

Качество электроэнергии - основы мониторинга и анализа

Введение

В своей текущей деятельности компаниям приходится постоянно стремиться к повышению уровня прибыльности путем увеличения производительности труда, максимального использования активов и выполнения больших объемов работ с затратой меньших ресурсов (персонал, материалы, время). В той или иной мере все это может быть достигнуто с помощью использования современного технологического и, прежде всего информационного оборудования: персональных компьютеров (ПК), сетей и средств связи.

Увеличение потребления электрической энергии приводит к необходимости использования все более эффективных источников питания для информационного оборудования, программируемых логических контроллеров (PLC) и других устройств. Уже давно замечено, что подобные приборы могут выступать как источниками, так и жертвами неисправностей в электрической системе.

Решение большого количества проблем заставляет многие компании брать на себя некоторые или все работы, связанные с профилактическим либо срочным обслуживанием. Хотя специализированные сервисные организации выполняют данные работы в сжатые сроки и с меньшим количеством персонала.

Значительный процент данных работ обусловлен проблемами, связанными с качеством энергии либо с распределительной электросетью. Понимание базовых основ наиболее общих явлений, связанных с качеством энергии, позволяет компаниям более качественно обслуживать свое электрохозяйство, что дает лучшие возможности достижения поставленных коммерческих целей.

Основные электрические законы

В современных электрических системах напряжение или ток, как правило, не являются идеально синусоидальными сигналами частоты 50 Гц, как показано на рис. 1.

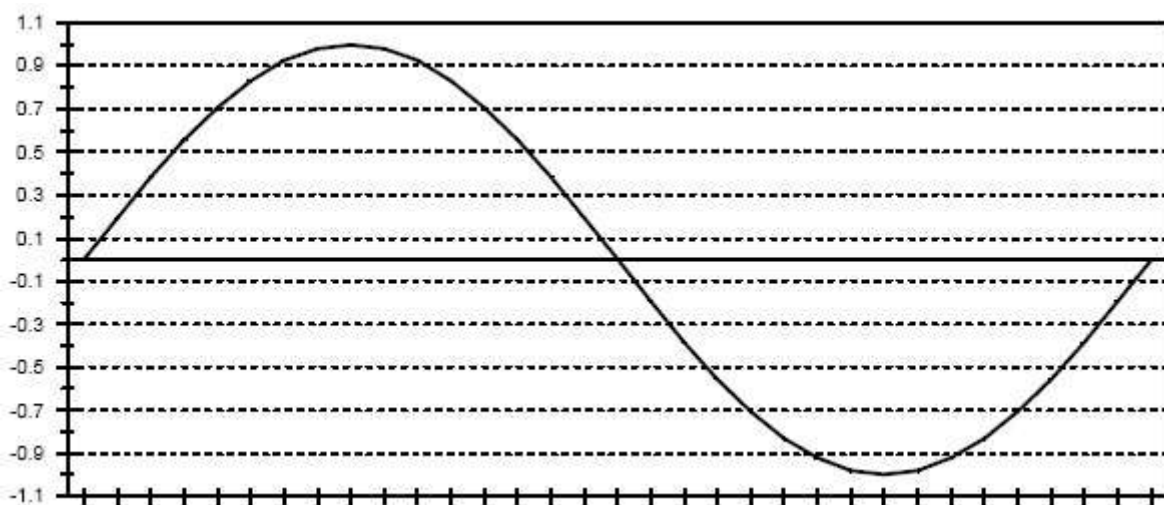


Рис. 1. Синусоидальная форма кривой переменного напряжения или тока

Гармониками называются частоты, кратные основной частоте (100Гц, 150Гц, 200Гц и т.д.). Источники питания многих производимых в настоящее время приборов (ПК, лазерные принтеры, PLC и др.) потребляют ток только в течение части синусоиды, что приводит к периодическим токам (рис. 2), вызывающим искажение гармонического напряжения.



Рис. 2. Искаженная волна

Существуют два основных закона, которые необходимо знать, чтобы понять большинство проблем, связанных с качеством электроэнергии.

