

УДК 621.316.7

М. Й. Бурбело, д. т. н., проф.; М. В. Девятко; Ю. П. Войтюк

КЕРУВАННЯ СИМЕТРУВАЛЬНИМИ ПРИСТРОЯМИ ЗА БАГАТОКРАТНОЇ НЕСИМЕТРІЇ НАВАНТАЖЕНЬ У РОЗПОДІЛЬНІЙ ЕЛЕКТРИЧНІЙ МЕРЕЖІ

У статті проаналізовано критерії та алгоритми керування компенсаційним симетрувальним пристроєм за багатократною несиметрією в розподільній мережі.

Ключові слова: симетрувальні пристрої, розподільна мережа, несиметричні навантаження, керування.

Вступ

Найефективнішими для симетрування навантажень розподільних мереж енергопостачальних компаній є компенсаційні симетрувальні пристрої (СП), які забезпечують водночас компенсацію реактивних навантажень і зменшення напруги зворотної послідовності у вузлах приєднання споживачів. Компенсаційні СП порівняно легко змоделювати керованими.

ВУ процесі керування компенсаційними СП використовують критерії, які полягають у мінімізації модулів: напруги зворотної послідовності \dot{U}_2 [1] чи струму зворотної послідовності \dot{I}_2 [1, 2]. Поряд з останнім критерієм симетрування навантажень забезпечується також шляхом використання мінімуму модулів пульсувальної потужності $\underline{N} = 3(\dot{U}_1 \dot{I}_2 + \dot{U}_2 \dot{I}_1)$ [3, 4]; пульсувальної потужності зворотної послідовності навантаження $\underline{N}_2 = 3\dot{U}_1 \dot{I}_2$, умовної потужності зворотної послідовності $\underline{S}'_2 = 3\dot{U}_1 \dot{I}_2^*$, умовної провідності зворотної послідовності $\underline{Y}_2 = \dot{I}_2 / \dot{U}_1$, різниці пульсувальних потужностей $\Delta \underline{N} = 3(\dot{U}_1 \dot{I}_2 - \dot{U}_2 \dot{I}_1)$ [5, 6].

За багаторазової несиметрії навантажень у розподільних мережах енергопостачальних компаній у якості критерію симетрування навантажень можна використовувати також мінімум суми квадратів діючих значень напруг зворотної послідовності в усіх вузлах мережі та мінімум утрат активної потужності в мережі, зумовлених струмами зворотної послідовності [7]. Водночас за багаторазової несиметрії відсутнє обґрунтування інформативного параметра та алгоритмів керування СП.

Мета роботи

Мета роботи полягає в обґрунтуванні інформативного параметра та алгоритму керування СП.

Обґрунтування результатів

Розглянемо магістральну мережу з двома несиметричними споживачами, які приєднані до вузлів А та Б, за невеликої їхньої електричної віддаленості наприклад, у разі $|\underline{Z}_B| \leq |\underline{Z}_0|$ (рис. 1).

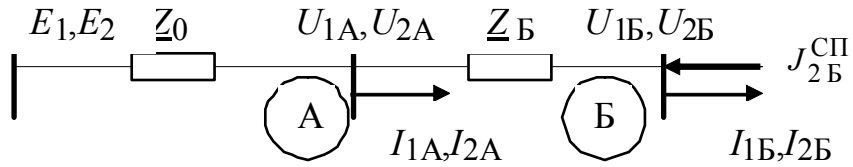


Рис. 1. Схема магістральної мережі з двома несиметричними споживачами

Вектор потужностей фаз СП за багаторазової несиметрії, наприклад, у разі використання пульсувальної потужності \underline{N}_2 , формується в такому вигляді [8]:

$$Q_{BC} = \frac{1}{3} [(Q_n - Q_{ex}) + 2k_2 \operatorname{Im} \underline{N}_2];$$

$$Q_{CA} = \frac{1}{3} [(Q_n - Q_{ex}) - k_2 \operatorname{Im} \underline{N}_2 - \sqrt{3}k_2 \operatorname{Re} \underline{N}_2];$$

$$Q_{AB} = \frac{1}{3} [(Q_n - Q_{ex}) - k_2 \operatorname{Im} \underline{N}_2 + \sqrt{3}k_2 \operatorname{Re} \underline{N}_2].$$

де $Q_{ex} = P_n \operatorname{tg} \varphi_{ex}$ – задане значення вхідної реактивної потужності після симетрування, $\operatorname{tg} \varphi_{ex}$ – задане значення коефіцієнта реактивної потужності; P_n , Q_n – активна та реактивна потужності навантаження; k_2 – коефіцієнт, що характеризує ступінь симетрування навантажень.

