

Идентификация источника искажений качества электрической энергии

*В. В. Суднова к.т.н., ст. научн. сотр.
«НИЦ Тест-Электро»*

Количество электроприёмников (ЭП), искажающих качество электроэнергии (КЭ), в последнее время растёт. В промышленности – это электрифицированный транспорт, тиристорный электропривод, мощные однофазные нагрузки и т.д. В городских электросетях – так называемые офисные нагрузки: персональные компьютеры и файл-серверы, мониторы, блоки бесперебойного питания (UPS) и другие нелинейные ЭП в том числе бытовых потребителей.

Под несинусоидальностью напряжений понимают наличие, наряду с гармоникой основной частоты, слагающих гармоник U_n других, высших кратных частот. В ГОСТ 13109-97 несинусоидальность напряжения оценивается коэффициентом искажения синусоидальности кривой напряжения – K_U и коэффициентом n -ой гармонической составляющей напряжения – $K_{U(n)}$.

Основные причины потенциальных и существующих несоответствий по несинусоидальности напряжения (K_U и $K_{U(n)}$) [2]:

- развитие инфраструктуры электрических сетей (схем, оборудования и их параметров) без учета существующей несинусоидальности напряжения и возможных новых источников несинусоидальности;
- присоединение источников несинусоидальности и источников реактивной мощности, в том числе резонансных фильтров, к существующим электрическим сетям без учета их взаимного влияния;
- отсутствие договорных условий между субъектами электроэнергетического рынка, оказывающими влияние на уровень

несинусоидальности напряжения в точке общего присоединения (ТОП);

- отсутствие расчетов напряжений высших гармоник в электрических сетях, к которым присоединены потребители с искажающими ЭП, при возможных переключениях, вызванных плановыми ремонтами или аварийными режимами.

Появление потенциальных несоответствий по несинусоидальности напряжения можно спрогнозировать, оценивая близость полученных результатов измерений K_U и $K_{U(n)}$ к допустимым нормам и возможность их нарушения при планируемых изменениях режимов работы электрической сети.

Несинусоидальность напряжения в ТОП может создаваться как искажающими качество электроэнергии ЭП потребителей, присоединенными к ТОП, так и оборудованием электросетей, работающим в режимах, способствующих проявлению нелинейности их, вольтамперных характеристик или появлению резонансных режимов.

Под несимметрией напряжений понимают неравенство фазных и/или междуфазных напряжений по амплитуде и углов сдвига между ними. В ГОСТ 13109-97 несимметрия напряжений оценивается коэффициентом несимметрии напряжений по обратной последовательности K_{2U} и коэффициентом несимметрии напряжений по нулевой последовательности K_{0U} . K_{0U} определяется только для четырехпроводных электрических сетей с номинальным напряжением 0,4 кВ.

Несоответствие K_{2U} нормам стандарта вызывается причинами, аналогичными приведенным выше (за исключением случаев резонанса).

Основные причины нарушений норм стандарта по K_{2U} :

- неравномерное распределение нагрузок по фазам электрической сети 0,22/0,38 кВ;
- значительные сопротивления элементов схемы замещения, в том числе сопротивления нулевой последовательности линий и распределительных трансформаторов 6-10/0,4 кВ.

Несимметрия напряжений в ТОП может создаваться как искажающими качество электроэнергии ЭП потребителей, непосредственно присоединенных к ТОП, так и оборудованием ЭСО, работающим в режимах, способствующих появлению несимметрии напряжений в ТОП. Кроме того, на несинусоидальность и несимметрию напряжений в рассматриваемой ТОП, через электрическую сеть могут оказывать влияние искажающие качество электроэнергии ЭП потребителей, присоединенных к другим точкам сети.

В ГОСТ 13109-97 указывается: «для обеспечения норм стандарта в ТОП допускается устанавливать в технических условиях на присоединение потребителей, являющихся виновниками ухудшения КЭ, и в договорах на пользование электрической энергии с такими потребителями более жесткие нормы (с меньшими диапазонами изменения соответствующих показателей КЭ), чем установлены в настоящем стандарте». Такие нормы устанавливаются в виде допустимого вклада.

Идентификация источника искажений КЭ осуществляется по двум его параметрам: несимметрии и несинусоидальности напряжений и токов. Показатели и нормы КЭ в ГОСТ 13109-97 устанавливаются по напряжению.

Выявить источник искажений КЭ можно:

- путем измерений напряжений и токов в ТОП;
- аналитическим методом [4].