Первым является закон Ома, указывающий, что произведенное напряжение равно току, умноженному на сопротивление ($U=IR$). Аналогично, ток будет равен напряжению, деленному на сопротивление ($I=U/R$). Сопротивление (импеданс) может быть простым резистивным (активным) либо комплексным нелинейным Z , например, индуктивным, с различной амплитудой и фазой на разных частотах. Закон Ома применим не только к компонентам на основной, фундаментальной частоте, но и на всех других частотах. Произведение периодического тока на периодическое сопротивление дает периодическое напряжение.

Закон Кирхгофа утверждает, что сумма падений напряжения по замкнутому контуру должна равняться нулю. В однофазной цепи с единственной нагрузкой (см. рис. 3), ток (I_L), идущий от источника (U_S), течет через сопротивление источника (Z_S) и нагрузочное сопротивление (Z_L). Сопротивление источника представляет суммарное сопротивление всех проводов и трансформатора. Произведение тока I_L на Z_S равно падению напряжения U_Z . То, что выработано, должно равняться тому, что потреблено, следовательно, $U_S = U_Z + U_L$.

Если ток, потребляемый нагрузкой, нарастает, как, например, при пуске двигателя либо при коротком замыкании, то увеличится ток I_L . Согласно закону Ома, соответственно увеличится падение напряжения U_Z . Если напряжение источника U_S останется на прежнем уровне (нет перегрузки), то сумма напряжений по всей цепи покажет уменьшение напряжения, приходящегося на нагрузку ($U_L - U_S = U_Z$). Обратное будет верно, если ток будет уменьшаться, что приведет к росту напряжения на нагрузке.

Это является базовым источником широкого класса явлений, связанных с качеством энергии, включающего провалы, всплески, флуктуации напряжения (фликер) и переходные процессы.

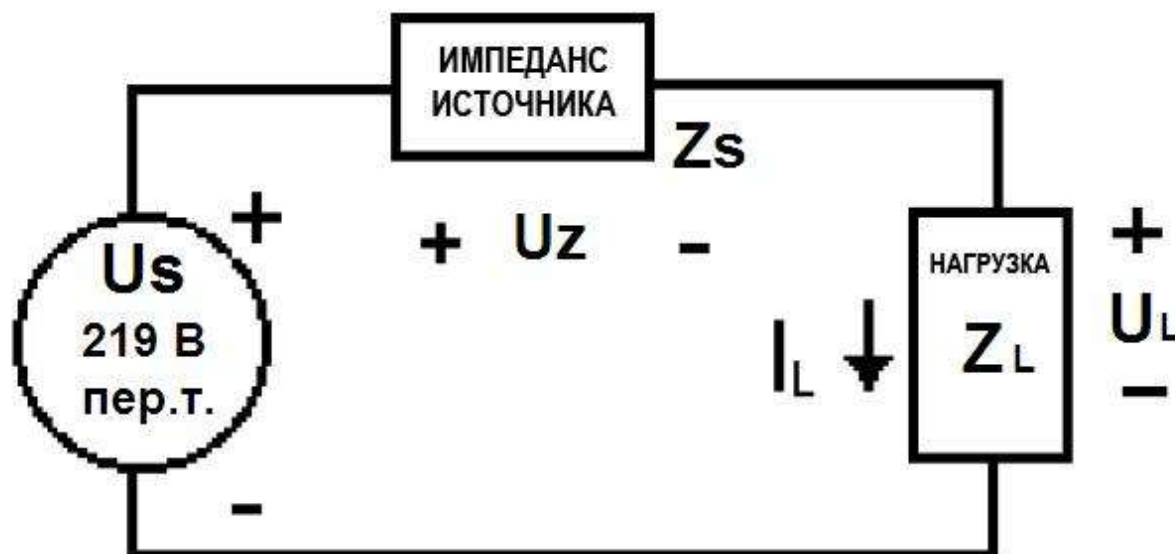


Рис. 3. Однофазная эквивалентная схема

Основные понятия качества электроэнергии

Качество электроэнергии (отклонения от нормы, возмущения) обычно определяется в терминах напряжения питания. Данные явления можно разбить на три основных категории: изменения действительного (или среднеквадратичного) значения напряжения (СЗН), переходное напряжение и искажения формы сигнала напряжения. Большинство стандартов качества опираются на понятие напряжения, хотя очень часто источником проблемы является ток.

