

Проблема гармоник...

Любые приборы и оборудование с нелинейными характеристиками являются источниками гармоник в своей сети. Если вы сталкиваетесь с таким оборудованием или имеете опыт работы в сетях с гармониками, тогда дроссели с конденсаторами или фильтрокомпенсирующие установки (ФКУ) могут прийти вам на помощь. Гармонические искажения и связанные с этим проблемы в электрических сетях, становятся все более преобладающими в распределительных сетях.

Проблемы, создаваемые гармониками.

- дополнительный нагрев и выход из строя конденсаторов, предохранителей конденсаторов, трансформаторов, электродвигателей, люминесцентных ламп и т.п.;
- ложные срабатывания автоматических выключателей и предохранителей;
- наличие третьей гармоники и ее производных 9,12 и т.д. в нейтрали может потребовать увеличения сечения ее проводника;
- гармонический шум (частые переходы через 0) может служить причиной неправильной работы компонентов систем контроля;
- повреждение чувствительного электронного оборудования;
- интерференция систем коммуникации.

Следующие разделы являются описанием гармоник, характеристикой проблемы и поиском решения.

Происхождение гармонических искажений

Постоянно увеличивающиеся требования промышленности и народного хозяйства к стабильности, приспособляемости и точности контроля в электрическом оборудовании привело к появлению относительно дешевых силовых диодов, тиристоров, SCR (Silicon Controlled Rectifier) и других силовых полупроводников.

Сейчас, широко используемые в выпрямительных цепях UPS полупроводники, статические преобразователи переменного напряжения в постоянное, устройства плавного пуска пришедшие на смену устаревшим устройствам изменили картину формы тока и напряжения в электросетях. Хотя твердотельные реле, такие как тиристоры привнесли существенные изменения в схемотехнику систем контроля, они, также, создали проблему генерации гармоник тока. Гармоники тока могут сильно влиять на энергоснабжающие сети, а также перегружать косинусные конденсаторы служащие для компенсации реактивной мощности (при увеличении частоты, снижается сопротивление конденсатора и растет ток через него).

Мы сфокусировали наше внимание на таких источниках гармоник, как твердотельные элементы силовой электроники, однако существует много других источников гармонических токов. Эти источники могут быть сгруппированы в трех основных типах:

1. Силовое электронное оборудование: частотные приводы переменного тока, приводы постоянного тока, источники бесперебойного питания UPS, выпрямители (шестифазные, по схеме Ларионова), конвертеры, тиристорные системы, диодные мосты, плавильные печи высокой частоты.
2. Сварочное, дуговое оборудование: дуговые плавильные печи, сварочные автоматы, освещение (ДРЛ-ртутные лампы, люминесцентные лампы)
3. Насыщаемые устройства: Трансформаторы, двигатели, генераторы, и т.д. Гармонические амплитуды на этих устройствах являются обычно незначительна по

сравнению с элементами силовой электроники и сварочным оборудованием, при условии что насыщение не происходит.

Форма синусоиды тока

Гармоники – это синусоидальные волны суммирующиеся с фундаментальной (основной) частотой 50 Гц (т.е 1-я гармоника=50 Гц, 5-я гармоника = 250 Гц). Любая комплексная форма синусоиды может быть разложена на составляющие частоты, таким образом комплексная синусоида есть сумма определенного числа четных или нечетных гармоник с меньшими или большими величинами.

Гармоники – есть продолжительные возмущения или искажения в электрической сети, имеющие различные источники и проявления такие как импульсы, перекося фаз, броски и провалы, которые могут быть категоризованы как переходные возмущения.

Переходные возмущения обычно решаются путем установки подавляющих или разделяющих (изолирующих) устройств, таких как импульсных конденсаторов, изолирующих (разделяющих) трансформаторов. Эти устройства помогают устранить переходные возмущения, но они не помогают устранить гармоники низких порядков или устранить проблемы резонанса в связи с присутствием гармоник в сети.

