

## INFLUENCE OF ASYMMETRY OF TENSION ON OPERATION OF ASYNCHRONOUS ENGINES

Averyanov D.A.<sup>1</sup>, Golovin E.V.<sup>2</sup>, Zuev A.I.<sup>3</sup> (Russian Federation)

Email: Averyanov54@scientifictext.ru

<sup>1</sup>Averyanov Danila Andreevich – Student;

<sup>2</sup>Golovin Evgeny Viktorovich – Student;

<sup>3</sup>Zuev Alexander Igorevich – Student,

DEPARTMENT OF ELECTRIC POWER SYSTEMS,

NATIONAL RESEARCH UNIVERSITY

MOSCOW ENERGY INSTITUTE,

MOSCOW

**Abstract:** in article the reasons of distortion of symmetry in a three-phase chain and their possible consequences for elements of an electrical network and a power supply system in general are considered. Asymmetry of currents and tension — the phenomenon in multiphase (for example, three-phase) alternating current mains at which amplitudes of the phase tension (currents) and/or corners between them aren't equal among themselves. The reasons of asymmetry of tension can be different, but the main of them is the asymmetry of currents in network caused by inequality of loading on phases. Also in article sources of asymmetry of tension have been considered. Characteristics of asymmetry of tension (currents) are provided. The way of assessment of asymmetry of tension (currents) which is called method of symmetric components is given. Asymmetry sources in power supply systems of the Urals and Siberia and their consequence are given.

**Keywords:** power industry, asymmetry, phase, tension, direct sequence, return sequence, zero sequence.

## ВЛИЯНИЕ НЕСИММЕТРИИ НАПРЯЖЕНИЯ НА РАБОТУ АСИНХРОННЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ

Аверьянов Д.А.<sup>1</sup>, Головин Е.В.<sup>2</sup>, Зуев А.И.<sup>3</sup> (Российская Федерация)

<sup>1</sup>Аверьянов Данила Андреевич – студент;

<sup>2</sup>Головин Евгений Викторович – студент;

<sup>3</sup>Зуев Александр Игоревич – студент,

кафедра электроэнергетических систем,

Национальный исследовательский университет

Московский энергетический институт,

г. Москва

**Аннотация:** в статье рассмотрены причины искажения симметрии в трехфазной цепи и их возможные последствия для элементов электрической сети и энергосистемы в целом. Несимметрия токов и напряжений — явление в многофазной (например, трёхфазной) сети переменного тока, при котором амплитуды фазных напряжений (токов) и/или углы между ними не равны между собой. Причины несимметрии напряжений могут быть разными, но основная из них — это несимметрия токов в сети, обусловленная неравенством нагрузки по фазам. Также в статье были рассмотрены источники несимметрии напряжения. Приведены характеристики несимметрии напряжений (токов). Приведен способ оценки несимметрии напряжений (токов), который называется методом симметричных составляющих. Приведены источники несимметрии в энергосистемах Урала и Сибири и их последствия.

**Ключевые слова:** электроэнергетика, несимметрия, фаза, напряжение, прямая последовательность, обратная последовательность, нулевая последовательность.

Напряжение в трехфазной сети может быть несимметричным. Несимметричное напряжение нормируется по его параметрам на основной частоте. Если амплитуды фазных (междуфазных) напряжений равны и сдвиг фаз (угол между ними) одинаков, то напряжение симметрично. Если один из этих признаков или оба нарушаются, то напряжение несимметрично. Аналогичное определение может быть распространено и на токи [2].

При этом всегда при оценке несимметрии напряжения трехфазной сети в соответствии с требованиями [3] имеют в виду напряжение (ток) основной частоты (первая гармоника) [1]. Тогда как несимметричная система может быть образована на любой частоте, в том числе и на частоте высших гармоник. Это обстоятельство необходимо учитывать при расчете или измерении симметричных составляющих напряжений (токов) в сети с несинусоидальным напряжением следующим образом: сначала выделяют основную гармонику напряжения, а затем рассчитывают её симметричные

составляющие [2].

Причин несимметрии напряжений много, но основная из них – это несимметрия токов в сети, что обусловлено неравенством нагрузки по фазам. Значительная часть бытовых и промышленных электроприемников имеют одно- или двухфазное исполнение и присоединяются к сетям 380 В. Именно для питания таких электроприемников сети напряжением 380 В имеют четырехпроводное исполнение. Обмотка 380 В трансформаторов, питающих такие сети, соединена в «звезду», а ее нейтраль выводится четвертым токоведущим проводом. Без нулевого провода эксплуатация сети невозможна. При его обрыве наступает аварийная ситуация, обусловленная существенной несимметрией напряжения. При этом на отдельных фазах напряжение приближается к междуфазному (380 В), а на других – к нулю [2].