Наиболее исчерпывающим документом в России является стандарт ГОСТ 13109-97 «Электрическая энергия. Совместимость технических средств электромагнитная. Нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения.» Документ дает основные понятия о качестве электроэнергии показателях и нормах качества электроэнергии, устанавливает требования к погрешностям измерений качества электроэнергии, разъясняет свойства электрической энергии, а также определяет наиболее вероятных виновных в нарушениях качества электроэнергии.

В Европе основной регламентирующий документ это EN50160- оценка качества напряжения. В США - IEEE Std 1159 1995 Recommended Practice for Monitoring Electric Power Quality (Рекомендуемые работы при мониторинге качества электрической энергии). Полезной является также соответствующая глава в стандарте NFPA 70B Electrical Equipment Maintenance (Обслуживание электрического оборудования).

Изменения действительного (среднеквадратичного) значения напряжения

Первая категория заключается в таких вариациях действительного (среднеквадратичного) значения напряжения (СЗН), как провалы, всплески и обрыв напряжения. Перед тем как углубиться в их изучение, полезно конкретизировать, что понимается под СЗН. Определение СЗН – это математическая процедура для расчета эффективной амплитуды переменного или знакопеременного сигнала, сравниваемого с постоянным сигналом.

СЗН – это среднеквадратичное значение, вычисляемое путем возведения значений отсчетов сигнала в квадрат, усреднения их и извлечения арифметического квадратного корня. СЗН - это такое значение, которое приводит к такой потере мощности, как если бы непрерывное напряжение было бы приложено к чисто резистивному (активному) сопротивлению. Имея дело с искаженными сигналами, необходимо использовать приборы, измеряющие СЗН. В противном случае отсчеты сигнала могут показывать не то, что происходит на самом деле.

«Провал» (в англ. литературе «sag») обычно определяется как снижение уровня напряжения питания до 90% или меньше от номинальной величины СЗН, но больше 10% от этой номинальной величины (см. рис. 4). «Всплеск» (англ. «swell») - это повышение уровня напряжения обычно до 110% или выше от номинального значения. «Обрыв» (англ. «interruption») напряжения характеризуется падением его СЗН ниже уровня 10% от номинального. В зависимости от вида присутствующей нагрузки в системе и величины искажения сигнала, одно и то же событие может трактоваться как разный уровень или даже разный тип искажения. В некоторых случаях могут присутствовать все три типа искажений.

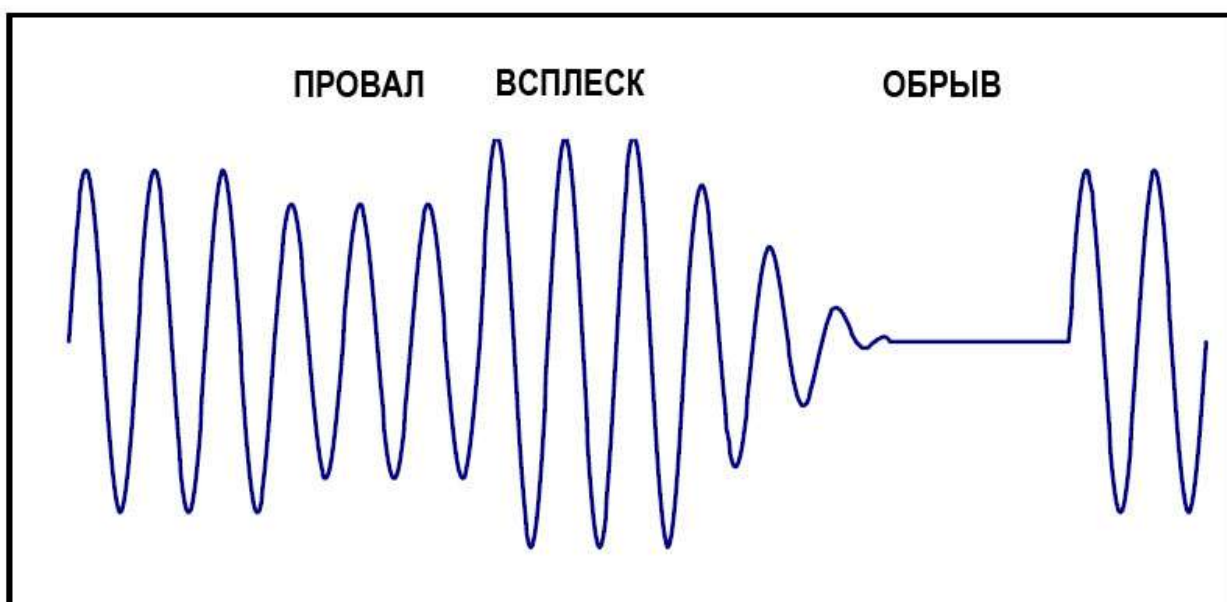


Рис.4. Типы изменения СЗН

Провалы напряжения

Согласно последним исследованиям, наиболее частым типом искажений являются провалы напряжения, а их источник в основном обнаруживается в самом оборудовании, а не у потребителя. Неполадки в электрической сети, такие как упавший провод или провисший провод на крону дерева, наводят большие токи, приводящие к падению напряжения в распределительных и/или передающих проводах до тех пор, пока не сработают предохранительные устройства (реле или плавкие предохранители). Отсюда следует, что многие провалы, происходящие в цепи, легко идентифицируются, если они длятся на протяжении 4-10 циклов, значение напряжения восстанавливается ступенчато, а при мониторинге оборудования не происходит серьезных изменений тока. Провал в распределительной системе потребителя, устраненный прерывателем проиллюстрирован на рис 5.

