

УДК 621.311

А.А. Белицкий, аспирант (СПГГУ)

Научный руководитель Я.Э.Шклярский, д.т.н, доц., зав. каф. ОЭ
(СПГГУ)

г. Санкт-Петербург

Несинусоидальные токи и токи несимметрии в четырехпроводных сетях низкого напряжения

Введение. В современной промышленности зачастую используются технологические установки, оказывающие негативное влияние на качество электрической энергии.

Работа указанных приемников связана с возникновением высших гармоник и несимметрии, которые в свою очередь могут оказывать значительное влияние на работу остального оборудования. [1].

Дополнительной проблемой при наличии высших гармоник и несимметрии является возникновение больших токов в нулевом проводнике в четырехпроводной сети, что является актуальной проблемой, широко распространенной в современных условиях переменной нагрузки.

Разработка подхода к выбору средств по уменьшению токов нулевого провода позволит не только существенно снизить расходы на обслуживание электрической сети, но и уменьшить влияние несинусоидальных и несимметричных режимов работы на сеть в целом.

Современные технические средства представляют собой достаточно эффективные мероприятия по компенсации несимметрии и несинусоидальности [2,4,5]. Однако до сих пор в этих условиях отсутствуют четкие рекомендации по уменьшению токов в нулевом проводе, значение которых может превышать значение фазного тока в несколько раз.

Отсюда следует, что для разработки устойчивого критерия по выбору средств, уменьшающих величину нулевого тока, следует провести системный анализ ситуаций, следствием которых является возникновение нулевого тока.

Методика. Высшие гармоники тока кратные трем (т.е. 3, 9, 15, 21 и т. д.), определяющие высокое значение токов нагрузки и генерируемые однофазными нагрузками, имеют специфическое результирующее воздействие в трехфазных четырехпроводных системах [3]. В сбалансированной (симметричной) трехфазной системе гармонические (синусоидальные) токи во всех трех фазах сдвинуты на 120 градусов по отношению друг к другу, и в результате сумма токов в нейтральном проводнике равна нулю.

Это утверждение остается справедливым для всех гармоник кроме гармоник кратных трем:

$$n = 3(2k + 1), \text{ где } k = 0, 1, 2, \dots$$

В трехфазных сетях они сдвинуты на 360 градусов относительно друг друга, совпадают по фазе и образуют нулевую последовательность.

Нечетные гармоники, кратные третьей, суммируются в проводнике нейтрали (рисунок 1). С учетом того, что они составляют большую долю в действующем значении фазных токов, общий ток в нейтрали может превышать фазные токи.

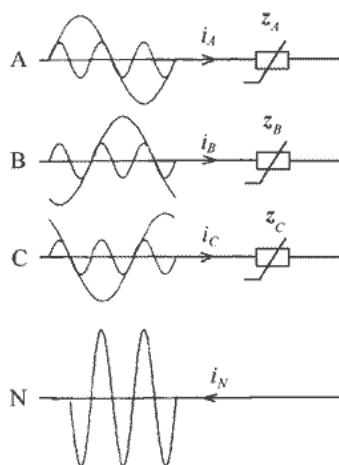


Рисунок 1 - Ток нейтрали при нелинейной нагрузке

Не меньший вклад в ток нулевого провода вносит несимметричная нагрузка.

Несимметричные режимы в электрических сетях возникают по следующим причинам:

- 1) неодинаковые нагрузки в различных фазах;
- 2) неполнофазная работа линий или других элементов в сети;
- 3) различные параметры линий в разных фазах.

Нейтральный провод обеспечивает симметрию фазных напряжений приемника при несимметричной нагрузке.

Но при значительной несимметрии ток нулевого провода может превышать фазные токи, что создает проблему перегрузки нулевого провода и возможного его повреждения.

Эксперимент. Ярким примером негативного влияния высших гармоник и несимметрии являются результаты исследований, проведенных авторами в электрической сети медицинского учреждения.

Исследованию подверглась четырехпроводная сеть 0.4 кВ, основной нагрузкой которой являлись приемники, представленные в таблице 1.

Таблица 1

Тип нагрузки	Исполнение	Мощность
Магнито-резонансный томограф (МРТ)	Трехфазное, нагрузка симметричная	100 кВт
Компьютерный томограф (КТ)	Трехфазное, нагрузка несимметричная	50-80 кВт

Измерения проводились в узлах нагрузки, к которым подключена указанная в таблице 1 нелинейная нагрузка.

На рисунках 2-4 представлены кривые напряжения и тока на шинах 0,4 кВ.