Гармоническое содержание синусоиды

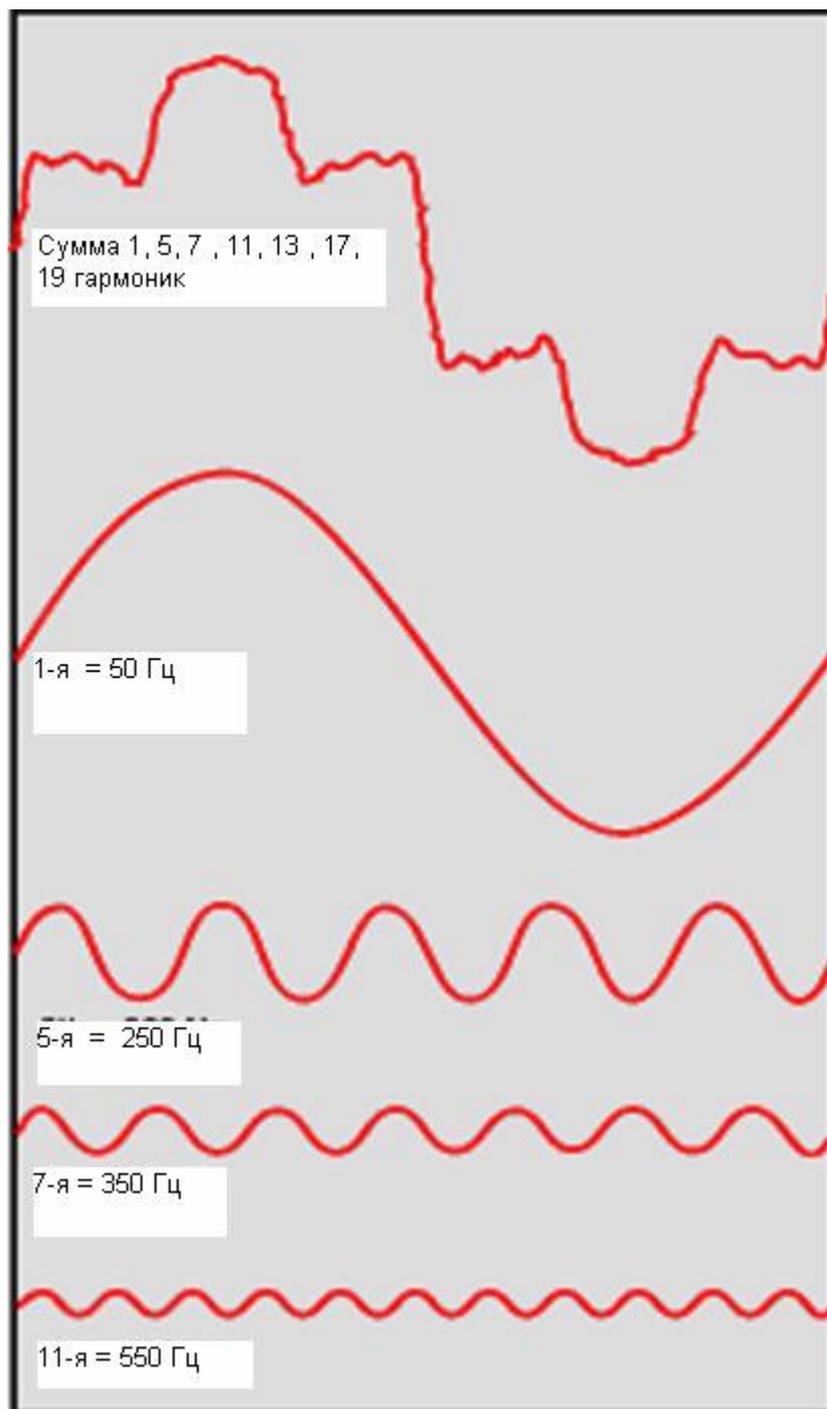
Тиристоры и SCR выпрямители обычно проявляются числом пульсаций постоянного тока которые они производят каждый период. Обычно это 6-и или 12-пульсные выпрямители.

