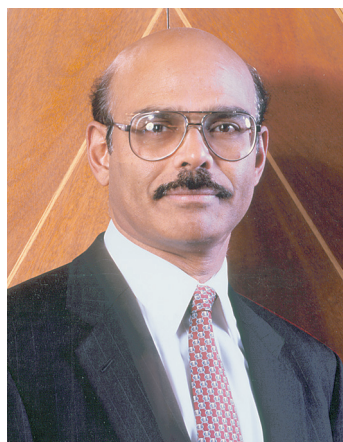


Активные фильтры гармоник

M G E
UPS SYSTEMS

Шри Карв,
MGE UPS Системз LTD

За период чуть более 10 последних лет вопросы качества энерго-снабжения переросли из узкой сферы интересов специалистов в предмет всеобщей озабоченности. Различные отрасли все больше и больше полагаются на электроэнергию для своих основных потребностей, в то время как увеличение числа нагрузок нелинейного характера увеличивает гармонические искажения во всей системе электроснабжения. Соответственно устройства сглаживания или компенсации гармонических составляющих тока приобретают все большую значимость как для производителей и поставщиков электроэнергии, так и для их потребителей.



Введение

Проблемы, вызываемые гармоническими токами в электроустановках и системах электроснабжения, описаны в разделе 3.1. В настоящее время большая часть промышленной, коммерческой и домашней нагрузки является нелинейной и уровень искажений в низковольтных распределительных сетях стал предметом серьезного беспокойства. Возможные проблемы, которые могут быть вызваны значительным гармоническим напряжением в системе электроснабжения, были известны уже давно, и для ограничения подобных искажений внедрялись соответствующие технологии и стандарты. Этот процесс был довольно успешным в том плане, что проблемы, испытываемые потребителями, почти всегда возникают из-за условий, которые складываются на их собственном участке ответственности и лишь изредка привносятся из сети. Если эта ситуация продолжится, потребители должны будут ограничить количество гармонического тока, который создается их оборудованием.

Следовательно, именно потребители должны обеспечивать наличие фильтрации гармонических составляющих там, где это необходимо. Для этого существует три доступных способа, каждый с определенными преимуществами и недостатками:

- применение пассивных фильтров;
- трансформаторное решение – изоляция, соединение обмотки в зигзаг, группирование соединения обмоток;
- применение активных фильтров.

В этом разделе обсуждаются активные фильтры, иногда называемые активными сглаживателями гармоник (АСГ, в англоязычной литературе – АНС. – Прим. ред. пер.). Примеры в настоящей работе относятся к коммерческой версии, производимой компанией MGE UPS Системс Лимитед под торговой маркой SineWave.

Оборудование для ослабления гармонических искажений может поставляться либо для нужд поставщиков электроэнергии (т. е. отвечать требованиям G5/4 или их местным эквивалентам), либо для решения проблем, возникающих в пределах участка потребителя. Размещение и выбор оборудования будут зависеть от конкретных обстоятельств и, как правило, требуют детального исследования ситуации с гармоническими искажениями.

