УДК 621.316.11

К ВОПРОСУ О КЛАССИФИКАЦИИ НЕСИММЕТРИЧНЫХ РЕЖИМОВ В ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЯХ

Дед А.В.

ФГБОУ ВО «Омский государственный технический университет», Омск, e-mail: ded_av@mail.ru

В материалах статьи сделана попытка классификации несимметричных режимов в зависимости от их продолжительности. Приоритетное внимание уделено длительным несимметричным режимам, как режимам, которые приводят к уменьшению надежности работы электрических сетей и ее элементов, росту потерь и росту потребления в них активной мощности. На основе результатов проведенных испытаний показателей качества электрической энергии, объединены типы и характеры несимметричных режимов, объективно существующие в электрических сетях. К таким режимам относятся режимы амплитудной, фазовой и амплитудной-фазовой несимметрии токов и напряжений. Показано, что несимметричные режимы, вызванные наличием однофазной или несимметричной трехфазной нагрузкой, приводят к появлению токов обратной и нулевой последовательности увеличивающих потери потерь мощности по сравнению с симметричным режимом. В свою очередь такие потери можно охарактеризовать с помощью искажающих потоков мощности.

Ключевые слова: потери мощности, несимметричная нагрузка, несимметрия токов, несимметричные режимы, качество электрической энергии

TO THE QUESTION OF CLASSIFICATION OF THE ASYMMETRICAL MODES IN ELECTRIC NETWORKS

Ded A.V.

Omsk State Technical University, Omsk, e-mail: ded_av@mail.ru

In materials of article the attempt of classification of the asymmetrical modes depending on their duration is made. The priority attention is paid to the long asymmetrical modes as to the modes which lead to reduction of reliability of work of electric networks and her elements, growth of losses and growth of consumption in them active power. On the basis of results of the carried-out tests of indicators of quality of electric energy, the types and characters of the asymmetrical modes which are objectively existing in electric networks are integrated. The modes of amplitude, phase and amplitude-phase asymmetry of currents and tension belong to such modes. It is shown that the asymmetrical modes caused by existence by single-phase or asymmetrical three-phase loading lead to emergence of currents of the return and zero sequence of the losses of power increasing losses in comparison with the symmetric mode. In turn such losses can be characterized by means of the distorting power streams.

Keywords: losses of power, asymmetrical loading, asymmetry of currents, asymmetrical modes, quality of electric energy

Требования ГОСТ 32144-2013 определяют требования в отношении обеспечения норм качества электрической энергии, установленных данным стандартом в электрических сетях, находящихся в собственности потребителей. В том числе к тому, что сам потребитель должен выполнять и поддерживать в своих электрических сетях условия, в результате которых нормативы данного стандарта будут выполняться на зажимах электроприемников, при условии выполнения требований к качеству электрической энергии в точке её передачи [1].

Опыт анализа показателей качества электрической энергии в различных распределительных сетях позволяет утверждать, что в виду различия режимов работы потребителей электроэнергии, разновременности процессов включения и отключения потребителей, выполненных в однофазном исполнении, особенностей технологии процессов производства продукции, токи нагрузки, протекающие по фазам систем электроснабжения являются не одинаковыми [2 – 4]. Строго говоря, практически все используемые в работе многофазные системы электроснабжения работают в несимметричных режимах.

В большинстве случаев, в сетях, где проводятся испытания качества электрической энергии, независимо от сферы деятельности организации или предприятия, встречается поперечная несимметрия, вызванная наличием подключенных разнородных однофазных нагрузок, либо трехфазных устройств, чьи внутри фазовые характеристики, вследствие ряда причин являются несимметричными [2].

Таким образом, несимметрия токов и как следствие несимметрия напряжений являются одним из факторов увеличивающих потери в сетях и элементах распределения электрической энергии. Экономический ущерб, возникающий в результате воздействия несимметрии

токов и напряжении, обусловлен ухудшением энергетических показателей и сокращением срока службы электрооборудования, общим снижением надежности функционирования электрических сетей, увеличением потерь активной мощности и потребления активной и реактивной мощностей.

Несимметричный режим работы электрической распределительной сети и ее элементов это такое ее состояние, при котором параметры (ток, напряжение, мощность, cos ϕ) отдельных фаз электрической сети или элемента электрической сети оказываются не одинаковыми.