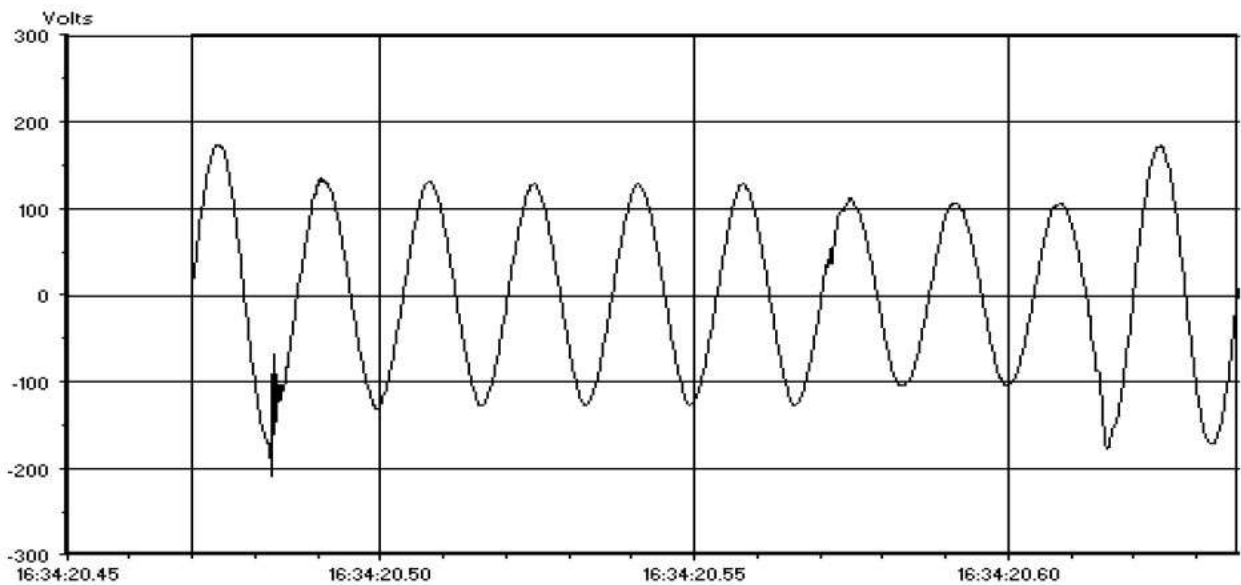


Рис. 5. Провал в распределительной системе потребителя, устраненный прерывателем

В противоположность этому, провалы, источник которых находится в оборудовании, часто вызываются изменением нагрузки, неисправностями электрической системы или неправильным соединением. «Знак» провала часто характеризует тип нагрузки. Например, запуск двигателя обычно сопровождается большим пусковым током (в 6-10 раз выше номинального), постепенно спадающим до номинального значения. Результирующий провал имеет прямо противоположный характер, как показано на рис. 6. Напряжение резко падает, а затем медленно восстанавливается до номинального значения синхронно с уменьшением тока. Здесь следует вернуться к предыдущему разделу, где было отмечено, что увеличение тока вызывает большее падение напряжения на сопротивлении источника (все провода и трансформаторы), приводящее к уменьшению напряжения на нагрузке.



Рис.6. Провал при пуске двигателя

Прерывания напряжения

Прерывания обычно являются результатом неисправностей защитной системы на распределительной подстанции, полюсе трансформатора, либо размыкающих реле в оборудовании. Когда прерыватель или предохранитель срабатывают, чтобы устранить избыточный ток, в отсутствие источника бесперебойного питания возникает прерывание напряжения. Прерывания также могут быть вызваны плохим контактом соединений между проводами или шинами.

Всплески напряжения

Всплески напряжения часто являются результатом неожиданного уменьшения тока нагрузки. Многие распределительные системы используют автоматические переключатели трансформаторов для того чтобы попытаться удержать номинальное напряжение в требуемых пределах. При повышении нагрузки, как только начинает падать напряжение, трансформатор переключается на обмотку с более высоким напряжением для компенсации. Когда ток нагрузки неожиданно падает, это продолжается не дольше, чем падение напряжения на сопротивлении источника. Напряжение растет до момента, когда автоматический переключатель не обнаружит это и не переключит на обмотку с меньшим напряжением. Чтобы избежать переключатель от постоянных переключений в ту или другую сторону при кратковременных изменениях нагрузки, используется постоянная времени, обычно около 30 сек, чтобы реагировать на переключение только при необходимости.

В то время как провалы и всплески обычно определяются как длящиеся не более 3-х минут, изменения RMS значения большей длительности относятся к условиям недостаточного напряжения или перенапряжения. Это может быть результатом перегрузки источника питания. Подобные условия наступают значительно реже, и обычно корректируются путем установки соответствующего переключателя трансформатора.

Провалы и прерывания часто возникают в оборудовании как результат нарушения в его работе, что может привести к неполадкам у потребителя. Насколько серьезно провалы либо прерывания следует учитывать, зависит от многих факторов, включающих восприимчивость (чувствительность) потребителя, проводку, взаимодействие между несколькими потребителями и т.д. Очевидно, что существует разница между потребителями энергии: компьютеризированная система предприятия стоимостью сотни тысяч, либо датчик стоимостью несколько рублей. Всплески также могут вызвать перебои в работе системы либо физическое повреждение ее чувствительных компонентов.

Переходные процессы

Второй категорией в классификации явления качества электроэнергии является переходное напряжение, ранее называвшееся импульсами, обычно имеет импульсный или колебательный характер. Молния, поражающая распределительную линию, представляет собой такой импульс, приводящий к сильным и кратковременным (обычно порядка нескольких микросекунд) отклонениям формы сигнала в одном направлении, за которым возможно следует пара более слабых импульсов в обоих направлениях. Выемки в сигнале вследствие мгновенного короткого замыкания при коммутации обычно относятся к однополярным (в одном направлении) импульсам.

Колебательному импульсу соответствует сигнал биений либо последующее колебание. Наиболее преобладающим типом переходных процессов является переключение конденсаторов, компенсирующих реактивную мощность. Высокий входной ток возникает в разряженном конденсаторе благодаря законам Ома и Кирхгофа и приводит к резкому падению напряжения. Но так как распределительные линии имеют высокую индуктивную составляющую сопротивления, резкое включение значительной емкости приводит к временному возникновению условий резонанса (см. затухающие колебания на рис. 7). Иногда возникающие колебания могут быть более существенными и опасными, чем исходный переходный процесс.

