

УДК 621.316.7

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

УПРАВЛЕНИЕ СИММЕТРИРУЮЩИМИ УСТРОЙСТВАМИ ПРИ МНОГОКРАТНОЙ НЕСИММЕТРИИ НАГРУЗОК В РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНОЙ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ СЕТИ

В статье проанализированы критерии и алгоритмы управления компенсационным симметрирующим устройством при многократной несимметрии в распределительной сети.

Ключевые слова: симметрирующие устройства, распределительная сеть, несимметричная нагрузка, управление.

Введение

Наиболее эффективными для симметрирования нагрузок распределительных сетей энергоснабжающих компаний являются компенсационные симметрирующие устройства (СУ), обеспечивающие одновременно компенсацию реактивных нагрузок и уменьшение напряжения обратной последовательности в узлах присоединения потребителей. Компенсационные СУ сравнительно легко смоделировать управляемыми.

В процессе управления компенсационными СУ используют критерии, которые заключаются в минимизации модулей: напряжения обратной последовательности \dot{U}_2 [1] или тока обратной последовательности \dot{I}_2 [1, 2]. Наряду с последним критерием, симметрирование нагрузок обеспечивается также путем использования минимума модулей пульсирующей мощности $\underline{N} = 3(\dot{U}_1\dot{I}_2 + \dot{U}_2\dot{I}_1)$ [3, 4]; пульсирующей мощности обратной последовательности нагрузки $\underline{N}_2 = 3\dot{U}_1\dot{I}_2$, условной мощности обратной последовательности $\underline{S}'_2 = 3\dot{U}_1^* \dot{I}_2$, условной проводимости обратной последовательности $\underline{Y}_2 = \dot{I}_2/\dot{U}_1$, разницы пульсирующих мощностей $\Delta\underline{N} = 3(\dot{U}_1\dot{I}_2 - \dot{U}_2\dot{I}_1)$ [5, 6].

При многократной несимметрии нагрузок в распределительных сетях энергоснабжающих компаний в качестве критерия симметрирования нагрузок можно использовать также минимум суммы квадратов действующих значений напряжений обратной последовательности во всех узлах сети и минимум потерь активной мощности в сети, обусловленных токами обратной последовательности [7]. Вместе с тем, при многократной несимметрии отсутствует обоснование информативного параметра и алгоритмов управления СУ.

Цель работы

Цель работы состоит в обосновании информативного параметра и алгоритма управления СУ.

Обоснование результатов

Рассмотрим магистральную сеть с двумя несимметричными потребителями, присоединенными к узлам А и Б, при небольшой их электрической удаленности например, в случае $|\underline{Z}_B| \leq |\underline{Z}_0|$ (рис. 1).

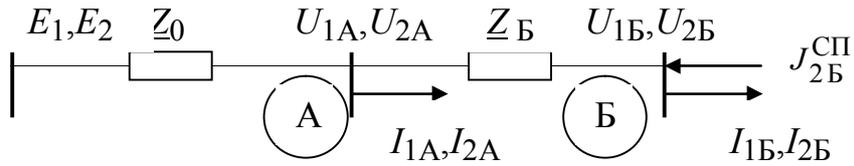


Рис. 1. Схема магистральной сети с двумя несимметричными потребителями

Вектор мощностей фаз СУ при многократной несимметрии, например, в случае использования пульсирующей мощности \underline{N}_2 , формируется в виде [8]:

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

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

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

где $Q_{ex} = P_n \operatorname{tg} \varphi_{ex}$ – заданное значение входной реактивной мощности после симметрирования, $\operatorname{tg} \varphi_{ex}$ – заданное значение коэффициента реактивной мощности; P_n , Q_n – активная и реактивная мощности нагрузки; k_2 – коэффициент, характеризующий степень симметрирования нагрузок.