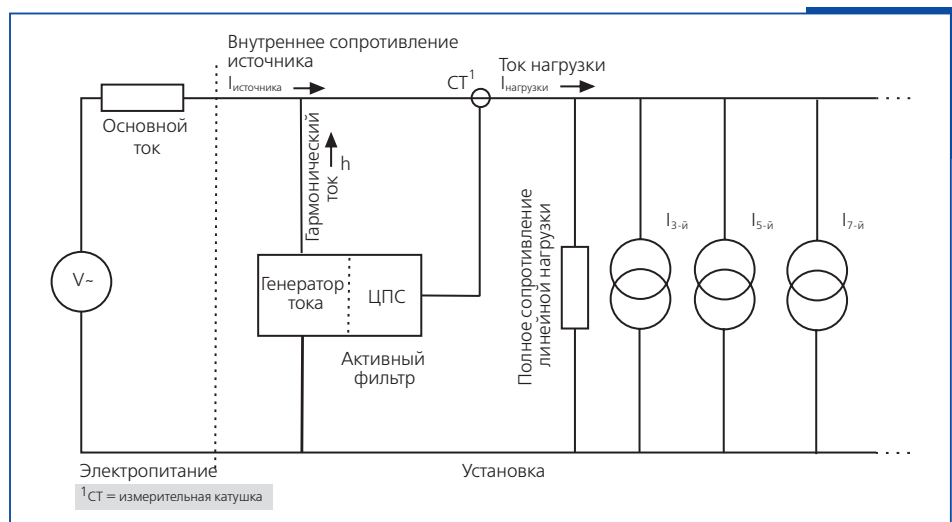
При использовании оборудования для информационных технологий (ИТ) будут присутствовать все нечетные гармоники, приводящие к таким проблемам, как перегрузка нейтралей тройной нуль последовательной (т. е. нечетной кратной трем) гармоникой. Такого рода проблемы могут быть устранены с помощью добросовестного проектирования – путем правильного подбора номиналов кабелей. Однако часто изменения функционального назначения зданий и их планировки означают, что такого рода проблемы возникают впоследствии, уже в ходе эксплуатации. Проблема усугубляется тем, что конфигурация офисов обычно часто меняется так, что токи, которые изначально были относительно «чистыми», оказываются сильно загрязненными. Другими словами, состояние гармоник в электроустановках зданий меняется по мере добавления нового оборудования и перемещения существующего. Эти изменения часто планируются без учета того влияния, которое они могут оказать на общую электрическую инфраструктуру.

Замена кабелей в функционирующих зданиях может оказаться очень дорогостоящей и слишком разрушительного свойства, чтобы прибегать к ней, отчего требуются иные методы коррекции. К таким методам относится использование пассивных фильтров, однако довольно сложно спроектировать эффективный пассивный шунтирующий фильтр для третьей гармоники. Любой пассивный фильтр применим только для гармоники той частоты, для которой он был спроектирован, поэтому будут требоваться индивидуальные фильтры для других частот, создающих проблемы. В любом случае при изменении картины гармоник пассивные фильтры, возможно, должны будут быть заменены или дополнены. Трансформаторы с зигзагообразным соединением и трансформаторы с дельта намотанной изоляцией эффективны против таких гармоник, но они не оказывают никакого влияния на другие гармоники. Поэтому хорошим решением является применение активного фильтра гармоник – АФГ.

Топология активных фильтров гармоник

Идея активного фильтра гармоник не нова, однако отсутствие эффективной технологии производства по приемлемым ценам замедлило ее развитие на много лет. Сегодня широкая доступность биполярных транзисторов с изолированным затвором (БТИЗ, IGBT) и цифровых процессоров сигнала (ЦПС, DSP) превратили АФГ в практическое решение проблемы.

Принцип применения АФГ прост: силовая электроника используется для генерирования гармонических токов, необходимых для питания нелинейных нагрузок таким образом, чтобы синусоида сохраняла максимально правильную форму. На рис. 1 показана принципиальная схема подключения такого устройства.

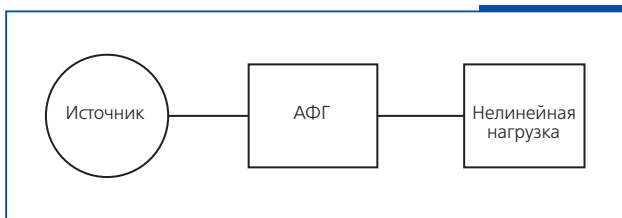


▼ Рис. 1. Параллельный активный фильтр гармоник

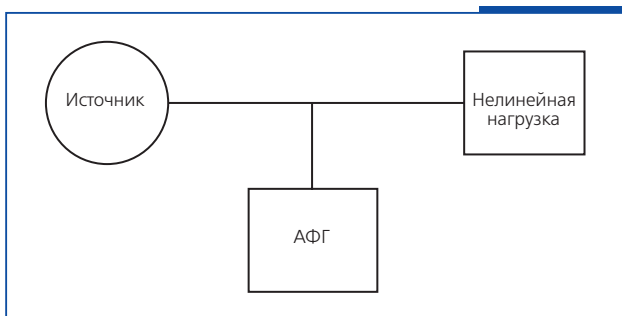
Ток нагрузки измеряется катушкой-трансформатором, данные которой анализируются ЦПС для определения картины спектра гармоник. Эта информация используется генератором тока для производства и выплескивания в цепь именно такого гармонического тока (по амплитуде, форме и фазе. – Прим. ред. пер.), который необходим для компенсации искажений нагрузки в следующем цикле основной кривой тока (синусоиды). На практике величина гармонического тока уменьшается приблизительно на 90 %.