К источникам несимметрии напряжения относятся, например, дуговые сталеплавильные печи. Регулирование тока электрической дуги в таких печах осуществляется пофазно. В режиме расплава могут возникать и эксплуатационные несимметричные короткие замыкания [2].

В сетях высокого напряжения несимметрия может быть обусловлена конструкцией линии из-за неравенства ее сопротивлений по фазам. Для симметрирования сопротивлений фаз линии проводят транспозицию проводов, что требует сооружения специальных транспозиционных опор. Конструкции таких опор сложны и дорогостоящие, кроме того, они являются элементами, повреждения в которых наиболее вероятны. Поэтому количество опор стремятся уменьшить, что, естественно, отражается на симметрии напряжений, но способствует повышению надежности электроснабжения [2].

Еще одна причина несимметрии напряжений – это неполнофазные режимы в сетях с изолированной нейтралью. Их относят к особым, но допустимым по условиям эксплуатации режимам. Эти режимы допускают для сохранения электроснабжения потребителей в ущерб симметрии напряжений на приемном конце такой линии. К таким же особым режимам следует отнести режимы с замыканием на землю одной из фаз в сетях с изолированной нейтралью [2].

Несимметрию напряжений (токов) характеризуют симметричными составляющими основной частоты прямой, обратной и нулевой последовательности. Прямая последовательность является основной составляющей. Именно она определяет чередование фазных (междуфазных) напряжений и рабочее (номинальное) напряжение сети. Напряжение обратной и нулевой последовательности следует рассматривать как помеху, под влиянием которой в цепи трехфазной нагрузки протекают соответствующие токи. Эти токи не совершают полезной работы, приводя, например, к снижению вращающего момента на валу вращающихся машин и их дополнительному нагреву. Утроенное значение токов нулевой последовательности в нулевых проводах сетей напряжением 380 В приводит к их перегрузке. Замыкаясь в обмотках трансформаторов, соединенных в «треугольник», токи нулевой последовательности создают эффект подмагничивания. Однако благодаря этому токи нулевой последовательности не проникают в сеть 6–10 кВ из сети 380 В [2].

Для оценки несимметрии напряжений (токов) пользуются методом симметричных составляющих, согласно которому любая трехфазная система

синусоидальных напряжений (токов) может быть представлена тремя симметричными составляющими: прямой, обратной и нулевой последовательности [2].

При несимметрии напряжений, составляющей 2%, срок службы асинхронных двигателей ввиду дополнительных потерь активной мощности сокращается на 10,8 %. Для того чтобы избежать дополнительного нагрева, нагрузка двигателя (момент на валу) должна быть снижена [2].

Согласно МЭК 892 номинальная нагрузка двигателя допускается при

$K2U < 1\%$ . При коэффициенте обратной последовательности 2% нагрузка двигателя должна быть снижена до 96%, при 3% - до 90%, при 4% - до 83% и при 5% - до 76%. Эти цифры справедливы при условии, что двигатель работает с постоянной нагрузкой, т.е. в установившемся тепловом режиме [2].

Известно, что в энергосистемах Урала и Сибири, где источником несимметрии являются электрифицированные железные дороги (ЭЖД), горнообогатительные комбинаты, лесопромышленные комплексы, максимальные значения  $K2U$  наблюдались в пределах полигонов Западно-Сибирской электрифицированной железной дороги: 1,5% в сетях 220 кВ, 7,5% в сетях 27,5 кВ и 9,2% в сетях 10,5 кВ. Аналогично известно о сетях Южно-Уральской и Восточно-Сибирской ЭЖД [2].

Под воздействием этих искажений были зарегистрированы преждевременный выход из строя крупных синхронных машин, насосных станций в западной части Иркутской энергосистемы, нарушения работы устройств сигнализации и блокировки на Южно-Уральской ЭЖД [2].

#### *Список литературы / References*

1. Электрические системы. Электрические сети: учебник для электро-энергетических спец. вузов. В.А. Веников, А.А. Глазунов, Л.А. Жуков и др.; под ред. В.А. Веникова, В.А. Строева, 1998 г.
2. Управление качеством электроэнергии. И.И. Карташев, В.Н. Тульский, Р.Г. Шамонов, Ю.В. Шаров, А.Ю. Воробьев. М.: Издательство МЭИ, 2008

3. ГОСТ 32144–2013. Электрическая энергия. Совместимость технических средств электромагнитная. Нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения.