

ВИБІР ІНФОРМАТИВНИХ ПАРАМЕТРІВ ДЛЯ КЕРУВАННЯ СИМЕТРУВАЛЬНИМИ ПРИСТРОЯМИ

Бурбело М. Й., Мельничук Л. М., Лобода Ю. В.

Вінницький національний технічний університет

Показано, що застосування умовної потужності зворотної послідовності для керування симетрувальними пристроями забезпечує істотне зменшення помилок симетрування.

Постановка проблеми. Найбільш поширеним типом компенсуючих пристроїв є регульовані конденсаторні установки. До їх переваг можна віднести низьку вартість, простоту обслуговування, можливість приєднання практично в будь-якому вузлі системи електропостачання. Однак швидкодія таких пристроїв в багатьох випадках є недостатньою. Значно кращими динамічними характеристиками володіють статичні тиристорні та синхронні компенсатори, однак алгоритми їх пофазового керування вивчені недостатньо.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Симетруванню навантажень присвячені багаточисленні публікації [1]. Основними чинниками, які впливають на швидкодію та точність симетрування, є вибір інформативних параметрів і врахування статичних характеристик вузлів навантажень [2, 3].

Одними з показників несиметричності режиму є комплексні умовні потужності зворотної послідовності [4, 5]:

$$\underline{S}_2 = 3 \left(\dot{U}_1 \dot{I}_2 + \dot{U}_2 \dot{I}_1 \right) = \left(\dot{U}_\alpha \dot{I}_\alpha - \dot{U}_\beta \dot{I}_\beta \right); \quad (1)$$

$$\underline{S}_{2q} = 3 \left(\dot{U}_1 \dot{I}_2 - \dot{U}_2 \dot{I}_1 \right) = j \left(\dot{U}_\alpha \dot{I}_\beta + \dot{U}_\beta \dot{I}_\alpha \right). \quad (2)$$

де $\dot{U}_1, \dot{U}_2, \dot{I}_1, \dot{I}_2$ – комплексні напруги та струми відповідно прямої та зворотної послідовностей;

$\dot{U}_\alpha, \dot{U}_\beta, \dot{I}_\alpha, \dot{I}_\beta$ – комплексні напруги і струми в ортогональній системі $\alpha\beta$ -координат.

Модулі цих величин характеризують амплітуду пульсацій активної та реактивної потужностей, а дійсні та уявні складові є інформативними параметрами для симетрування навантажень.

Згідно з виразами (1), (2) комплексні умовні потужності зворотної послідовності \underline{S}_2 та \underline{S}_{2q} можна характеризувати відповідними складниками миттєвих умовних потужностей зворотної послідовності, відповідно [5]:

$$p_2 = u_\alpha i_\alpha - u_\beta i_\beta; \quad q_2 = u'_\alpha i_\alpha - u'_\beta i_\beta; \quad (3)$$

$$p_{2q} = -u'_\alpha i_\beta - u'_\beta i_\alpha; \quad q_{2q} = u_\beta i_\alpha + u_\alpha i_\beta. \quad (4)$$

де штрихом позначено фазовий зсув миттєвих величин на -90 ел. градусів.

Складники миттєвих умовних потужностей ма-

ють постійні складові, які є інформативними параметрами. Тому для отримання інформації про дійсну та уявну складові умовної потужності зворотної послідовності використано підхід, що оснований на інтегруванні добутку миттєвих напруг і струмів на ковзному інтервалі часу тривалістю пів періоду ($T/2$):

$$P_2(t) = \frac{2}{T} \int_{t-T/2}^t p_2 dt; \quad Q_2(t) = \frac{2}{T} \int_{t-T/2}^t q_2 dt. \quad (5)$$

Мета роботи. Метою роботи є вибір інформативних параметрів, які дозволять більш точно симетрувати навантаження за різних статичних характеристик вузлів навантажень від напруги.