Есть много факторов, которые могут влиять на гармоническое содержание, но типичные гармонические токи, показанные как процент от фундаментального тока 50 Гц, показаны в таблице.

Другие номера гармоник также будут присутствовать, в небольшой степени, но из практических соображений они не приводятся.

Номер гармоники	Типичное содержание в % гармоник тока	
	6-ти пульсный выпрямитель	12-ти пульсный выпрямитель
-		
1	100	100
5	20	-
7	14	-
11	9	9
12	8	8
17	6	-
19	5	-
23	4	4
23	4	4

Разложение формы кривой тока на гармонические составляющие



Перегрузка конденсаторов гармониками

Согласно закону Ома сопротивление цепи определяет протекающий по ней ток.

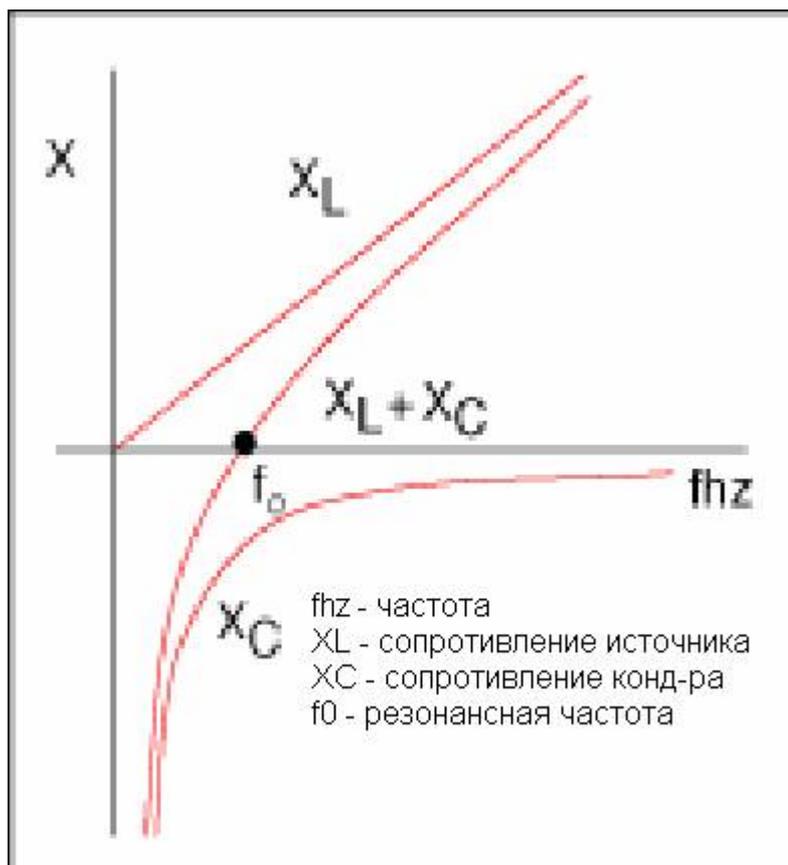
Так как сопротивление источника энергии является индуктивным, кроме того, импеданс сети увеличивается с частотой, в то время как сопротивление конденсатора с ростом частоты уменьшается. Это вызывает рост тока через конденсаторы и оборудование содержащее их.

При определенных обстоятельствах, гармонические потоки могут превысить ток фундаментальной гармоники 50 Гц протекающей через конденсатор. Эти гармонические

проблемы могут также вызвать увеличение напряжения на конденсаторе, которое может превысить максимально допустимое значение и привести к пробое конденсатора.

Гармонический резонанс.

Резонанс в сети достигается когда сопротивление конденсатора равно сопротивлению источника. Когда мы применяем конденсаторы для компенсации реактивной мощности в распределительных сетях, которые содержат и емкостную и индуктивную (индуктивность линии, силовых трансформаторов) составляющую, всегда существует частота на которой возможно явление параллельного резонанса конденсатора с источником.