При этом следует различать понятия кратковременной и длительной, случайной и систематической несимметрии (рис. 1).

Кратковременные несимметричные режимы возникают при аварийных процессах в системах электроснабжения, таких как короткие замыкания, обрывы линий электропередач, включение выключателей и других коммутационных аппаратов.

Длительные несимметричные режимы проявляются в случае пофазного различия параметров системы, при неполнофазных режимах и подключении несимметричных нагрузок.

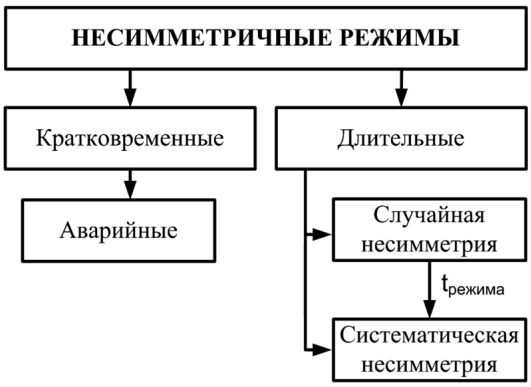

Рис. 1. Классификация несимметричных режимов

Воздействие постоянной неравномерной загрузки одной или двух фаз приводит к наличию в сети режима систематической несимметрии.

Причиной возникновения несимметрии случайного типа, как правило, становятся переменные нагрузки, в результате воздействия которых в разные временные интервалы, в зависимости от случайных событий, каждая из фаз находится в режиме нагрузки отличного от других.

Случайную и систематическую несимметрию разделяют друг от друга в соответствии с продолжительностью режима несимметрии. Тем не менее, четкого критерия для разграничения данных режимов не установлено.

Продолжительные изменения характеристик электрической энергии определяются как длительные отклонения характеристик от номинальных значений и вызываются, как правило, изменениями нагрузки или влиянием нелинейных нагрузок [1].

Отклонение параметров показателей качества от номинальных вызывают внезапные и значительные изменения характеристик электрической энергии, которые в большинстве своем представляют собой случайные события. Изменения данных параметров определено в ряде случаев событиями, которые трудно спрогнозировать, например выход из строя электрооборудования потребителя электрической энергии или же воздействием внешних факторов, такими как погодные условия или же действия лиц, не являющихся потребителями электроэнергии [1].

Необходимо отметить, что показатели и нормы качества электрической энергии в нормативной документации установлены в отношении продолжительных изменений следующих параметров: частота, значения, форма напряжения и симметрия напряжений в трехфазных системах [1].

В дополнение к вышесказанному можно добавить, что выделяют следующие типы несимметрии (рис. 2):

– несимметрия напряжений;

– несимметрия токов;

– фазовая несимметрия или несимметрия углов сдвига фаз.

При несимметричных режимах потребления тока могут возникать следующие варианты несимметрии:

– амплитудная несимметрия напряжений и токов ($U_A \neq U_B \neq U_C$, $U_A \wedge U_B = U_A \wedge U_B = U_B \wedge U_C$, $I_A \neq I_B \neq I_C$, $\varphi_A = \varphi_B = \varphi_C$);

– фазовая несимметрия напряжений и токов ($U_A \wedge U_B \neq U_A \wedge U_B \neq U_B \wedge U_C$, $\varphi_A \neq \varphi_B \neq \varphi_C$, $U_A = U_B = U_C$, $I_A = I_B = I_C$);

– амплитудно-фазовая несимметрия напряжений и токов ($U_A \neq U_B \neq U_C$, $U_A \wedge U_B \neq U_A \wedge U_B \neq U_B \wedge U_C$, $I_A \neq I_B \neq I_C$, $\varphi_A \neq \varphi_B \neq \varphi_C$).

В системах электроснабжения напряжением 0,4 кВ режимы длительной несимметрии появляются в результате присоединения потребителей электроэнергии в однофазном исполнении или же несимметрично потребляющего мощность трехфазного электроборудования.