Основні матеріали дослідження. Формування вектора керування потужностей фаз компенсаційних СП здійснюється на основі вимірних поточних значень складників умовної потужності зворотної послідовності $P_2(t), Q_2(t)$ за такими умовами:

$$\begin{aligned} Q_{AB}(t) &= \frac{1}{3} (Q(t) + Q_2(t) + \sqrt{3} P_2(t)); \\ Q_{BC}(t) &= \frac{1}{3} (Q(t) - 2Q_2(t)); \\ Q_{CA}(t) &= \frac{1}{3} (Q(t) + Q_2(t) - \sqrt{3} P_2(t)); \end{aligned} \quad (6)$$

Проаналізуємо вплив на точність симетрування навантажень у разі, якщо їх статичні характеристики апроксимуються степеневими залежностями

$$\begin{aligned} S_{BC}(k_P, k_Q) &= P_{BC} \left(\frac{U_{BC}}{U_{ном}} \right)^{k_P} + j Q_{BC} \left(\frac{U_{BC}}{U_{ном}} \right)^{k_Q}; \\ S_{CA}(k_P, k_Q) &= P_{CA} \left(\frac{U_{CA}}{U_{ном}} \right)^{k_P} + j Q_{CA} \left(\frac{U_{CA}}{U_{ном}} \right)^{k_Q}; \\ S_{AB}(k_P, k_Q) &= P_{AB} \left(\frac{U_{AB}}{U_{ном}} \right)^{k_P} + j Q_{AB} \left(\frac{U_{AB}}{U_{ном}} \right)^{k_Q}, \end{aligned} \quad (7)$$

де $P_{BC}, Q_{BC}, P_{CA}, Q_{CA}, P_{AB}, Q_{AB}$ – відповідні активні та реактивні міжфазні потужності навантажень BC, CA, AB ;

U_{BC}, U_{CA}, U_{AB} – фактичне значення міжфазних напруг BC, CA, AB у вузлі навантажень;

$U_{ном}$ – номінальне значення напруги мережі;

k_P, k_Q – характеристичні коефіцієнти, що визна-

чають залежності потужностей навантаження від напруги (приймаємо діапазон їх зміни в таких межах: $k_P=0\dots 2$, $k_Q=0\dots 4$).

На рис. 1 зображено залежності коефіцієнтів несиметрії струму та напруги за зворотною послідовністю у разі використання як інформативних параметрів потужностей зворотної послідовності $P_2(t)$, $Q_2(t)$ за різних статичних характеристик навантаження, з'єднаного в "трикутник" з такими потужностями фаз:

$$\underline{S}_{AB} = \underline{S}_{CA} = 200 + j100, \quad \underline{S}_{BC} = 250 + j125 \text{ кВ}\cdot\text{А}.$$

Залежності побудовано в функції характеристичних коефіцієнтів k_P , k_Q (цифрою 0 на графіках позначено залежності для $k_P=0$; 1 – для $k_P=1$; 2 – для $k_P=2$).

На рис. 2 зображено аналогічні залежності коефіцієнтів несиметрії напруги та струму за зворотною послідовністю у разі використання як інформативних параметрів потужностей зворотної послідовності $P_{2q}(t)$, $Q_{2q}(t)$.

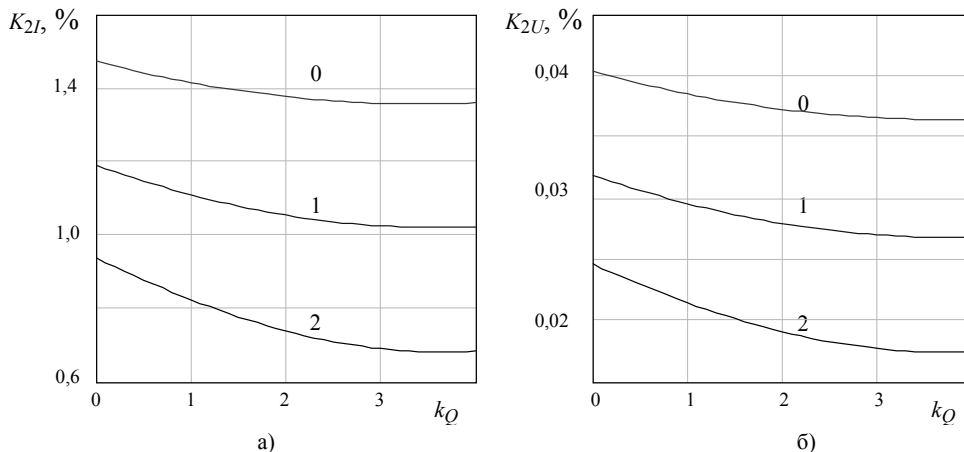


Рисунок 1 – Залежності коефіцієнтів несиметрії струму та напруги за зворотною послідовністю у разі використання потужностей $P_2(t)$, $Q_2(t)$