Характерной особенностью многократной несимметрии является несовпадение минимумов напряжения и тока обратной последовательности в процессе регулирования (рис. 2). Как видно из приведенного рисунка, при регулировании k_2 с использованием условий (1) минимум напряжения (кривые 1) при одинаковом характере несимметрии в смежных узлах сети смещается вправо, а при противоположном – влево относительно минимума тока обратной последовательности (кривые 2).

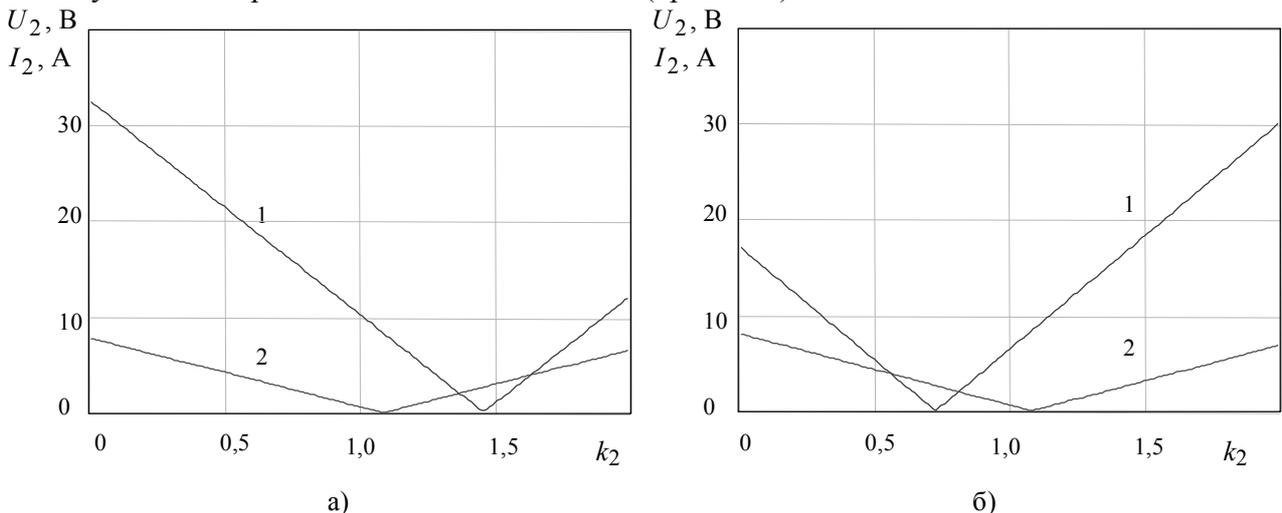


Рис. 2. Зависимости напряжения и тока обратной последовательности по несимметрии нагрузок:
 а) при одинаковом характере несимметрии нагрузок;
 б) при противоположном характере несимметрии нагрузок

Рассмотрим упрощенную схему замещения сети для токов обратной последовательности (рис. 3).

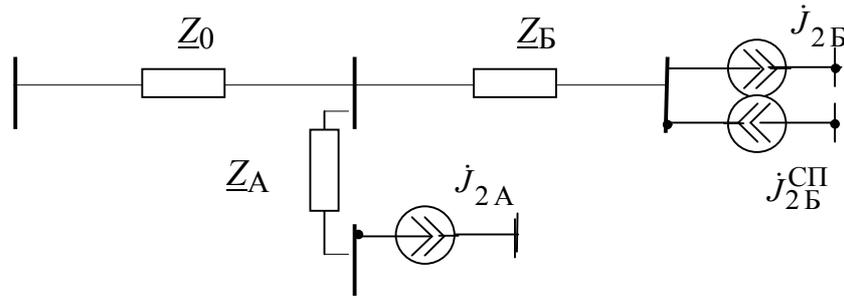


Рис. 3. Упрощенная схема замещения для токов обратной последовательности сети с двумя источниками несимметрии

