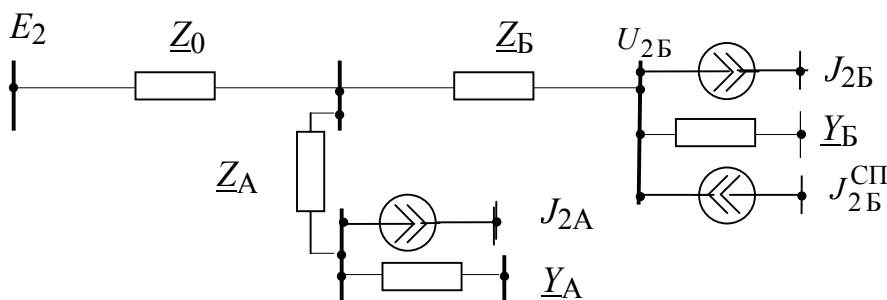


Рис. 1. Спрощена схема заміщення для струмів зворотної послідовності мережі

Вираз для напруги зворотної послідовності у вузлі Б за багатократної несиметрії

$$\dot{U}_{2B} = \dot{E}_{2B} + (\underline{Z}_0 + \underline{Z}_B)(\dot{J}'_{2B} - \dot{J}_{2B}^{\text{СП}}) + \underline{Z}_0 \dot{J}'_{2A},$$

де $\dot{J}'_{2A} = \dot{J}_{2A} + \underline{Y}_A \dot{E}_{2A}$; $\dot{J}'_{2B} = \dot{J}_{2B} + \underline{Y}_B \dot{E}_{2B}$ — еквівалентні комплексні значення струму зворотної послідовності вузлів з урахуванням несиметрії навантаження та напруги джерела живлення (\dot{E}_{2A} , \dot{E}_{2B} — складові напруги зворотної послідовності у вузлах А та Б, що зумовлені напругою зворотної послідовності \dot{E}_2 джерела живлення).

За умови мінімуму $\dot{U}_{2B} \rightarrow \min$ з урахуванням можливості досягнення нульового значення напруги зворотної послідовності отримуємо:

$$\dot{J}_{2B}^{\text{СП}} = \dot{J}'_{2B} + \frac{\dot{E}_{2B} + \underline{Z}_0 \dot{J}'_{2A}}{\underline{Z}_0 + \underline{Z}_B}.$$

З виразу випливає, що напруга зворотної послідовності у вузлі Б практично визначається напругою зворотної послідовності джерела живлення та струмом зворотної послідовності навантаження у вузлі А:

$$\dot{U}_{2B} \approx \dot{E}_{2B} + \underline{Z}_0 \dot{J}'_{2A}.$$

З попереднього виразу також видно, що в момент компенсації струму \dot{J}'_{2B} і частковій компенсації напруги зворотної послідовності у вузлі Б, наприклад, у разі $k'_2 = 0,5 \dots 0,8$, струм СП

$$\dot{J}_{2B}^{\text{СП}} = \dot{J}'_{2B} + k'_2 \cdot \frac{\dot{E}_{2B} + \underline{Z}_0 \dot{J}'_{2A}}{\underline{Z}_0 + \underline{Z}_B}.$$

Отже, в умови (3) необхідно ввести додаткову провідність $\Delta \underline{Y}_2$, яка визначається з виразу

$$\Delta \underline{Y}_2 = k''_2 \cdot \frac{\dot{U}_{2B} / \dot{U}_{1B}}{\underline{Z}_0 + \underline{Z}_B},$$

де \dot{U}_{1B} — комплексна напруга прямої послідовності у вузлі Б.

Залежності напруги і струму зворотної послідовності у разі керування за алгоритмами (2) і (3) (у разі несиметрії напруги джерела живлення $K_{2U} = 1,5\%$) як функцій коефіцієнтів k'_2 та k''_2 зображено, відповідно, на рис. 2а та б.