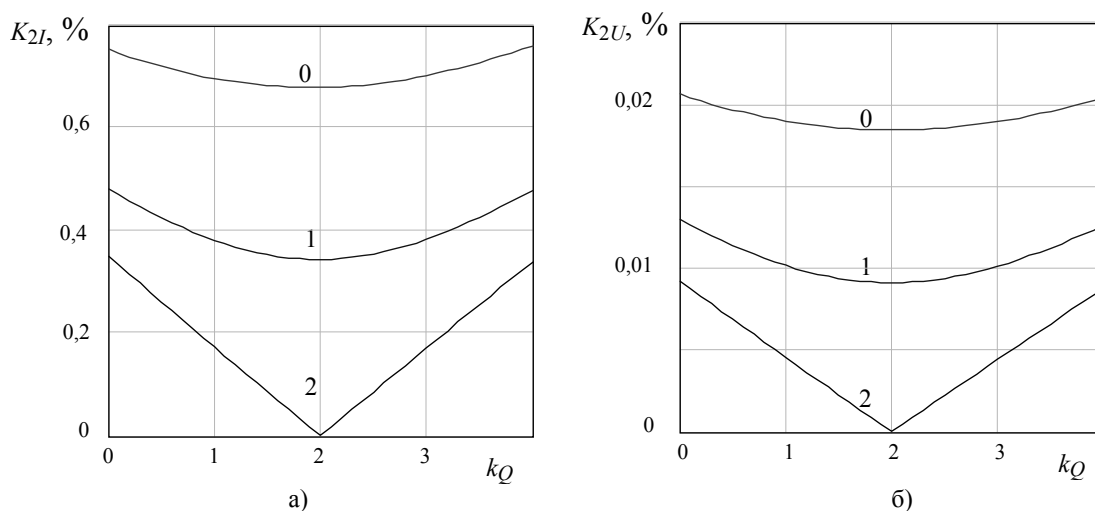


Рисунок 2 – Залежності коефіцієнтів несиметрії струму та напруги за зворотною послідовністю у разі використання потужностей $P_{2q}(t)$, $Q_{2q}(t)$

Як видно з наведених рисунків, використання в якості інформативних параметрів потужностей зворотної послідовності $P_{2q}(t)$, $Q_{2q}(t)$ забезпечує краще симетрування навантажень. За квадратичних статичних характеристик навантаження симетрування буде повним. Це пояснюється тим, що конденсаторні батареї СП самі мають квадратичні статичні характеристики. Якщо статичні характеристики навантажень відрізняються від квадратичних, то виникають помилки симетрування.

Розглянемо симетрування двох різнохарактерних

навантажень, з'єднаного в "трикутник" з такими комплексними потужностями фаз: $\underline{S}_{AB} = \underline{S}_{CA} = 100 + j50$, $\underline{S}_{BC} = 150 + j75$ кВ·А, та з'єднаного в "зірку" з такими потужностями фаз: $\underline{S}_A = 100 + j50$, $\underline{S}_B = \underline{S}_C = 125 + j62,5$ кВ·А (режим а), $\underline{S}_B = 100 + j50$, $\underline{S}_A = \underline{S}_C = 125 + j62,5$ кВ·А (режим б), $\underline{S}_C = 100 + j50$, $\underline{S}_A = \underline{S}_B = 125 + j62,5$ кВ·А (режим в). В таблиці наведені значення величин, які характеризують несиметрію навантажень в цих трьох режимах.

Таблиця – Значення величин, які характеризують несиметрію навантажень

| Величина | Режим <i>a</i> | Режим <i>b</i> | Режим <i>c</i> |
|-----------------------------|----------------|----------------|----------------|
| \underline{S}_2 , квар | -57,7-j39,0 | -23,0-j8,7 | -14,2-j44,1 |
| \underline{S}_{2q} , квар | -61,7-j40,9 | -24,5-j10,8 | -16,8-j43,9 |