Рассмотрим первый вариант. При идентификации источника искажений КЭ путем измерений необходимо принимать во внимание, что приборы, регистрирующие ПКЭ (измерители, регистраторы, анализаторы и т.д.), можно разбить на три категории:

- приборы, регистрирующие только напряжение;
- приборы, регистрирующие напряжение и токи, вычисляющие фазовые углы между ними по гармоническим составляющим, но не вычисляющие активные мощности по этим составляющим и активные мощности по несимметричным составляющим;
- приборы, регистрирующие напряжение и токи, вычисляющие фазовые углы, активные мощности по гармоническим составляющим и активные мощности по несимметричным составляющим.

При использовании приборов 1-го типа источник искажений КЭ не может быть определен.

Пример определения источников искажений КЭ по несинусоидальности напряжений, токов и фазовым углам с помощью прибора «Ресурс-UF2», приведен в [2].

При использовании приборов 3-го типа источник искажения определяется по направлению протекания активных мощностей для гармонических и несимметричных составляющих напряжения. В статье идентификация источника искажения КЭ рассматривается с использованием приборов 3-го типа.

Направление активных мощностей гармонических составляющих в распределительной сети от ЭП потребителя к ТОП условно называются «отрицательными». Если зафиксированы такие отрицательные направления активных мощностей, то такой потребитель (его электроприемники) является искажающим КЭ.

При решении задачи идентификации источника искажения предпочтительным является мониторинг, так как направления активных мощностей отдельных гармоник могут изменяться в определенном временном промежутке (сутки, неделя и т. д.), или хотя бы проведение измерений минимум за сутки указанных активных мощностей.

Идентификация источника искажений по несимметрии напряжений осуществляется по коэффициентам обратной и нулевой последовательности.

Графики изменения K_{2U} и активной мощности обратной последовательности P_{2U} приведены на рисунке 1 [3]. Вывод: K_{2U} в эти сутки не соответствует ГОСТ 13109-97, т.к. превышены нормально допустимые значения (2 %, $T_1 = 65$ %) и предельно допустимые (4 %, $T_2 = 19$ %).

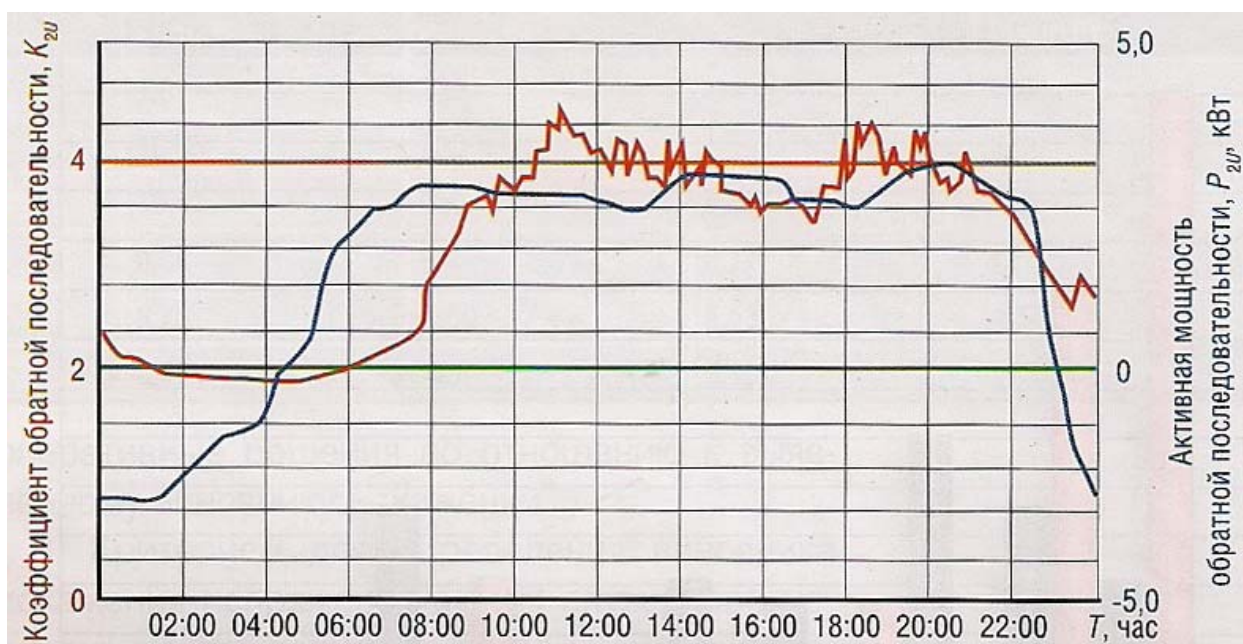


Рисунок 1. Графики изменения K_{2U} и P_{2U} .

