

Низкочастотные помехи:

качество напряжения тоже можно измерить

Так называемые нелинейные нагрузки в системах обработки данных и в силовой электронике ухудшают качество напряжения питания. Они вредны для электротехнического оборудования и сказываются на его максимальной мощности. Ниже изложены основные типы встречающихся искажений, их причины, способы измерений, допустимые пределы искажений, полагая, что результаты измерений записывались как минимум в течение одной недели.

Сергей Шахматов

diagnost@diagnost.ru

Для дистрибьюторов электроэнергии поставка высококачественного продукта подразумевает в первую очередь обеспечение 3-фазного сбалансированного синусоидального напряжения определенной величины с частотой 50 Гц в соответствии с требованиями заказчика.

Медленные изменения: выбросы напряжения, провалы напряжения и пропадание напряжения

Амплитуда напряжения — решающий фактор качества, первое требование в контракте с поставщиком. В процессе передачи и распределения электроэнергии по сети амплитуда напряжения подвергается непредсказуемым воздействиям (например, в системах слежения за мощностью, в распределительных системах, в системах автоматической защиты), приводящим к отклонениям амплитуды напряжения вплоть до уровней, близких к нулю. Для характеристики этих процессов обычно используют два параметра: амплитуду и продолжительность отклонений.

Можно определить следующие варианты: **выброс напряжения, провал напряжения и пропадание напряжения**. Номинальное изменение напряжения, которое оговаривается поставщиком, обычно составляет $\pm 10\%$ от напряжения, измеренного между

фазами. Провал напряжения — понижение уровня напряжения ниже допустимого (рис. 1). Чаще всего такие провалы длятся менее 0,2 с в низковольтных и высоковольтных сетях. В течение года бывает от нескольких провалов до тысячи.

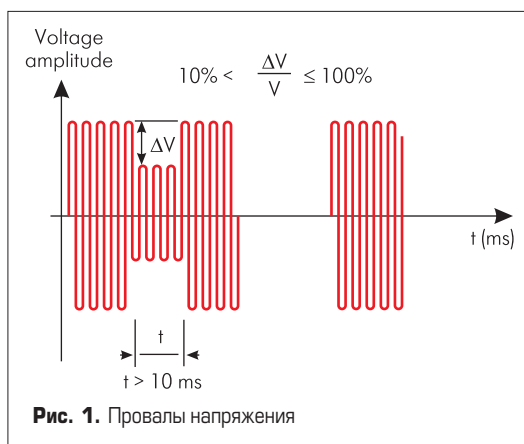
В нормальных условиях кратковременные пропадания напряжения бывают от единиц до нескольких сотен раз в год и длятся не более 1 с.

Имеется несколько причин, вызывающих колебания напряжения. На участке ответственности поставщика это могут быть молнии и случайные короткие замыкания (нарушение изоляции, дефект в кабеле, падение деревьев на воздушные линии передач). Со стороны потребителя причиной могут стать его неправильные действия. Подключение больших нагрузок приводит к колебанию напряжения, если мощность нагрузки превышает возможную выходную мощность сети в данной точке. Мощные электромоторы, трансформаторы, группы конденсаторов — это нагрузки, которые наиболее часто приводят к колебаниям напряжения в сети. Эффект усиливается, если такие нагрузки подключены к одной ветви. Колебания напряжения могут вывести из строя роторные электродвигатели. Если в сети в определенном месте имеются колебания амплитуды напряжения, то колебания будут воздействовать на всех потребителей, подключенных на этом уровне сети.

Наибольшая трудность состоит в точном измерении колебаний амплитуды напряжения, особенно если колебания присутствуют на всех трех фазах, имея при этом различную амплитуду и длительность.

Быстрые изменения — краткосрочные выбросы

Выбросы, длящиеся меньше 10 мс, известны как «краткосрочные выбросы» (рис. 2). Они могут вызываться молниями или, гораздо чаще, работой электрооборудования (переключение нагрузок большей или меньшей индуктивности приводит к краткосрочным высокочастотным выбросам напряжения). Эти кратковременные выбросы также