Условие минимума напряжения обратной последовательности в узле Б в случае установления в этом узле СУ по двукратной несимметрии нагрузок можно получить из выражения

$$\dot{U}_{2B} = (\underline{Z}_0 + \underline{Z}_B)(\dot{j}_{2B} - \dot{j}_{2B}^{CV}) + \underline{Z}_0 \dot{j}_{2A} \rightarrow \min, \tag{2}$$

откуда с учетом возможности достижения нулевого значения напряжения обратной последовательности получим

$$\dot{j}_{2B}^{CV} = \dot{j}_{2B} + \dot{j}_{2A} \frac{1}{1 + \underline{Z}_B / \underline{Z}_0}. \tag{3}$$

Из этого выражения наглядно видно, что минимум напряжения обратной последовательности в процессе регулирования СУ будет смещенным относительно минимума тока обратной последовательности $\dot{j}_{2B}^{СП} = \dot{j}_{2B}$. Величина смещения зависит от тока обратной последовательности в смежном узле и соотношения сопротивлений участка присоединения СУ и главного участка сети.

Возникает вопрос: какому критерию отдать предпочтение? Основным назначением компенсационных СУ является симметрирование нагрузок. Одновременно, согласно требованиям ГОСТ 13109-97, основным параметром, который регламентируется в электрических сетях, является коэффициент несимметрии напряжения по обратной последовательности. Для сравнения критериев воспользуемся также критерием минимума потерь активной мощности, обусловленных токами обратной последовательности.

Условие минимума потерь активной мощности, обусловленных токами обратной последовательности, в случае установления СУ в узле Б по двукратной несимметрии нагрузок, можно получить из выражения

$$\Delta P_2 = R_0 |\dot{j}_{2A} + \dot{j}_{2B} - \dot{j}_{2B}^{CV}|^2 + R_B |\dot{j}_{2B} - \dot{j}_{2B}^{CV}|^2 \rightarrow \min, \tag{4}$$

откуда

$$\dot{j}_{2B}^{CV} = \dot{j}_{2B} + \dot{j}_{2A} \frac{1}{1 + R_B / R_0}. \tag{5}$$

Из сравнения полученных условий (3) и (5) следует, что для однородных сетей соотношение реактивных и активных сопротивлений линий электропередачи и трансформаторов будет одинаковым, а смещение оптимальных решений, полученных по критериям минимума напряжения обратной последовательности в узле Б и минимума потерь мощности в сети, будет отсутствовать.

Исследуем влияние различного характера несимметрии нагрузок в смежных узлах на остаточную несимметрию напряжения при симметрировании нагрузки в одном из узлов. На

рис. 4 приведены зависимости напряжений обратной последовательности в смежных узлах при одинаковом фазовом сдвиге токов обратной последовательности в обоих узлах (рис. 4а) и при фазовом сдвиге $2\pi / 3$ (рис. 4б).