Направление и величина активной мощности обратной последовательности и энергии искажений за сутки изменялась несколько раз. В течение периода с 23:00 до 4:30 потребитель генерировал активную мощность обратной последовательности в сеть. Следовательно, данный потребитель (его ЭП) за указанный период являлся источником искажений КЭ.

Идентификация источника искажений по несинусоидальности напряжения осуществляется путем измерения активных мощностей в каждой фазе по каждой гармонической составляющей напряжения. Суммируя с учётом направления активные мощности гармонических составляющих (со 2-й гармоники по 40-ю), можно получить суточный график, который представлен на рисунке 2. Вывод очевиден – потребитель является источником искажения по несинусоидальности напряжения.

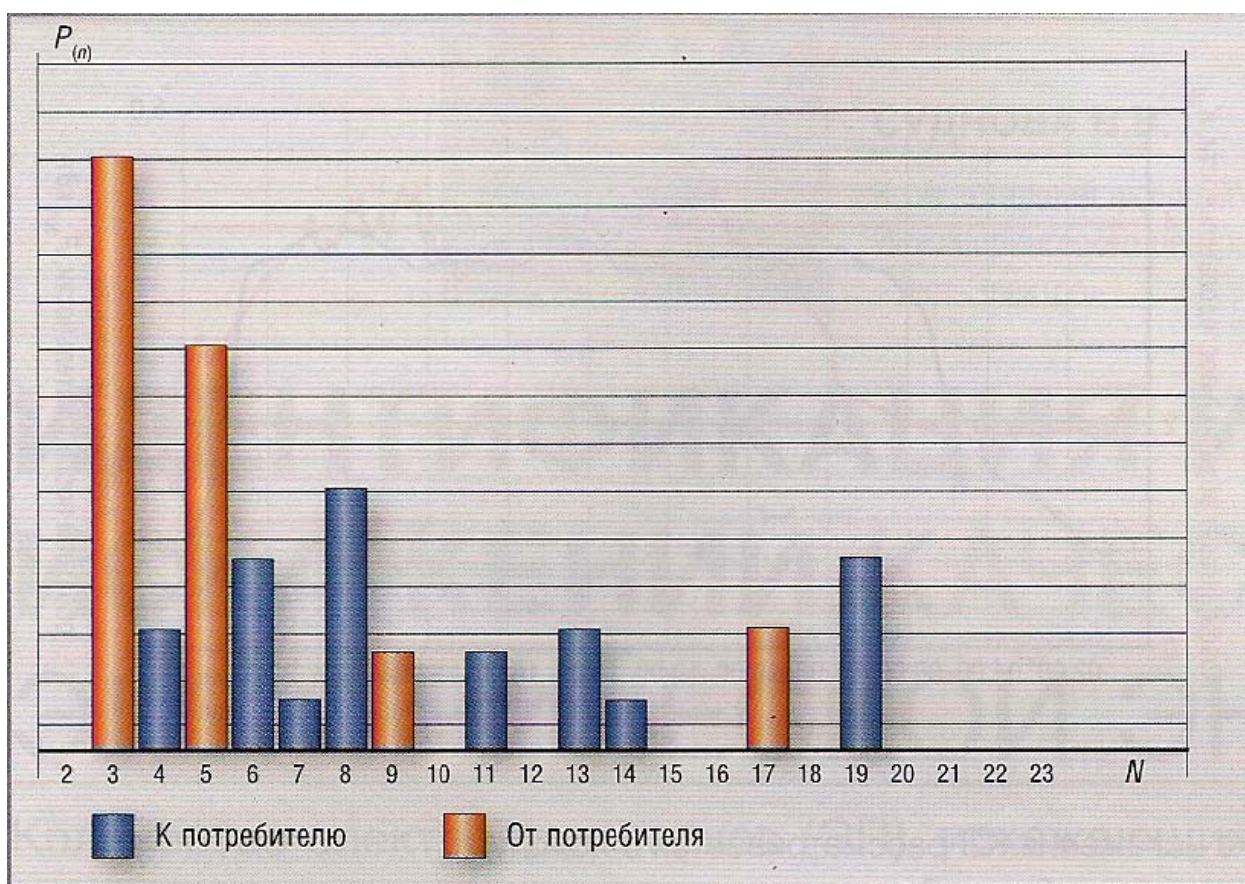


Рисунок 2. График распределения активных мощностей по гармоническим составляющим.