Характерною особливістю багаторазової несиметрії є відсутність збігу мінімумів напруги і струму зворотної послідовності в процесі регулювання (рис. 2). Як видно з наведеного рисунка, під час регулювання k_2 з використанням умов (1), мінімум напруги (криві 1) за однакового характеру несиметрії в суміжних вузлах мережі зміщується вправо, а за протилежного – вліво відносно мінімуму струму зворотної послідовності (криві 2).

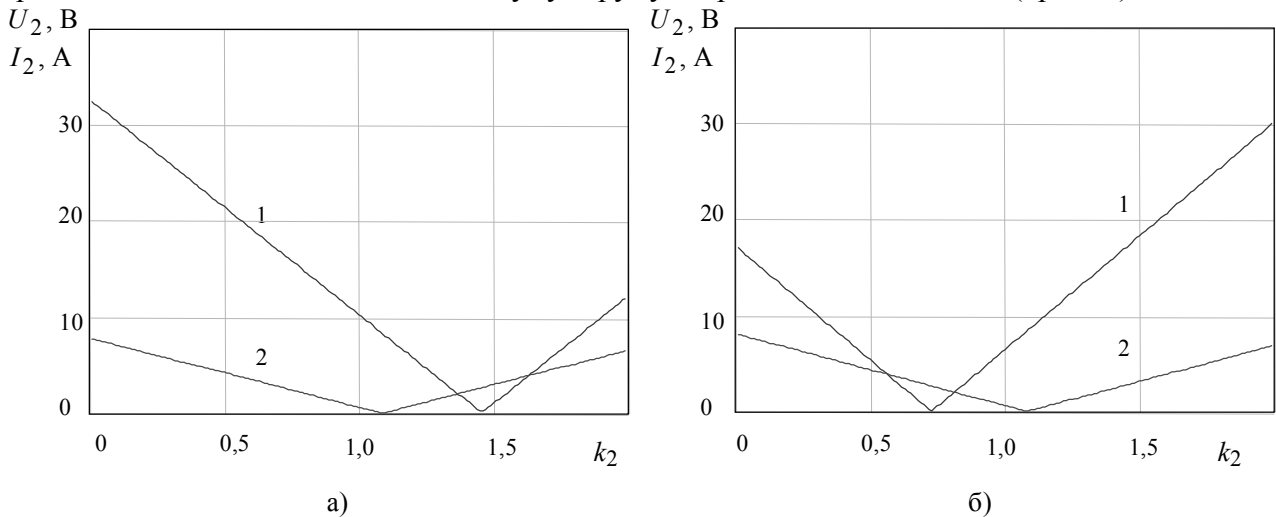


Рис. 2. Залежності напруги і струму зворотної послідовності за несиметрії навантажень:
 а) за однакового характеру несиметрії навантажень;
 б) за протилежного характеру несиметрії навантажень

Розглянемо спрощену заступну схему мережі для струмів зворотної послідовності (рис. 3).

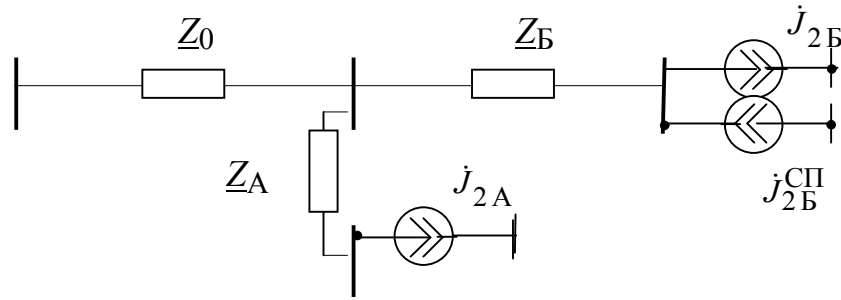


Рис. 3. Спрощена заступна схема для струмів зворотної послідовності мережі з двома джерелами несиметрії