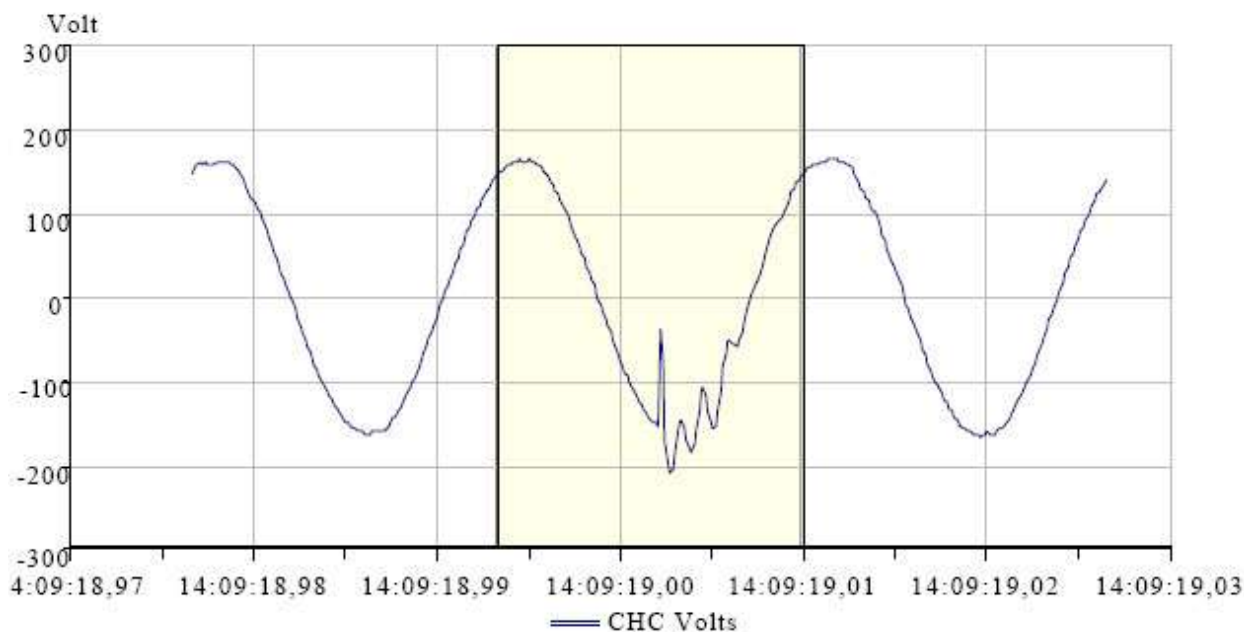


Рис. 7. Колебательный процесс при включении конденсатора компенсации реактивной мощности

Повреждения от переходных процессов могут быть незаметными. Хотя бывают катастрофические повреждения вследствие прямого попадания молнии в проводку зданий, более частые повреждения возникают от повреждений переходов силовых полупроводников или диэлектрика в конденсаторных батареях и приводят к ошибкам при передаче данных или повреждению данных в памяти.

Искажение волновой картины

Третьей категорией в классификации явления качества электроэнергии является искажение волновой картины, которое охватывает гармоники, промежуточные гармоники, флуктуации напряжения, выемки и ответвления постоянного тока. Как указывалось выше, частоты гармоник кратны основной частоте. Например, 2-я гармоника равна $2 \cdot 50 = 100$ Гц. Частоты, не кратные основной частоте, называются промежуточными гармониками (интергармониками). Существует также специальный класс промежуточных гармоник, частоты которых ниже фундаментальной и которые называются субгармониками. Присутствие субгармоник часто проявляется в мерцании света.

В настоящее время основными источниками гармонического тока являются выпрямители и инверторы с управляемым фазным углом. Они часто называются статическими преобразователями мощности. Эти устройства преобразуют мощность переменного тока в постоянную мощность, а затем иногда обратно в

переменную мощность той же или другой частоты. Они часто применяются в источниках питания таких устройств, как персональные компьютеры, программируемые логические контроллеры и других устройствах.