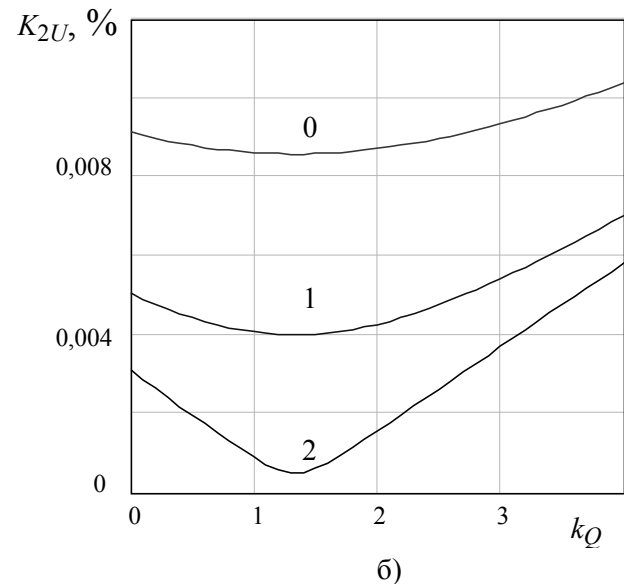
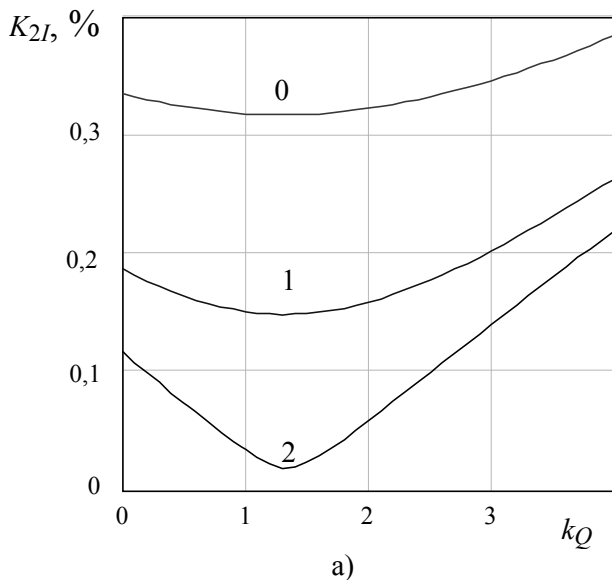


Рисунок 3 – Залежності коефіцієнтів несиметрії струму та напруги за зворотною послідовністю за різнохарактерного навантаження у разі використання потужностей $P_{2q}(t)$, $Q_{2q}(t)$

Висновки. Проаналізовано умови симетрування навантажень, які представлені через ортогональні складники умовної потужності зворотної послідовності, і показано, що їх застосування в якості інформативних параметрів для керування симетрувальними пристроями забезпечує можливість істотного зменшення помилок симетрування.

Список використаних джерел

1. Шидловский А. К. Повышение качества энергии в электрических сетях / А. К. Шидловский, В. Г. Кузнецов. – К. : Наукова думка, 1985. – 268 с.
2. Зорін В. В. Оцінка взаємовпливу статичних характеристик вузла навантажень і оптимальних розв'язків математичних моделей зменшення несиметрії та відхилень напруг / В. В. Зорін, М. Й. Бурбело, А. М. Волоцький // Технічна електродинаміка. – 2009. – № 1. – С. 35–37.
3. Бурбело М. Й. Аналіз умов симетрування навантажень з використанням компенсаційних симетрувальних установок / М. Й. Бурбело, М. В. Кузьменко // Енергетика та електрифікація. – 2009. – № 5. – С. 3–6.
4. Маркушевич Н. С. Качество напряжения в городских электрических сетях / Н. С. Маркушевич, Л. А. Солдаткина – М.: Энергия, 1975. – 128 с.
5. Бурбело М. Й. Визначення потужностей за несиметричних режимів трифазних мереж із заземле-

ною нейтраллю / М. Й. Бурбело, С. М. Мельничук // Технічна електродинаміка. – 2015. – № 4. – С. 71–75.

Аналіз помилок симетрування за різних статичних характеристик навантаження з'єданого в "трикутник" в режимі *a* з найбільшою несиметрією (рис. 3) показує, що використання в якості інформативних параметрів потужностей зворотної послідовності $P_{2q}(t)$, $Q_{2q}(t)$ забезпечує достатньо точне симетрування навантажень і у випадку різнохарактерного навантаження.

ною нейтраллю / М. Й. Бурбело, С. М. Мельничук // Технічна електродинаміка. – 2015. – № 4. – С. 71–75.

Аннотация

ВЫБОР ИНФОРМАТИВНЫХ ПАРАМЕТРОВ ДЛЯ УПРАВЛЕНИЯ СИММЕТРИРУЮЩИМИ УСТРОЙСТВАМИ

Бурбело М. И., Мельничук Л. М., Лобода Ю. В.

Показано, что применение условной мощности обратной последовательности для управления симметрирующими устройствами обеспечивает существенное уменьшение ошибок симметрирования.

Abstract

CHOICE OF THE INFORMATIVE PARAMETER TO BALANCING DEVICE CONTROL

M. Burbelo, L. Melnychuk, U. Loboda

It is shown that the use of inverse sequence conventional power to balancing device control provides a significant reduction in errors balancing.