Методика определения фактического вклада потребителя (ФВП) и энергосистемы (ФВС), разработанная НИЦ «Тест-Электро», базируется на результатах, полученных при использовании приборов 3-го типа.

Определение источников искажений по гармоническим составляющим активной мощности рассмотрим также для схемы из [2].

Электрическая схема подстанции (ПС) и присоединённых объектов представлена на рисунке 3.

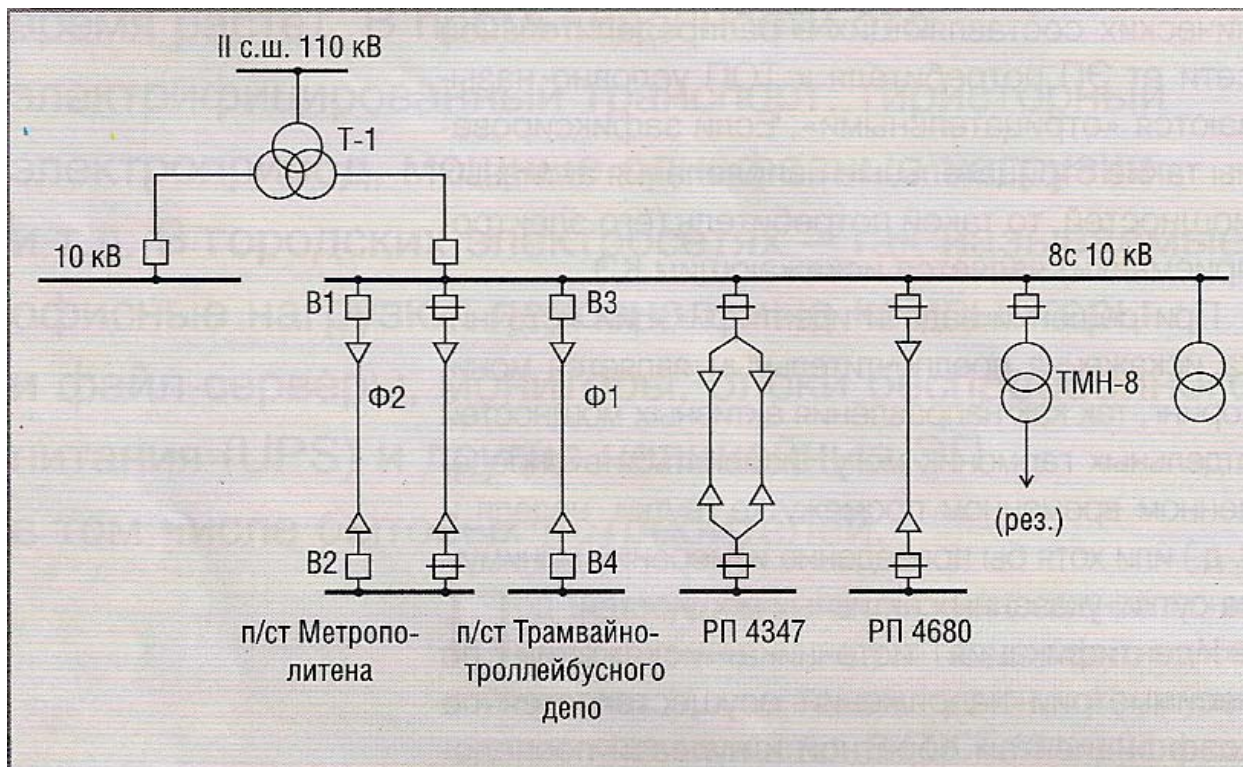


Рисунок 3. Электрическая схема подстанции.

К линиям 1 и 2 присоединены, соответственно, ПС метрополитена и трамвайно-троллейбусного депо, нагрузка которых носит нелинейный характер. Других нагрузок на этой секции шин нет.

Для измерений использовались приборы, регистрирующие напряжение и токи, вычисляющие активные мощности по гармоническим составляющим и активные мощности по несимметричным составляющим. В ходе измерений регистрировались:

- напряжение 1-ой гармонической составляющей и коэффициенты n -ых гармонических составляющих напряжения – $K_{U(n)}$ в ТОП;
- токи 1-ой гармонической составляющей и коэффициенты n -ых гармонических составляющих тока $K_{I(n)}$ во всех присоединениях;

– активные мощности n -ой гармонической составляющей – $P_{UI(n)}$ во всех присоединениях.