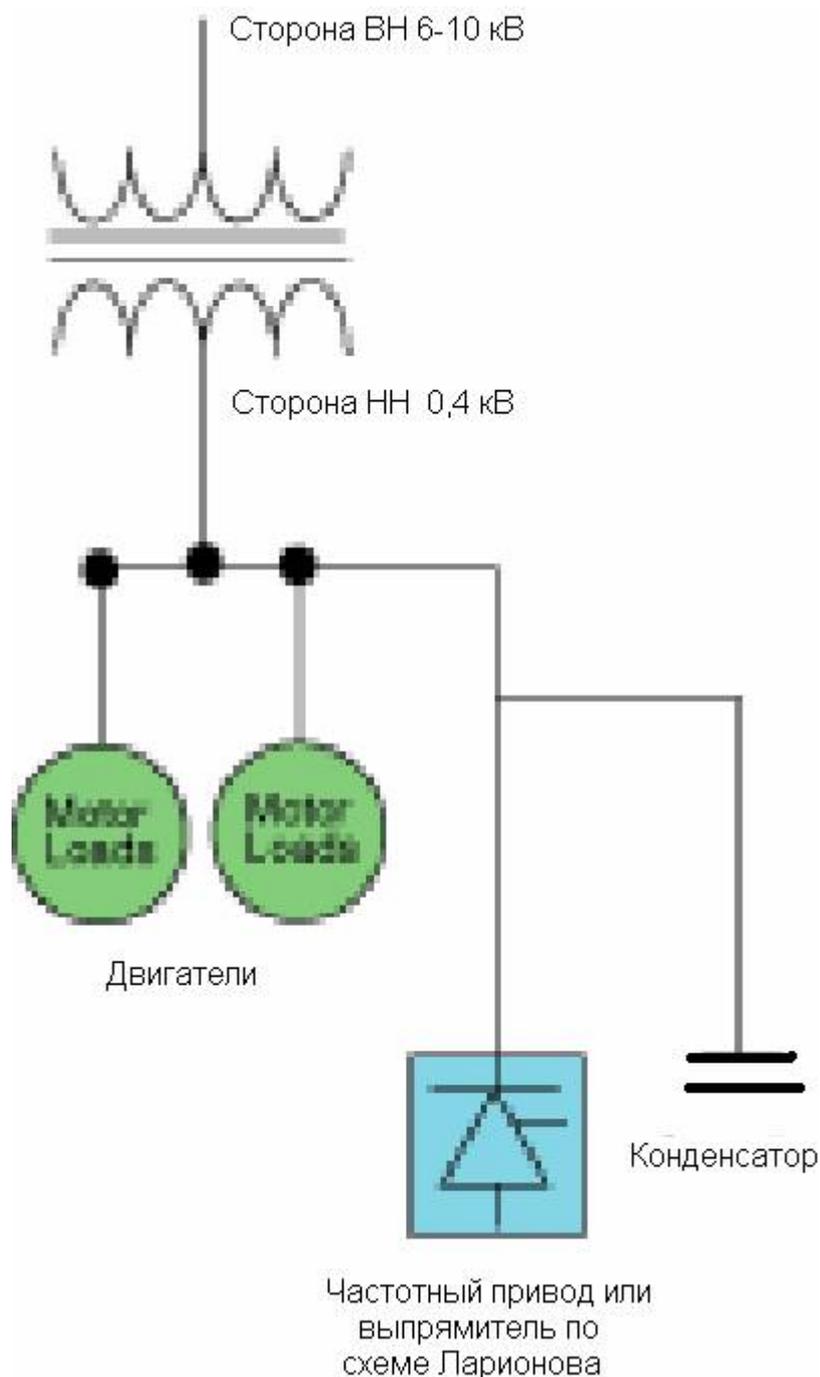


Если это происходит, или частота близка к частоте резонанса, то гармоники генерируемые силовыми полупроводниками (большие токи гармоник) начинают циркулировать между генерирующей сетью и конденсаторным оборудованием. Эти токи ограничиваются только сопротивлением линии. Такие токи приводят к возмущениям и искажениям напряжения в сети. Как результат: повышенное напряжение на конденсаторах, и повышенный ток через них, Резонанс может произойти на любой частоте, но в основном это 5-я, 7-я, 11-я и 13-я гармоники которые генерируются 6-пульсными системами выпрямления трехфазного напряжения.