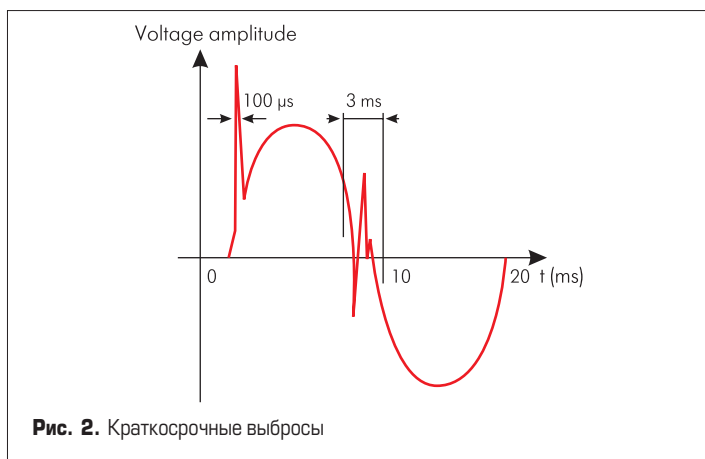


Рис. 2. Краткосрочные выбросы

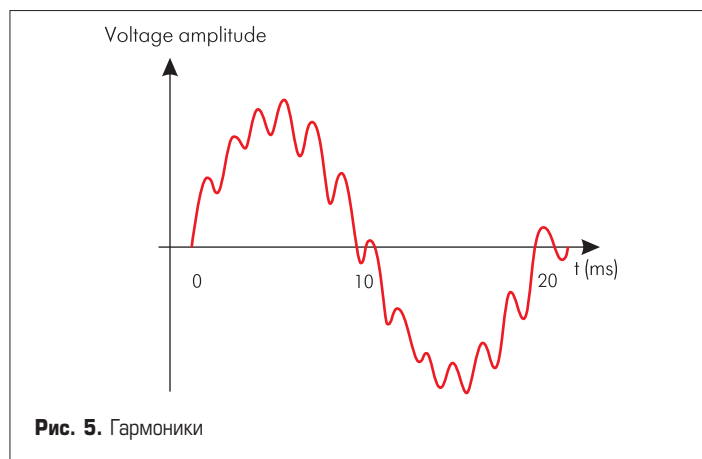


Рис. 5. Гармоники



Рис. 3. Анализатор электрических сетей CA 8352

появляются, когда при переключении двух тиристорov возникает кратковременное короткое замыкание между фазами. Время выброса находится в пределах от нескольких микросекунд до нескольких миллисекунд. Обычно эти выбросы меньше 800 В, но могут превысить и 1000 В в результате смешивания.

Измерение краткосрочных выбросов требует специальных анализаторов, использующих цифровую технологию и высокую тактовую частоту.

Мерцания (фликер) или быстрые флуктуации напряжения

Мерцания освещенности, вызываемые быстрыми флуктуациями напряжения (рис. 4), весьма неприятны для глаз человека. Они приводят к головным болям, раздражительности, а иногда даже вызвать приступ эпилепсии.

Величину мерцания можно получить, измерив флуктуации напряжения и проведя

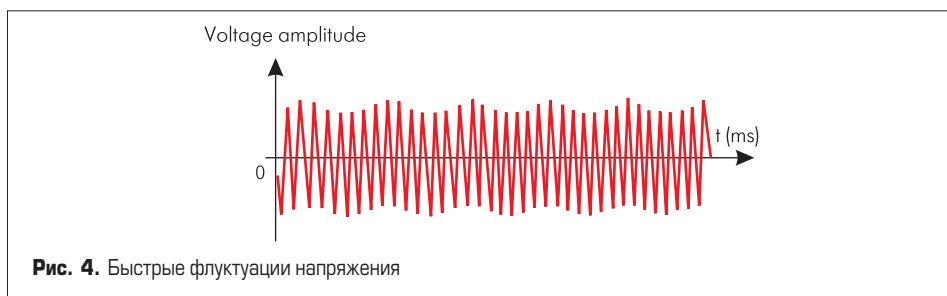


Рис. 4. Быстрые флуктуации напряжения

статистические расчеты. Мерцания напряжения могут вызываться изменениями величины нагрузки у дуговых печей, лазерных принтеров, микроволновых печей или систем кондиционирования.

Метод измерения должен быть таким, чтобы уровень мерцания адекватно отражал степень дискомфорта, а значит, учитывал механизм зрения. Для этого уровень мерцания должен определяться в течение достаточно долгого времени. Более того, вследствие неизвестных причин мерцаний, вызываемых конкретной нагрузкой, мгновенное значение мерцаний может существенно и непредсказуемо меняться в течение периода измерения.

Период измерения 10 минут является хорошим компромиссом для определения краткосрочного фликера. Этого времени вполне достаточно, чтобы изолироваться от крайне нежелательного влияния колебаний, не относящихся к мерцаниям. Этого времени также вполне достаточно, чтобы неопытный человек заметил помеху и ее постоянство. С другой стороны, это время минимально необходимо, чтобы охарактеризовать помехи оборудования с большим циклом работы. Период 10 минут позволяет правильно отделить краткосрочный фликер от помех, вызываемых такими источниками, как мельницы, насосы или различные электроприборы.

В случаях, когда необходимо рассчитать фликер, вызванный работой нескольких нагрузок неопределенного характера (например, сварочные аппараты или электромоторы) или когда нагрузки имеют большой или непостоянный рабочий цикл, необходимо наблюдать помеху в течение более долгого периода. Время измерения может быть увеличено до 2 часов. Оно должно соответствовать рабочему циклу нагрузки или времени, в течение которого наблюдатель может воспринять долгосрочный фликер. Долгосроч-

ный фликер может быть рассчитан из уровня краткосрочного фликера. Это стандартная функция некоторых анализаторов сети.