В связи с тем, что АФГ управляется на основе данных, получаемых от катушки-трансформатора, он динамически адаптируется к изменениям в гармониках нагрузки. Так как процессы анализа и генерирования контролируются программным обеспечением, то устройство легко программируется на компенсацию только отдельных гармоник с целью обеспечения максимального КПД в пределах характеристик устройства.

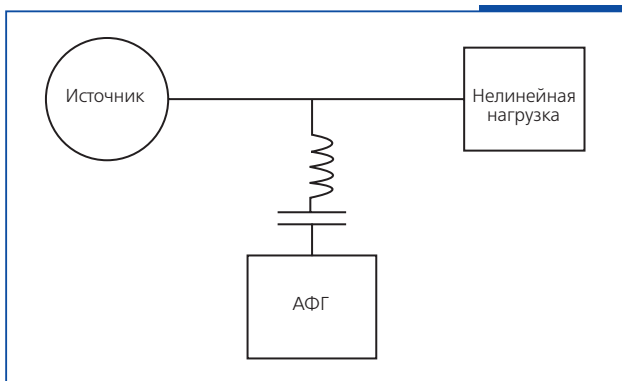
Предложено большое количество различных топологий, некоторые из которых описаны ниже. Для каждой топологии существует специфика необходимых параметров как отдельных элементов, так и подбора устройства целиком для тех нагрузок, которые должны быть компенсированы.



▼ Рис. 2. Последовательный кондиционер



▼ Рис. 3. Параллельный фильтр



▼ Рис. 4. Гибридный фильтр

Последовательные фильтры

Этот тип фильтра, соединенный последовательно в распределительной сети, компенсирует как гармонические токи, генерируемые нагрузкой, так и искажение напряжения, уже присутствующее в системе электропитания. Это решение с технической точки зрения напоминает линейный фильтр и должно быть подобрано исходя из полной нагрузки.

Параллельные фильтры

Параллельные фильтры, также называемые шунтирующими, соединяются параллельно линий переменного тока и должны быть подобраны только для величин гармонических токов от нелинейной нагрузки. Этот тип детально описывается позже.

Гибридный фильтр

Это решение, совмещающее в себе активный и пассивный фильтры, может быть либо последовательного, либо параллельного типа. В некоторых случаях это может быть выгодным решением. Пассивный фильтр выполняет основную фильтрацию (например, 5-го порядка), а активный, благодаря своему точному и динамическому методу, охватывает другие порядки гармоник.

Принцип действия параллельного активного гармонического кондиционера

Активный кондиционер соединен параллельно электропитанию и постоянно выплескивает гармонические токи, которые точно соответствуют гармоническим компонентам, генерируемым нагрузкой. В результате ток, который поставляется источником, остается синусоидальным.

При этом поддерживается весь низкочастотный спектр от второй до двадцать пятой гармоники.

Если гармонические токи, генерируемые нагрузкой, превышают максимальное номинальное значение АФГ, изделие автоматически ограничивает ток компенсации по своему максимальному номинальному значению: фильтр не может перегружаться и будет продолжать коррекцию до максимального номинального значения тока, а любой превосходящий гармонический ток вернется в систему электропитания. АФГ может постоянно работать в таком состоянии без повреждений.