Предотвращение резонанса в электросетях

Есть несколько путей, чтобы избежать явлений резонанса в распределительных сетях где установлены конденсаторы. В больших распределительных сетях, есть возможность установки их в части сети, которая не имеет параллельного резонанса с индуктивностью трансформатора. Изменяя выходную мощность конденсаторной установки, мы можем отстроиться от опасной резонансной частоты. Резонансная частота с включением каждого шага конденсаторной установки изменяется.

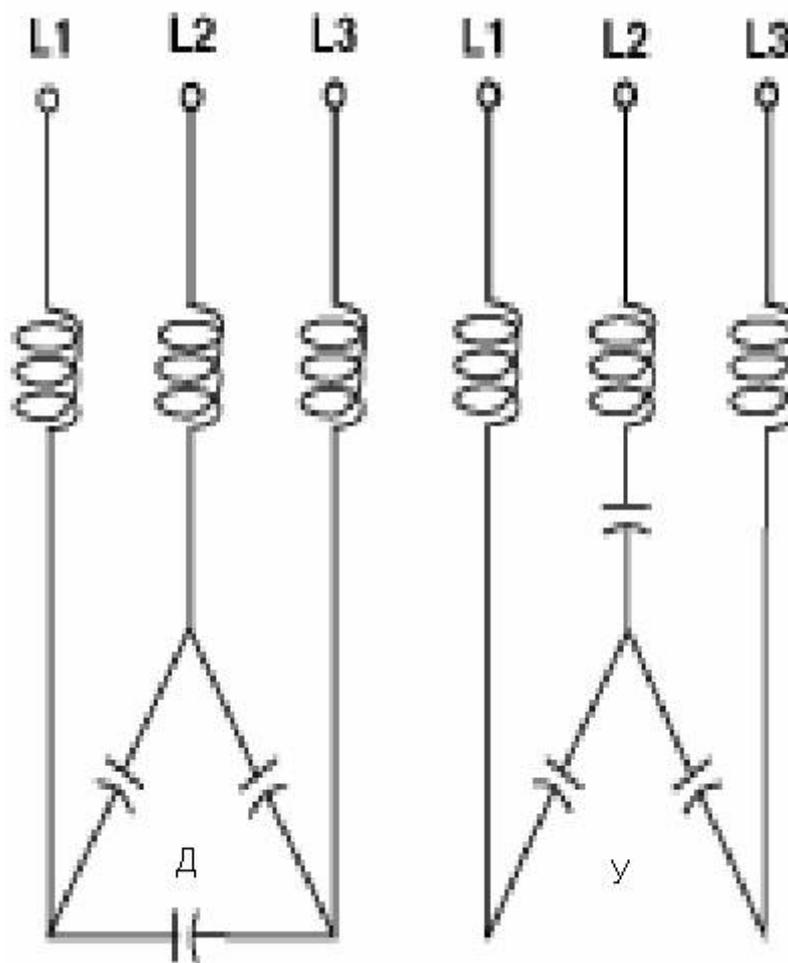
Резонансные явления при использовании конденсаторов в электросетях с нелинейными потребителями



Сдвиг резонансной частоты

Если резонанса нельзя избежать вышеприведенным методом, необходимо альтернативное решение. Последовательно с каждым конденсатором ставится реактор (трехфазный дроссель) таким образом, чтобы система конденсатор-дроссель имела индуктивный характер на критических частотах, и емкостной характер на основной частоте 50 Гц. Для этого система конденсатор-дроссель должна иметь резонансную частоту ниже наименьшей частоты гармоники присутствующей в сети, которая обычно бывает 5-ой (250 Гц). Это означает, что частота настройки системы конденсатор дроссель д.б. между значениями 175...270 Гц. В системе конденсатор дроссель напряжение

основной частоты на дросселе повышается, соответственной мы должны использовать конденсаторы на повышенное напряжение.