Умову мінімуму напруги зворотної послідовності у вузлі Б в разі встановлення в цьому вузлі СП за двократної несиметрії навантажень можна отримати з виразу

$$\dot{U}_{2B} = (\underline{Z}_0 + \underline{Z}_B)(j_{2B} - j_{2B}^{СП}) + \underline{Z}_0 j_{2A} \rightarrow \min, \quad (2)$$

звідки з урахуванням можливості досягнення нульового значення напруги зворотної послідовності

$$j_{2B}^{СП} = j_{2B} + j_{2A} \frac{1}{1 + \underline{Z}_B / \underline{Z}_0}. \quad (3)$$

З цього виразу наглядно видно, що мінімум напруги зворотної послідовності в процесі регулювання СП буде зміщеним відносно мінімуму струму зворотної послідовності $j_{2B}^{СП} = j_{2B}$. Величина зміщення залежить від струму зворотної послідовності в суміжному вузлі та співвідношення опорів ділянки приєднання СП та головної ділянки мережі.

Виникає запитання: якому критерію надати перевагу? Основним призначенням компенсаційних СП є симетрування навантажень. Водночас, згідно з вимогами ГОСТ 13109-97, основним параметром, що регламентується в електричних мережах, є коефіцієнт несиметрії напруги за зворотною послідовністю. Для порівняння критеріїв скористаємося також критерієм мінімуму втрат активної потужності, зумовлених струмами зворотної послідовності.

Умову мінімуму втрат активної потужності, зумовлених струмами зворотної послідовності, у разі встановлення СП у вузлі Б за двократної несиметрії навантажень, можна отримати з виразу

$$\Delta P_2 = R_0 |j_{2A} + j_{2B} - j_{2B}^{СП}|^2 + R_B |j_{2B} - j_{2B}^{СП}|^2 \rightarrow \min, \quad (4)$$

звідки

$$j_{2B}^{СП} = j_{2B} + j_{2A} \frac{1}{1 + R_B / R_0}. \quad (5)$$

Із порівняння отриманих умов (3) та (5) випливає, що для однорідних мереж співвідношення реактивного й активного опорів ліній електропередачі та трансформаторів буде однаковим, а зміщення оптимальних рішень, отриманих за критеріями мінімуму напруги зворотної послідовності у вузлі Б та мінімуму втрат потужності в мережі, буде відсутнім.

Дослідимо вплив різного характеру несиметрії навантажень у суміжних вузлах на залишкову несиметрію напруги під час симетрування навантаження в одному з вузлів. На рис. 4 наведено залежності напруг зворотної послідовності в суміжних вузлах за однакового фазового зсуву струмів зворотної послідовності в обох вузлах (рис. 4а) та за фазового зсуву $2\pi/3$ (рис. 4б).