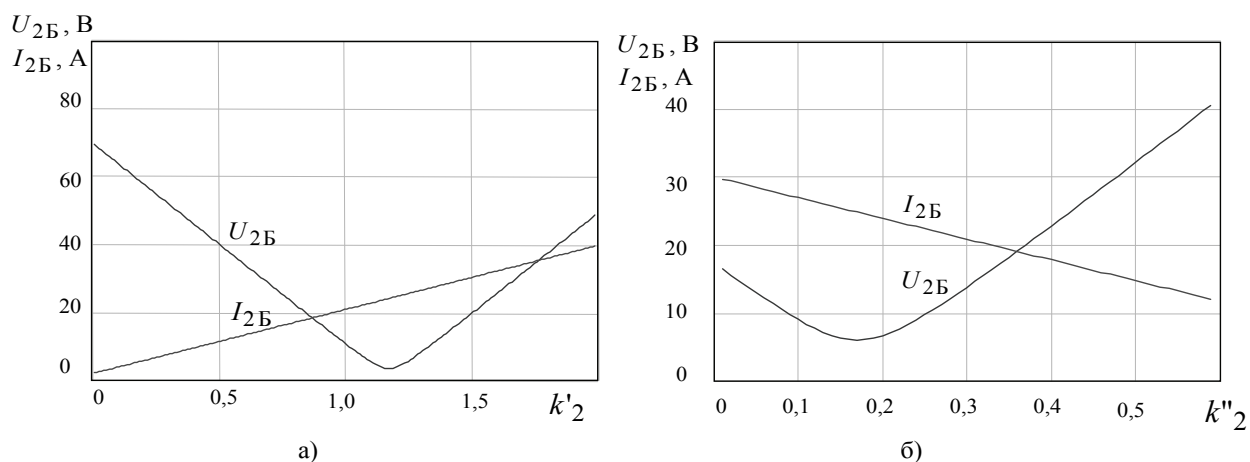


Рис. 2. Залежності напруги і струму зворотної послідовності: а) за алгоритмом (2); б) за алгоритмом (3)

Зважаючи на те, що точність симетрування напруги та струму практично не змінилась, а для алгоритму (3) характерна стабільність процесу керування за змінного характеру несиметричного навантаження у вузлі встановлення СП, то останній є порівняно кращим.

Висновки

Запропоновано інформативні параметри та алгоритм керування компенсаційними СП за багатократною несиметрії навантажень та несиметрії напруги джерела живлення у разі змінного характеру несиметричного навантаження з використанням провідності зворотної послідовності навантаження у вузлі встановлення СП.

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. Качество электрической энергии в системах электроснабжения : учеб. пособ. / [А. Г. Баталов, О. Г. Гриб, Г. А. Сендерович и др.] ; под ред. О. Г. Гриба. — Харьков : ХНАГХ, 2006. — 272 с.
3. Девятко М. В. Керування компенсаційно-симетрувальними пристроями за багатократною несиметрії навантажень в розподільних мережах : автореф. дис. на здобуття наук. ступеня канд. техн. наук за спеціальністю 05.14.02 — Електричні станції, мережі і системи. — Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця, 2012. — 20 с.
4. Бурбело М. Й. Умови керування симетрувальними пристроями за двократною несиметрії в розподільній мережі / М. Й. Бурбело, М. В. Девятко // Вісник Вінницького політехнічного інституту. — 2012. — № 2. — С. 79—82.
5. Бурбело М. Й. Керування симетрувальними пристроями за багатократною несиметрії навантажень в розподільній мережі [Електронний ресурс] / М. Й. Бурбело, М. В. Девятко, Ю. П. Войтюк // Наукові праці ВНТУ. — 2012. — № 2. — 5 с. — Режим доступу до журналу : http://www.nbuu.gov.ua/e-journals/VNTU/2012-2.files/12mjbden_ua.pdf.
6. Бурбело М. Й. Алгоритм керування симетрувальними пристроями за багатократною несиметрії в розподільних мережах / М. Й. Бурбело, М. В. Девятко, Ю. П. Войтюк // Технічна електродинаміка. — 2012. — № 6. — С. 58—60.

Рекомендована кафедрою електротехнічних систем електроспоживання та енергетичного менеджменту

Стаття надійшла до редакції 16.11.12

Рекомендована до друку 6.12.12

Бурбело Михайло Йосипович — професор, **Войтюк Юрій Петрович** — інженер, **Кошкалда Віталій Олександрович** — аспірант.

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