Система расстроенный дроссель-конденсатор

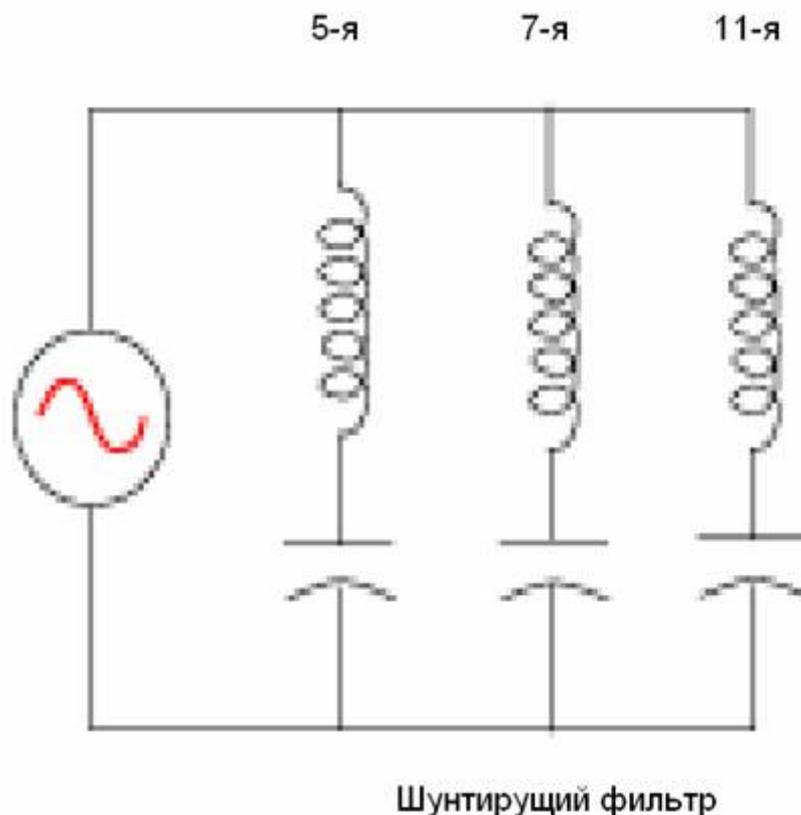
Снижение гармонических искажений

Гармонические искажения могут подавляться в электрических системах при использовании гармонических фильтров. В классическом виде фильтр представляет собой последовательно соединенные конденсатор и индуктивность и настроенные на определенную гармоническую частоту. В теории сопротивление фильтра равно нулю на частоте резонанса, поэтому гармонический ток поглощается фильтром. Этот эффект вместе с сопротивлением линии означает, что таким образом можно хорошо подавлять гармоники в сети.

Типы фильтров гармоник

Эффективность фильтра любой формы зависит от его реактивной мощности, точности настройки, и импеданса сети в точке подключения. Гармоники ниже частоты резонанса фильтра будут усиливаться. Схемотехника фильтра важна, чтобы быть уверенным в том что искажения не будут усиливаться до неприемлемых уровней. Когда несколько различных порядков гармоник присутствуют в сети мы можем подавлять одни в то же время усиливая другие. Фильтр 7-ой гармоники создает параллельный резонанс на частоте 5-ой и усиливает ее, поэтому к фильтру 7-ой гармоники необходим фильтр 5-ой

гармоники. Поэтому часто необходимо использовать несколько фильтров, настроенных каждый на свою частоту.



Шунтирующий фильтр

Анализ и измерение гармоник в сети

К такому важному вопросу, как установка системы компенсации реактивной мощности, необходимо подойти с максимальной ответственностью. Гарантированный результат может быть получен только при обследовании объекта.

Прежде чем приступать к внедрению конденсаторных установок для компенсации реактивной мощности на предприятии, а также фильтров гармоник необходимо провести всесторонние измерения параметров сети: активную реактивную, полную мощность, величину и уровни гармоник тока и напряжения, провалы и перенапряжения в линии, фликеры.

Все это позволит максимально эффективно использовать имеющиеся средства без риска и проблем.