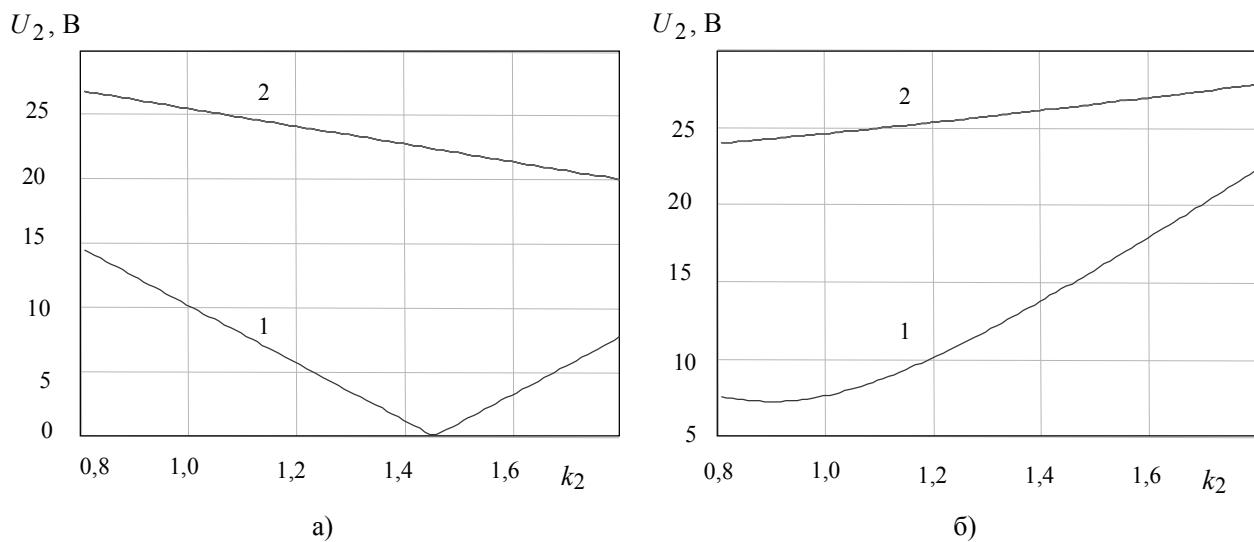


Рис. 4. Залежності напруг зворотної послідовності в суміжних вузлах:
 а) за однакового характеру несиметрії навантажень;
 б) за різного характеру несиметрії навантажень

Із рис. 4б випливає, що за будь-якого характеру несиметрії навантажень залишкові значення напруги зворотної послідовності у вузлі розміщення СП в момент виконання умови (1) будуть порівняно незначними.

На основі цього висновку запропоновано: за однакового характеру несиметрії навантажень коефіцієнт k_2 збільшувати до значення $k_2=1,2$, за різного характеру несиметрії – приймати $k_2=1$, а за протилежного характеру несиметрії – знижувати до значення $k_2=0,8$.

Вибір значення інформативного параметра регулювання k_2 доцільно здійснювати за напругою зворотної послідовності у вузлі регулювання СП при $k_2=1$. Із (2) випливає, що в момент компенсації струму \dot{J}_{2B} напруга зворотної послідовності у вузлі Б визначається струмом зворотної послідовності у вузлі А:

$$\dot{U}_{2B} = \underline{Z}_0 \dot{J}_{2A}. \quad (6)$$

Для оцінювання доцільності збільшення або зменшення k_2 рекомендовано використовувати приріст напруги зворотної послідовності. Якщо зі збільшенням k_2 напруга зворотної послідовності зменшується (однакова несиметрія навантажень у суміжних вузлах), то k_2 потрібно збільшити, якщо напруга зворотної послідовності збільшується (протилежна несиметрія навантажень у суміжних вузлах), то k_2 потрібно зменшити, а в разі незмінності напруги зворотної послідовності (різна несиметрія навантажень у суміжних вузлах) – k_2 потрібно залишити незмінним ($k_2=1$).

Висновки

Показано, що за багатократної несиметрії навантажень керування компенсаційними СП доцільно здійснювати за струмами, потужностями або провідностями зворотної послідовності одного з навантажень із коригуванням ступеня симетрування навантажень залежно від взаємного характеру несиметрії в суміжних вузлах мережі. Для оцінювання доцільності збільшення або зменшення k_2 рекомендовано використовувати приріст напруги

зворотної послідовності у вузлі регулювання СП.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Аввакумов В. Г. Технично-економическая оценка качества электроэнергии в промышленности / В. Г. Аввакумов, Г. Л. Багиев, Д. М. Воскобойников. – Л.: Изд-во ЛГУ, 1977. – 132 с.
2. Аввакумов В. Г. Методы нескальной оптимизации и их приложения / В. Г. Аввакумов. – К.: Вища школа, 1990. – 188 с.
3. Шидловский А. К. Повышение качества энергии в электрических сетях / А. К. Шидловский, В. Г. Кузнецов. – К.: Наукова думка, 1985. – 268 с.
4. 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.
5. Бурбело М. Й. Квазірівноважені частотно-варіаційні вимірювальні системи / М. Й. Бурбело: Монографія. – Вінниця: УНІВЕРСУМ-Вінниця, 2004. – 225 с.
6. Бурбело М. Й. Квазірівноважена вимірювальна система для компенсаційних установок симетрування трифазних навантажень / М. Й. Бурбело, О. В. Бабенко // Енергетика и электрификация. – 2003. – № 9 – 10. – С. 52 – 54.
7. 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.
8. Бурбело М. Й. 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.

Бурбело Михайло Йосипович – д. т. н., професор кафедри електротехнічних систем електроспоживання та енергетичного менеджменту.

Девятко Марина Василівна – асистент кафедри електротехнічних систем електроспоживання та енергетичного менеджменту.

Войтюк Юрій Петрович – інженер кафедри електротехнічних систем електроспоживання та енергетичного менеджменту.

Вінницький національний технічний університет.