

М. Й. Бурбело, д-р. техн. наук, проф.; М. В. Девятко, асп.

УМОВИ КЕРУВАННЯ СИМЕТРУВАЛЬНИМИ ПРИСТРОЯМИ ЗА ДВОКРАТНОЇ НЕСИМЕТРІЇ В РОЗПОДІЛЬНІЙ МЕРЕЖІ

Проаналізовано умови керування компенсаційно-симетрувальними пристроями за двократною несиметрії навантажень в розподільній мережі. Критерієм керування є мінімум втрат потужності. Це забезпечує оптимальність прийняття рішення стосовно несиметрії напруги джерела живлення.

Вступ

Несиметрія напруги є вкрай небажаною, оскільки викликає зменшення надійності та економічної ефективності роботи електроприймачів та призводить до збільшення втрат потужності в лініях електропередач і трансформаторах [1, 2].

Одним із напрямків зменшення несиметрії напруги в розподільних мережах є встановлення спеціальних симетрувальних пристроїв (СП). Симетрувальні пристрої поділяються на такі види: поздовжні СП, що з'єднують трифазну мережу з навантаженням, і поперечні СП, які вмикаються в трифазну мережу паралельно з несиметричним навантаженням.

Найефективнішими для симетрування навантажень розподільних мереж енергопостачальних компаній є компенсаційні СП поперечного типу. Компенсаційні СП можуть бути з трьома або з двома ємнісними елементами. Керування такими СП можна відносно нескладно реалізувати.

Умови формування вектора провідностей секцій конденсаторних батарей СП за однократною несиметрії навантажень мають такий вигляд:

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

де $b_{\text{вх}} = g_1 \operatorname{tg} \phi_{\text{вх}}$ — задане значення вхідної реактивної провідності після симетрування, $g_1 = \operatorname{Re}(\underline{Y}_1)$; $b_1 = -\operatorname{Im}(\underline{Y}_1)$ — активна та реактивна провідності прямої послідовності навантаження $\underline{Y}_1 = \dot{I}_1 / \dot{U}_1$; $g_2 = \operatorname{Re}(\underline{Y}_2)$; $b_2 = -\operatorname{Im}(\underline{Y}_2)$ — активна та реактивна умовні провідності зворотної послідовності навантаження $\underline{Y}_2 = \dot{I}_2 / \dot{U}_1$.

За багатократною несиметрії навантажень критерій симетрування полягає в мінімізації напруг зворотної послідовності в усіх вузлах навантажень розподільної мережі

$$U_{2(k)} \rightarrow \min, \quad k = 1, \dots, n, \quad (2)$$

де $U_{2(k)}$ — напруга зворотної послідовності у вузлі k .

У [3] запропоновано критерій, який полягає в мінімізації втрат потужності в розподільній мережі, зумовлених струмами зворотної послідовності:

$$\Delta P_2 \rightarrow \min. \quad (3)$$

Водночас за багатократною несиметрії навантажень відсутнє обґрунтування вибору умов формування вектора провідностей секцій конденсаторних батарей у разі застосування критерію (3).

Метою роботи є дослідження умов керування СП за двократною несиметрії в електричній мережі.

Обґрунтування результатів

Для реалізації критерію (3) з метою збільшення або зменшення впливу компенсаційних СП на суміжні вузли в умову симетрування навантажень (1) достатньо ввести коефіцієнт k_2 [4]:

$$b_{BC} = \frac{1}{3}[(b_1 - b_{вх}) - 2k_2 b_2];$$

$$b_{CA} = \frac{1}{3}[(b_1 - b_{вх}) + k_2 b_2 - \sqrt{3}k_2 g_2];$$

$$b_{AB} = \frac{1}{3}[(b_1 - b_{вх}) + k_2 b_2 + \sqrt{3}k_2 g_2],$$
(4)

де k_2 – коефіцієнт, що характеризує ступінь симетрування навантажень.

Розглянемо магістральну мережу з двома несиметричними споживачами, які приєднані до вузлів А та Б (рис. 1).