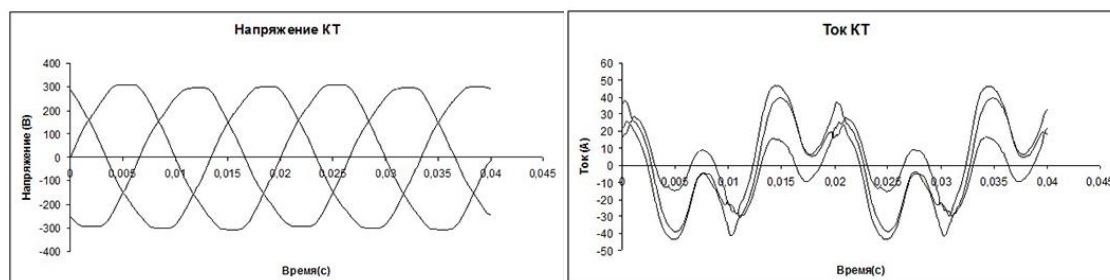


Рисунок 2 Кривая напряжения и тока КТ



Рисунок 3 Кривая тока в нулевом проводе КТ

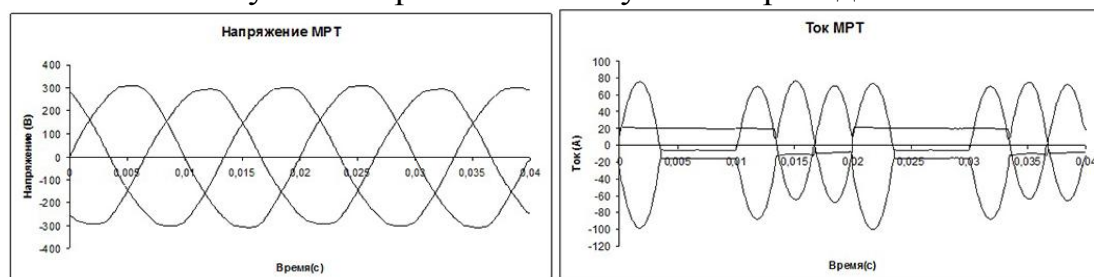


Рисунок 4 Кривая напряжения и тока МРТ

С помощью стандартной программы Matlab было произведено соответствующее разложение кривых тока и напряжения в ряд Фурье, на основе чего были получены их спектры, представленные на рисунках 5-7.