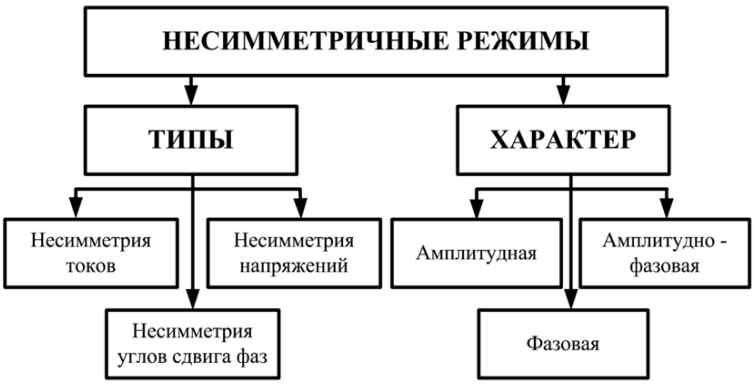

Рис. 2. Типы несимметричных режимов

Несимметричные нагрузки, как потребители токов и мощности прямой последовательности, одновременно являются источниками как токов обратной, так и нулевой последовательности. Такие токи, при протекании в элементах систем электроснабжения, помимо падений напряжений вызывают напряжения вышеуказанных последовательностей [7].

В результате своего взаимного действия напряжения и токи прямой, обратной и нулевой последовательностей порождают потоки искажающей мощности, имеющие обратное направление [5].

При наличии только симметричной нагрузки потребителям от центра питания передается только поток мощности прямой последовательности. В случае наличия несимметричной нагрузки часть этой мощности, составляющая большую долю, потребляется самой нагрузкой, а остальная преобразуется в искажающие потоки мощности обратной последовательности и потоки мощности нулевой последовательности.

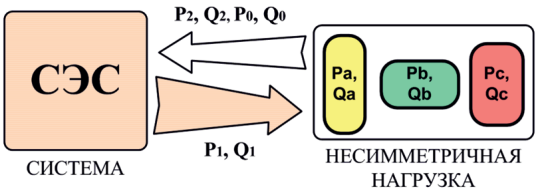

Рис. 3. Схема потоков мощности при несимметричной нагрузке

Потоки мощности обратной и нулевой последовательностей имеют противоположное направление в систему от несимметричной нагрузки (рис. 3).

Таким образом, дополнительные потери мощности в системах электроснабжения, вызванные токами различных последовательностей, можно охарактеризовать с помощью искажающих поток мощности.

На выводах нагрузки потребителя, который является источником несимметрии величины искажающего потока мощности и напряжения обратной и нулевой последовательности достигают наибольших значений и соответственно с увеличением расстояния от источника искажения – уменьшаются.

Постоянный рост и расширение типов несимметричных потребителей приводит к значительным искажениям симметрии токов и напряжений в трехфазных распределительных электрических сетях [6].

В результате несимметрии токов по фазам возникает несимметричная система вторичных напряжений распределительных трансформаторов («перекос фаз»), что приводит к появлению в таких режимах дополнительных потерь.

Список литературы

1. ГОСТ 32144-2013 Электрическая энергия. Совместимость технических средств электромагнитная. Нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения. – М. :Стандартинформ, 2013. – 10 с.

2. Дед А.В. Несимметричные режимы низковольтных электрических сетей / А.В. Дед, В.Ю. Зайцев, М.Ю. Денисенко // Динамика систем, механизмов и машин. – 2012. – № 1. – С. 121-123.

3. Дед А.В. Экспериментальное исследование влияния несимметричной нагрузки на систему электроснабжения / А.В. Дед, Е.Н. Еремин // Омский научный вестник. – 2009. – № 1 (77). – С. 133-138.

4. Долингер С.Ю. Оценка дополнительных потерь мощности от снижения качества электрической энергии в элементах систем электроснабжения / С.Ю. Долингер, А.Г. Лютаревич, В.Н. Горюнов [и др.] // Омский научный вестник. – 2013. – № 2 (120). – С. 178-183

5. Жежеленко И. В. Электромагнитная совместимость потребителей: монография / И.В. Жежеленко, А.К. Шидловский, Г.Г. Пивняк [и др.]. – М.: Машиностроение – 2012. – 351 с.

6. Железко Ю.С. Расчет, анализ и нормирование потерь электроэнергии в электрических сетях / Ю.С. Железко, А.В. Артемьев, О.В. Савченко – М.: «Изд-во НЦ ЭНАС», 2002.

7. Карташев И.И. Управление качеством электроэнергии / И.И. Карташев, Н.В. Тульский, Р.Г. Шамонов [и др.]. – М.: МЭИ, 2006. – 320 с.