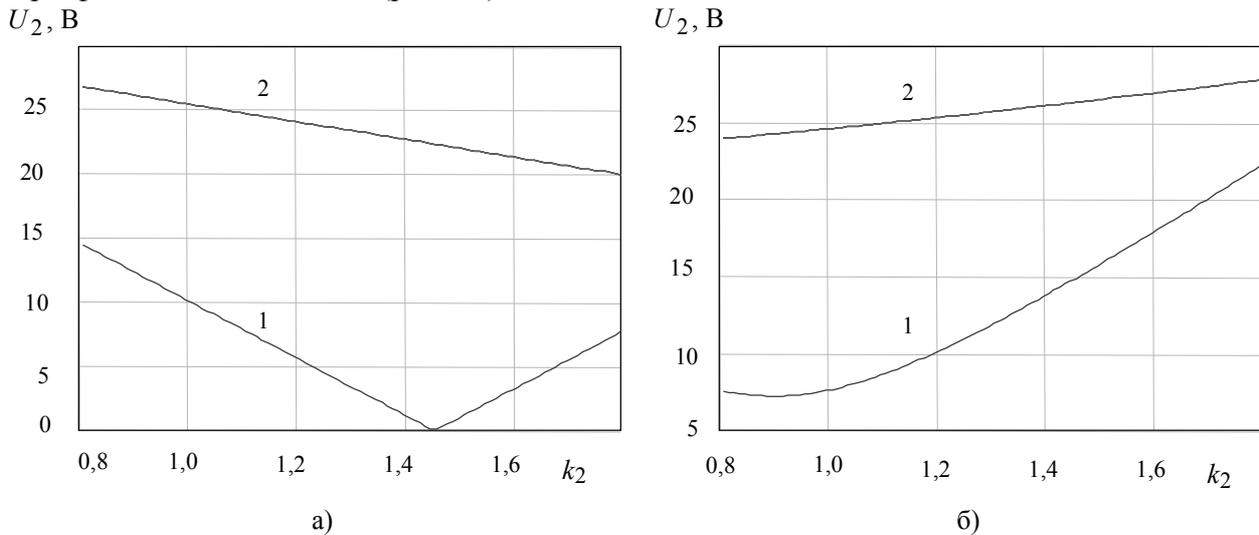


Рис. 4. Зависимости напряжений обратной последовательности в смежных узлах:
 а) при одинаковом характере несимметрии нагрузок;
 б) при разном характере несимметрии нагрузок

Из рис. 4б следует, что при любом характере несимметрии нагрузок остаточные значения напряжения обратной последовательности в узле размещения СУ в момент выполнения условия (1) будут сравнительно незначительными.

На основании этого заключения предлагается: при одинаковом характере несимметрии нагрузок коэффициент k_2 увеличивать до значения $k_2=1,2$, при различном характере несимметрии – принимать $k_2=1$, а при противоположном характере несимметрии – снижать до значения $k_2=0,8$.

Выбор значения информативного параметра регулирования k_2 целесообразно осуществлять по напряжению обратной последовательности в узле регулирования СУ при $k_2=1$. Из (2) следует, что в момент компенсации тока $\dot{J}_{2Б}$ напряжение обратной последовательности в узле Б определяется током обратной последовательности в узле А:

$$\dot{U}_{2Б} = \underline{Z}_0 \dot{J}_{2А} \cdot \quad (6)$$

Для оценки целесообразности увеличения или уменьшения k_2 рекомендуется использовать прирост напряжения обратной последовательности. Если при увеличении k_2 напряжение обратной последовательности уменьшается (одинаковая несимметрия нагрузок в смежных узлах), то k_2 необходимо увеличить, если напряжение обратной последовательности увеличивается (противоположная несимметрия нагрузок в смежных узлах), то k_2 необходимо уменьшить, а в случае неизменности напряжения обратной последовательности (разная несимметрия нагрузок в смежных узлах) – k_2 нужно оставить неизменным ($k_2=1$).

Выводы

Показано, что при многократной несимметрии нагрузок управление компенсационными СУ целесообразно осуществлять по токам, мощностям или проводимостям обратной последовательности одной из нагрузок с корректированием степени симметрирования

нагрузок в зависимости от взаимного характера несимметрии в смежных узлах сети. Для оценки целесообразности увеличения или уменьшения k_2 рекомендуется использовать прирост напряжения обратной последовательности в узле регулирования СУ.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Аввакумов В. Г. Технично-економическая оценка качества електроенергии в промышленности / В. Г. Аввакумов, Г. Л. Багиев, Д. М. Воскобойников. – Л.: Изд-во ЛГУ, 1977. – 132 с.
2. Аввакумов В. Г. Методы несклялярной 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 Михаил Иосифович – д. т. н., профессор кафедры электротехнических систем электроснабжения и энергетического менеджмента.

Девятко Марина Васильевна – ассистент кафедры электротехнических систем электроснабжения и энергетического менеджмента.

Войтюк Юрий Петрович – инженер кафедры электротехнических систем электроснабжения и энергетического менеджмента.

Винницкий национальный технический университет.