Результаты измерений представлены в таблице 1.

Таблица 1.

Номер гармоники	Ввод Т-1			ф. 1		ф. 1	
	$K_{U(n)}$	$K_{I(n)}$	$P_{UI(n)}$	$K_{I(n)}$	$P_{UI(n)}$	$K_{I(n)}$	$P_{UI(n)}$
3	1,37	1,04	-280	1,05	130	1,13	150
5	3,06	13,48	1200	18,85	700	17,22	-500
7	1,69	7,55	400	10,41	120	8,87	-280
9	0,14	0,4	-19	0,84	6	0,74	13
11	1,86	3,19	900	6,75	-250	4,53	-650
13	0,76	1,38	180	4,43	-40	2,43	140

Источники искажений по каждой гармонической составляющей и их фактический вклад определяются следующим образом.

1-я гармоника: 1-я гармоника не рассматривается (в отличие от РД 153-34.0-15.502-2002, т.к. при определении источника искажений КЭ она участия не принимает).

3-я гармоника:

Ввод Т-1: активная мощность (направление) отрицательна, а активные мощности линий (ф. 1 ф. 2): – положительны. Следовательно, энергосистема является единственным источником искажений по 3-й гармонике, и её фактический вклад определяется уровнем 3-й гармонической составляющей напряжения в ТОП и равен 1,37 %.

5-я гармоника:

Активная мощность ф. 2 отрицательна, а двух других положительна. Следовательно, нагрузка метрополитена является единственным источником искажений по 5-ой гармонике, фактический вклад которой определяется

уровнем 5-ой гармонической составляющей напряжения в ТОП и равен 3,06 %.

7-я гармоника:

Активная мощность ф. 2 отрицательна, а двух других положительна. Следовательно, единственным источником искажений по 7-й гармонике является нагрузка метрополитена, фактический вклад которой определяется уровнем 7-ой гармонической составляющей напряжения в ТОП и равен 1,69 %.

9-я гармоника:

Ввод Т-1: активная мощность отрицательна, а активные мощности ф. 1 и ф. 2 положительны. Следовательно, энергосистема является единственным источником искажений по 9-ой гармонике, её фактический вклад определяется уровнем 9-ой гармонической составляющей напряжения в ТОП и равен 0,14 %.

11-я гармоника:

Отрицательными являются активные мощности ф. 1 и ф. 2. Следовательно, нагрузки метрополитена и трамвайно-троллейбусного депо являются источниками искажений по 11-ой гармонической составляющей, фактический вклад которых равен 6,75 % и 4,53 % соответственно.

13-я гармоника:

Активная мощность ф. 1 отрицательна, а двух других вводов положительна. Следовательно нагрузка трамвайно-троллейбусного депо является единственным источником искажений по 13-й гармонической составляющей, фактический вклад которой определяется уровнем 13-ой гармонической составляющей напряжения в ТОП и равен 0,76 %.

Выводы

1. Методика определения ФВП и ФВС должна базироваться на результатах определения активных мощности по гармоническим и несимметричным составляющим напряжения, поскольку:

- именно такими возможностями обладают современные приборы контроля качества электроэнергии;
- позволяет определять фактические вклады всех потребителей в ТОП.

2. Идентификация источника искажения по направлению активных мощностей отдельных гармоник или симметричных составляющих напряжения в автоматизированной системе мониторинга ПКЭ позволит принимать грамотные оперативные решения по отношению к выявленному виновнику искажений.

3. Критерием для определения виновника искажения напряжения в ТОП служит соотношение между допустимым (ДВП) и фактическим вкладом потребителя. Если ФВП найден, а ДВП задан, то определён и виновник искажения напряжения в ТОП.

Литература

1. ГОСТ 13109-97. «Электрическая энергия. Совместимость технических средств электромагнитная. Нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения».

2. Методические указания по контролю и анализу качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения. Часть 2. Анализ качества электрической энергии. РД 153-34.0-15.502-2002.

3. Соколов В.С., Ермилов М.Л. Проблемы установления размера ответственности за ухудшение качества электрической энергии и пути их решения. Промышленная энергетика, № 8, 2000.

4. Yang Hong Geng "Assessment for Harmonics Emission Level from one particular customer". – University of Liege. – 1992.