Некоторые типы нагрузок также могут генерировать составляющие гармонического спектра, которые могут указать вам на источник данных возмущений. Основное уравнение: $h = (n \cdot p) \pm 1$, где h – номер гармоники, n – любое целое (1,2,3,...), а p – количество импульсов в схеме. В табл. 1 приведены примеры.

Табл.1. Типичные гармоники, обнаруженные в различных конвертерах

Тип устройства	Количество импульсов	Гармоники
Полуволновый выпрямитель	1	2,3,4,5,6,7,...
Полноволновый выпрямитель	2	3,5,7,9,...
трехфазное, полноволновое	6	5,7,11,13,17,19,...
(2) трехфазное, полноволновое	12	11,13,23,25,35,37,...

Несбалансированный трансформатор (когда выходной ток, сопротивление обмотки или входное напряжение не равны для каждого плеча) может являться источником гармоник, также как и насыщение трансформатора при перенапряжении. Флуоресцентные осветители являются наиболее общим источником гармоник, так как в качестве балластов используются нелинейные индукторы. Процесс плавки металла в электрической дуговой печи или сварка могут привести к большим токам, включающим основную, интергармоническую и субгармоническую составляющие.

Существует большое количество различных приборов, которые могут неправильно работать или выходить из строя вследствие высокого гармонического напряжения или уровня тока. Ниже приведены следствия данного вида искажений:

- Избыточный нейтральный ток, приводящий к перегреву нейтралей, особенно для трехкратных гармоник (3,6,9,12,15-я,...), которые в действительности носят аддитивный характер в нейтрали трехфазной цепи с соединением «звезда». Это происходит оттого, что гармоническое число, умноженное на 120-градусный сдвиг между тремя фазами, представляет собой целое, кратное 360 град или один полный цикл. Это располагает гармоники в каждом из трех фазных проводов «в фазе» с каждой в нейтрали.
- Неправильное считывание показаний приборов, включая индукционные электросчетчики дискового типа и амперметры усредняющего типа.
- Снижение истинного коэффициента мощности PF. Коэффициент мощности - комплексный показатель, характеризующий линейные и нелинейные искажения, вносимые нагрузкой в электросеть. Равен отношению активной и полной мощностей P/S (Вт/ВА), потребляемых нагрузкой.
- Перегрев трансформаторов, особенно дельта-обмоток, когда трехкратные гармоники генерируемые со стороны нагрузки трансформатора «треугольник-звезда», начинают циркулировать в первичной цепи. Некоторые типы потерь возрастают как квадрат от гармонического числа (такие как скин-эффект и потери вихревых токов). Это также справедливо для соленоидальных обмоток и осветительных балластов.
- Последовательности положительного, отрицательного и нулевого напряжения на моторах и генераторах. Это напряжения на какой-либо

частоте, которые пытаются повернуть мотор вперед, назад или вообще не повернуть (просто вызывая перегрев). Значение напряжения конкретной частоты в гармониках сбалансированной системы может последовательно иметь положительные (основная, 4,7-я,...), отрицательные (2,5,8-я,...) или нулевые (3,6,9-я,...) значения.

- Неправильное срабатывание защитных устройств, включая ложные срабатывания реле и неисправности источников бесперебойного питания, особенно если управление включает чувствительные цепи, пересекающиеся в нуле.
- Неисправности в подшипниках от токов в вале, проникающих через изолированные подшипники электродвигателя.
- Неисправности в конденсаторах компенсации реактивной мощности, возникающие вследствие высокого напряжения и тока от резонанса с линейным сопротивлением.
- Неправильная работа или неполадки электрооборудования.
- Результаты мерцания света, когда субгармоники напряжения находятся диапазоне 130Гц. Человеческий глаз наиболее чувствителен на частотах 8.8Гц, когда всего лишь 5% вариации в среднеквадратичном значении напряжения являются заметными при некоторых типах освещения.

Материал взят с сайта <http://www.energometrika.ru>