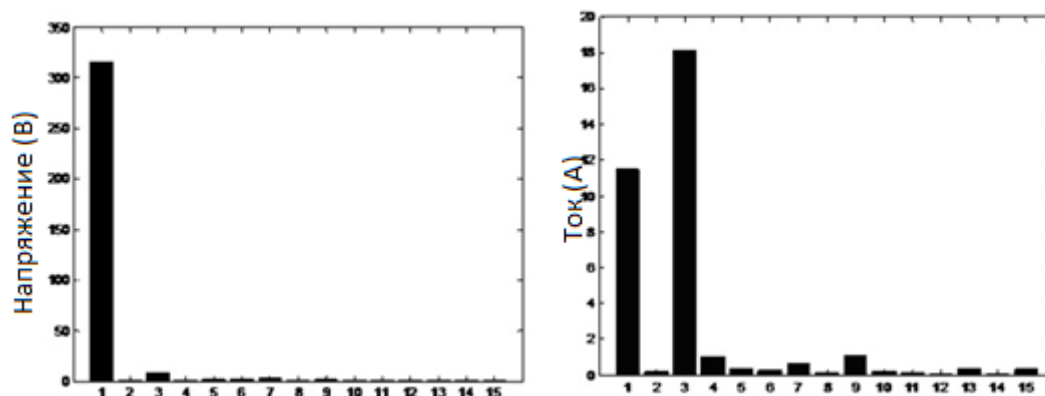


Рисунок 5 Спектр напряжения и тока КТ

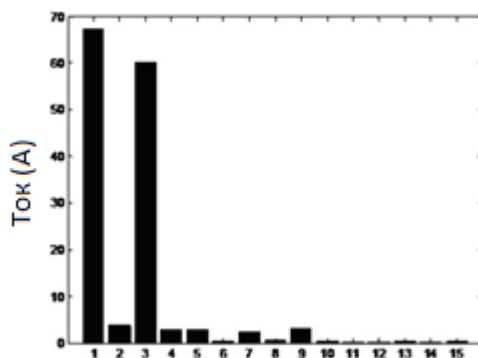


Рисунок 6 Спектр тока нулевого провода КТ

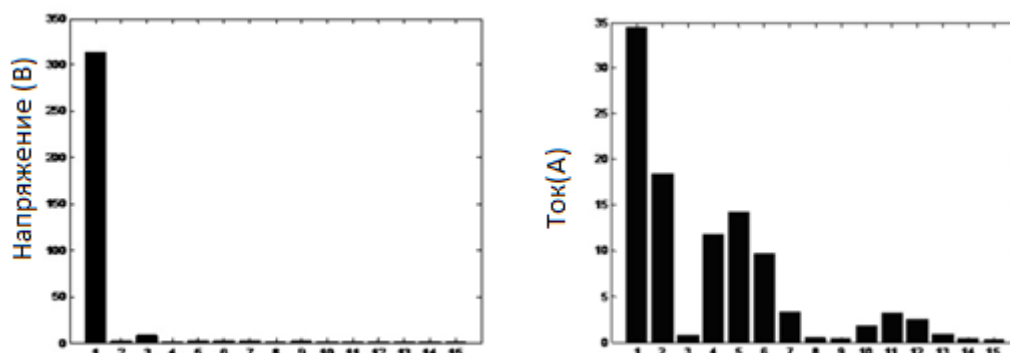


Рисунок 7 Спектр напряжения и тока МРТ

Следует подчеркнуть, что суммарная нагрузка на фидере, на котором были произведены измерения, представляла собой комбинацию трехфазной и однофазной нагрузки.

Расчет коэффициентов несимметрии производился по методу симметричных составляющих. По графикам нагрузки были получены уравнения для каждой из фаз, из которых были выделены выражения для основной гармонической составляющей и математически найдены токи прямой, нулевой и обратной последовательности.

Анализ полученных результатов показал, что:

- значения обобщенного коэффициента несинусоидальности по напряжению не превышают 2.6% , что допускается нормативными документами [6]. Этот факт объясняется жесткими параметрами сети;
- значения коэффициента несинусоидальности по току составляют:
 - А) для КТ – 180%;
 - Б) для нулевого провода КТ – 100%;
 - В) для МРТ – 180%.
- потенциал нейтрали практически равен нулю, т. к. сеть выполнена с глухозаземленной нейтралью;
- фазные токи содержат 1, 3, 5, 7, 9, 11 гармоники. Из высших гармоник наиболее выражена третья;
- ток в нулевом проводе содержит, кроме первой, токи высших гармоник;

- коэффициент несимметрии по обратной последовательности для КТ составил 163.3%, по нулевой последовательности - 63,4%

Таким образом на основе исследования несимметричной сети при наличии нелинейной нагрузки была выявлена проблема по возникновению больших токов в нулевом проводе четырехпроводной сети.

Поскольку нормативные показатели по несимметрии и несинусоидальности в стандартах приводятся в виде относительных коэффициентов, то выводы по проведенному исследованию следует распространять на все четырехпроводные сети, содержащие нелинейную и несимметричную нагрузку, включая сети предприятий горнодобывающего комплекса.

Выводы:

1. Причиной возникновения тока нулевого провода может быть как несимметрия, так и несинусоидальность, причем необходимо выяснить - в какой мере каждая из них влияет на величину тока нулевого провода;
2. Несинусоидальность тока нулевого провода может возникать не только за счет несинусоидальности фазных токов, но и за счет несимметрии, т.к. при несимметрии в ток нулевого провода включаются кроме токов гармоник, кратных трем, токи остального гармонического спектра, в т.ч. 5, 7, 11 и т.д. гармоник.

Список литературы

1. Ramos M. An Assessment of the Electric Power Quality and Electrical Installation Impacts on Medical Electrical Equipment Operations at Health Care Facilities. American Journal of Applied Sciences, 6(4), 2009, 638-645.
2. Y.E. Shklyarskiy, A.N. Skamyin High Harmonic Minimization in Electric Circuits of Industrial Enterprises // World Applied Sciences Journal 30 (12): pp. 1767-1771, 2014 ISSN 1818-4952
3. Шклярский Я.Э. Влияние гармонического состава тока и напряжения на мощность искажения / Я.Э. Шклярский, А.А. Брагин, В.С. Добуш // Электронный научный журнал "Нефтегазовое дело". №4. 2012 - С. 26-31.
4. Добуш В.С. Анализ способов и средств компенсации высших гармоник // Современные научные исследования и инновации. 2015. № 5-2 (49). С. 55-59.
5. Скамыин А. Н. Алгоритмы выбора средств компенсации высших гармоник в сетях горного предприятия // Известия ВУЗов «Горный журнал», № 8, 2012 г., с. 80-84.
6. ГОСТ 32144-2013 Электрическая энергия. Совместимость технических средств электромагнитная. Нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения. - М.: Стандартинформ, 2014