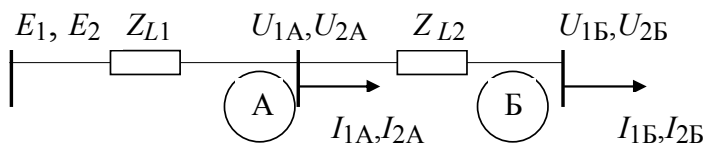


Рис. 1. Схема магістральної мережі з двома несиметричними споживачами

На рис. 2а, б показано залежності сумарних втрат потужності в магістральній лінії (крива 1), на її першій (крива 2) та другій (крива 3) ділянках, а також напруги зворотної послідовності у вузлах А та Б (криві 4 та 5), відповідно, за відсутності та наявності несиметрії напруги джерела живлення, як функцій коефіцієнта k_2 у разі застосування умов (4).

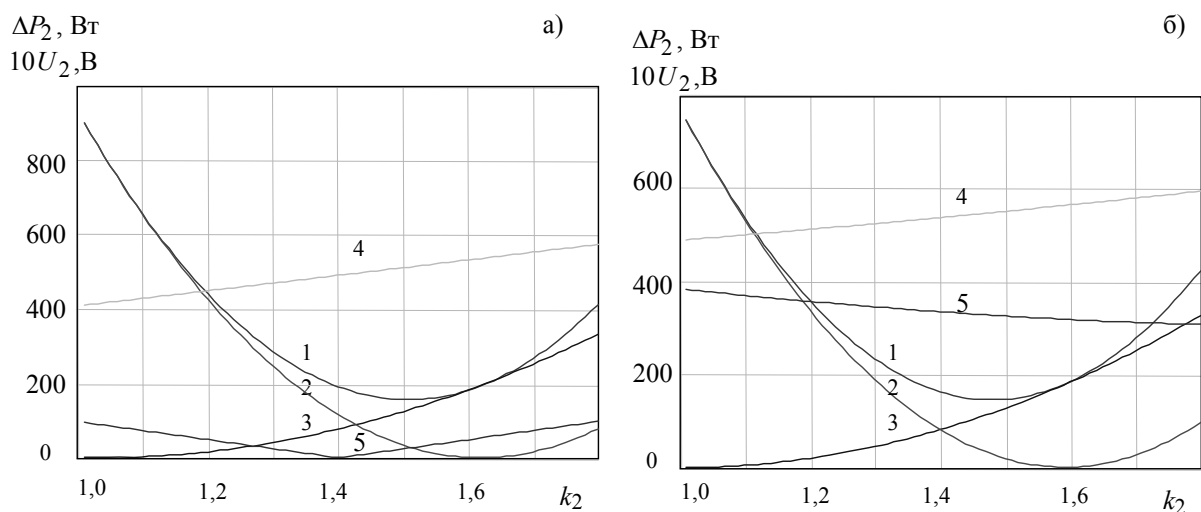


Рис. 2. Залежності втрат потужності та напруги зворотної послідовності:

- а – якщо несиметрія напруги джерела живлення відсутня;
- б – якщо наявна несиметрія напруги джерела живлення

Як впливає з рис. 2б, за несиметрії напруги джерела залежність напруги зворотної послідовності (крива 5) у вузлі, в якому передбачено регулювання СП, не має мінімуму. Водночас мінімум залежності втрат активної потужності (крива 1), зумовлених передаванням потужності S_p , не зміщується у разі несиметрії напруги джерела живлення. Отже, застосування критерію (3) забезпечує інваріантність оптимального рішення до несиметрії напруги джерела живлення.

На рис. 3 показано залежності потужностей зворотної послідовності на першій (крива 1) та другій (крива 2) ділянках магістральної лінії. З рис. 3 випливає, що потужність зворотної послідовності практично не залежить від несиметрії напруги джерела. Для керування СП з метою симетрування навантажень двох споживачів, за невеликої їх електричної віддаленості, мінімум втрат потужності можна фіксувати за мінімумом потужностей зворотної послідовно-

сті з урахуванням співвідношення активних опорів цих ділянок.

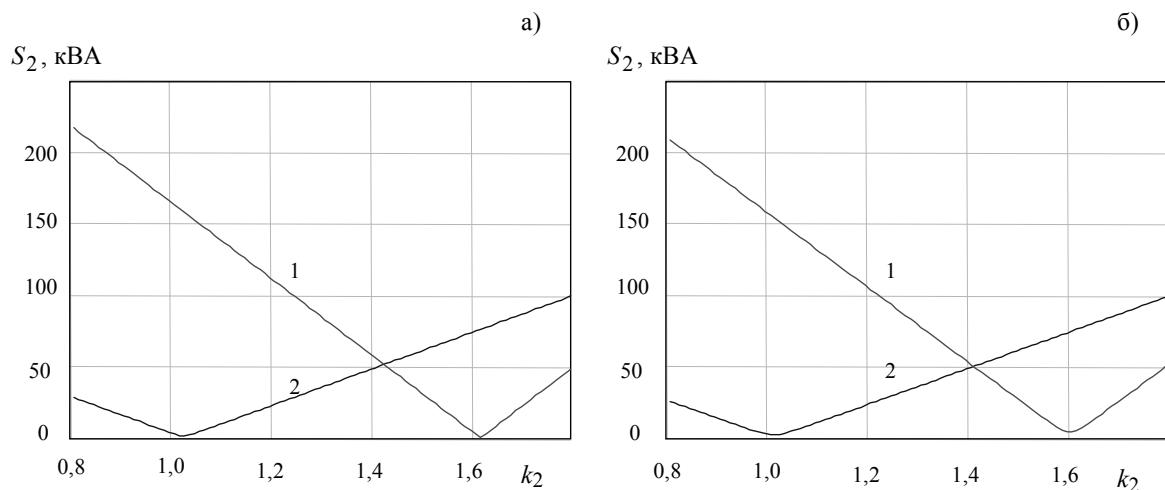


Рис. 3. Залежності потужностей зворотної послідовності:

а – якщо несиметрія напруги джерела живлення відсутня;
б – якщо наявна несиметрія напруги джерела живлення

Дослідимо вплив характеру несиметрії навантажень в суміжних вузлах на залишкову несиметрію напруги під час симетрування навантаження в одному з вузлів. На рис. 4 показано залежності напруг зворотної послідовності на суміжних споживачах за однакового фазового зсуву струмів зворотної послідовності в обох вузлах (рис. 4а) та за фазового зсуву $\pi/2$ (рис. 4б). З рис. 4 випливає, що за будь-якого характеру несиметрії навантажень залишкові значення напруги зворотної послідовності у вузлі розміщення СП в момент виконання умови (4) будуть порівняно невеликими. За однакового характеру несиметрії навантаження доцільним є збільшення коефіцієнта k_2 до значення $k_2 = 1,2$; за різного характеру – доцільно брати $k_2 = 1$, а за протилежного характеру несиметрії – знижувати до значення $k_2 = 0,8$.

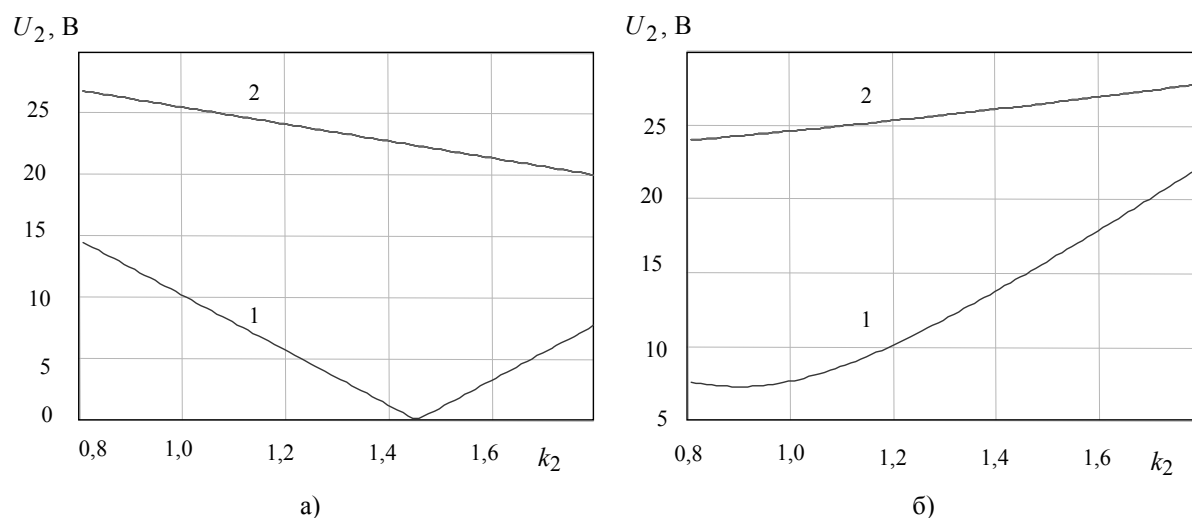


Рис. 4. Залежності напруг зворотної послідовності у разі симетрування в одному з вузлів мережі:
а – за однакового характеру несиметрії навантажень; *б* – за різного характеру несиметрії навантажень

У разі симетрування навантажень одночасно в обох вузлах характер регулювання коефіцієнта k_2 зберігається (рис. 5), але діапазон звужується ($k_2 = 0,9 \dots 1,1$). Значення k_2 для вузла, в якому напруга зворотної послідовності відображена кривою 2, взято $k_2 = 1,1$, а графіки побудовано при зміні k_2 у вузлі, напруга зворотної послідовності якого відображена кривою 1.

Отже, встановлювати СП краще в обох вузлах мережі.

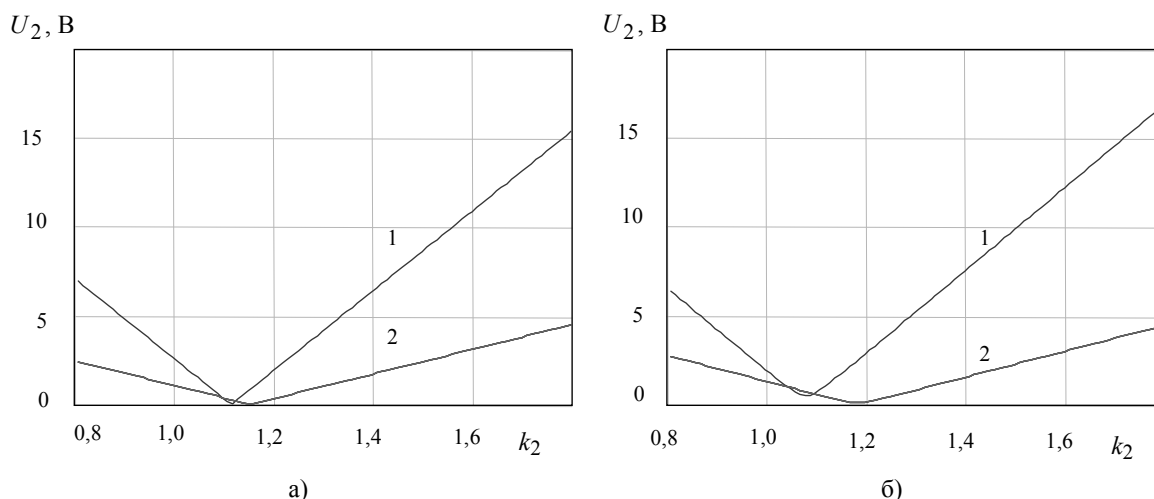


Рис. 5. Залежності напруг зворотної послідовності у разі симетрування в обох вузлах мережі: *a* – за однакового характеру несиметрії навантажень; *б* – за різного характеру несиметрії навантажень

Висновки

Показано, що за двократної несиметрії навантажень застосування критерію мінімуму втрат потужності в розподільній мережі забезпечує інваріантність оптимального рішення до несиметрії напруги джерела живлення. Значення коефіцієнта k_2 , який вводиться в умови симетрування і характеризує задану ступінь симетрування, рекомендовано регулювати в залежності від взаємного характеру несиметрії в суміжних вузлах мережі, що дозволить компенсувати несиметричні спотворення обох споживачів за меншої потужності СП. Встановлення СП краще виконувати в обох вузлах або у вузлі з більшим несиметричним навантаженням.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Шидловский А. К. Повышение качества энергии в электрических сетях / А. К. Шидловский, В. Г. Кузнецов. — К. : Наукова думка, 1985. — 268 с.
2. 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.
3. Бурбело М. Й. Аналіз цільових функцій симетрування навантажень за багатократної несиметрії / М. Й. Бурбело, М. В. Кузьменко // Вісник Вінницького політехнічного інституту. — 2010. — № 6. — С. 43—47.
4. Симетрування навантажень вузлів електричних мереж з використанням двофазних симетрувальних установок / М. Й. Бурбело, М. В. Кузьменко, О. О. Бірюков, О. М. Кінзерська // Вісник Вінницького політехнічного інституту. — 2008. — № 5. — С. 35—38.

Рекомендована кафедрою електротехнічних систем електроспоживання та енергетичного менеджменту

Стаття надійшла до редакції 10.10.11
Рекомендована до друку 29.11.11

Бурбело Михайло Йосипович — професор, **Девятко Марина Василівна** — аспірант.

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