Гармоники и интергармоники

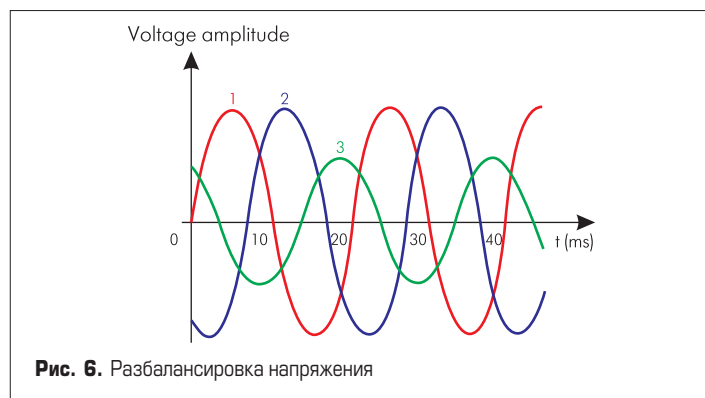
Во многих случаях ток нагрузки далек от синусоидального. Искажение тока вызывает искажение напряжения. Величина искажения напряжения также зависит от импеданса источника.

Гармонические искажения вызваны нелинейными нагрузками, подключенными к электросети. Нелинейной нагрузкой является различная силовая электроника (вариаторы, инверторы, статические преобразователи и т. п.), подключенная к электросети. В целом любое электроустройство, содержащее выпрямитель и переключающую электронику, искажает потребляемый ток и создает напряжение помех в электросети. Такое устройство — источник многочисленных гармонических помех в сети.

Гармониками называют суперпозицию основной волны частотой 50 Гц и других волн с частотами, кратными основной частоте (рис. 5). Для определения гармоник тока или напряжения используется преобразование Фурье, с помощью которого разлагают исходный периодический сигнал на сумму гармонических сигналов с частотами, кратными основной частоте. Если в сигнале имеется компонента, не кратная основной частоте, например 175 Гц, мы говорим об интергармониках (продуктах интермодуляции). Уровень интергармоник повышается по мере все большего применения преобразователей, быстродействующих вариаторов и подобного управляемого оборудования.

Уровень гармоник можно охарактеризовать коэффициентом гармонических искажений THD (total harmonic distortion). Обычно рассматриваются гармоники, лежащие в диапазоне 100–2000 Гц, то есть гармоники от 2-го до 50-го порядка. Современные средства измерений должны быть способны анализировать гармоники вместе и по отдельности, чтобы провести точную диагностику установки.

У некоторых электронных приборов спектры могут быть непостоянными, моментальными: нарушение функционирования (синхронизации, коммутации), несвоевременные сбросы, ошибки измерения в измерителях энергии и т. п.



Разбалансировка

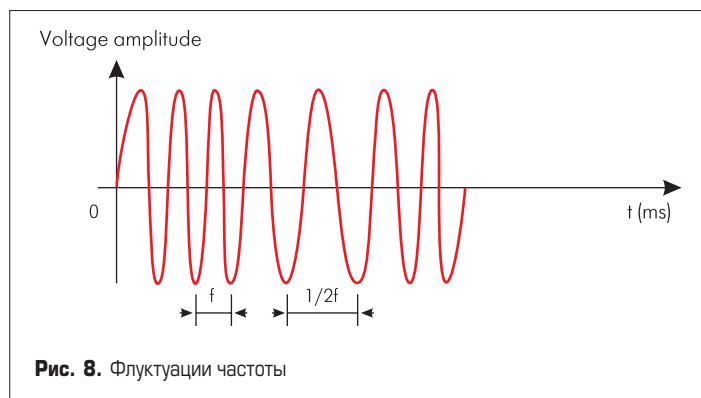
Разбалансированная трехфазная нагрузка или однофазная нагрузка, подключенная к сбалансированной трехфазной сети, может привести к разбалансировке напряжения (рис. 6). Разбалансировка напряжения возникает благодаря разбалансированным токам, протекающим по сети.

Напряжение можно задержать методом симметричного, прямого отрицательного фазового сдвига или методом гомополярных компонентов. Хорошо известно, что компонент, вносящий отрицательный фазовый сдвиг, вызывает ложное запаздывание и повышение температуры в двигателях переменного тока. Дополнительное повышение температуры приводит к уменьшению срока службы электродвигателей, конденсаторов, трансформаторов и нулевых проводников.

Анализатор сети, имеющий соответствующую функцию, измеряет уровень разбалансировки и три ее компоненты.



Считается, что проблем с разбалансировкой не будет, если уровень разбалансировки меньше 2%.



Частота

Колебания частоты обычно наблюдаются в автономных сетях или в сетях, работающих от автономного генератора. В нормальных условиях средняя частота находится в пределах $50 \text{ Гц} \pm 1\%$ (рис. 8).

Заключение

Проблема кратковременных провалов и пропаданий напряжения становится все более актуальной в силу большой чувствительности некоторых частей оборудования к этому явлению. Тот факт, что качество электрической энергии зависит не только от поставщика, но и от потребителя, может неприятно удивить. Проверка качества электропитания требует эффективных устройств для измерения описанных выше параметров. Новые анализаторы трехфазных сетей позволяют сделать исчерпывающий анализ параметров, определяющих качество электропитания и точно определить проблемы, наблюдаемые в сети.