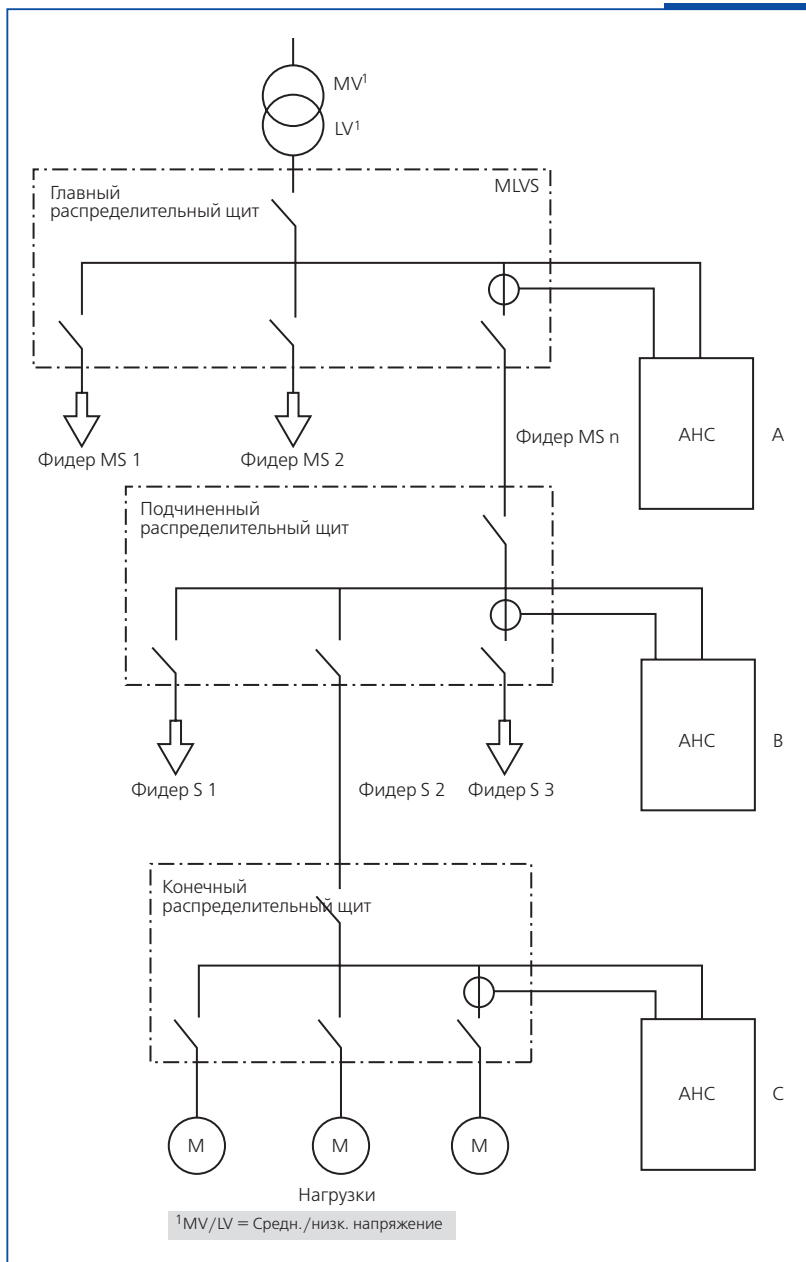
Точки соединения и различные конфигурации

АФГ могут быть установлены в различных точках распределительных сетей:

- в центре, в точке общего соединения (РСС) для общей компенсации гармонических токов (рис. 5, поз. А);
- частичная компенсация гармонических токов (рис. 5, поз. В);
- вблизи загрязняющих нагрузок с целью обеспечить местную компенсацию гармонических составляющих (рис. 5, поз. С).

Следует отметить, что фильтр реагирует только на гармоники «ниже по течению». Фильтр в позиции В, например, будет корректировать только гармонический ток нагрузок на фидере S 3 и не будет реагировать на нагрузки любого другого фидера. Это позволяет достичь большей гибкости в проектировании схемы коррекции.

Как и в случае со всеми фильтрами гармоник, сторона нагрузки все равно остается зараженной гармоническими токами. Очищается только сторона электропитания цепи. Из этого следует, что кабели стороны нагрузки необходимо подбирать, учитывая гармоники и поверхностный эффект.



▼ Рис. 5. Трехуровневая радиальная система распределения с указанием возможных точек подсоединения АФГ

В идеале компенсация гармонических составляющих должна происходить в точке их появления. Для оптимизации компенсации гармоник несколько фильтров могут быть соединены в различных конфигурациях. Эти конфигурации могут использоваться в любой точке распределительной сети, предлагая полную гибкость и огромный выбор компенсационных стратегий. Наиболее распространенные конфигурации описаны в следующих двух параграфах.

Параллельная конфигурация

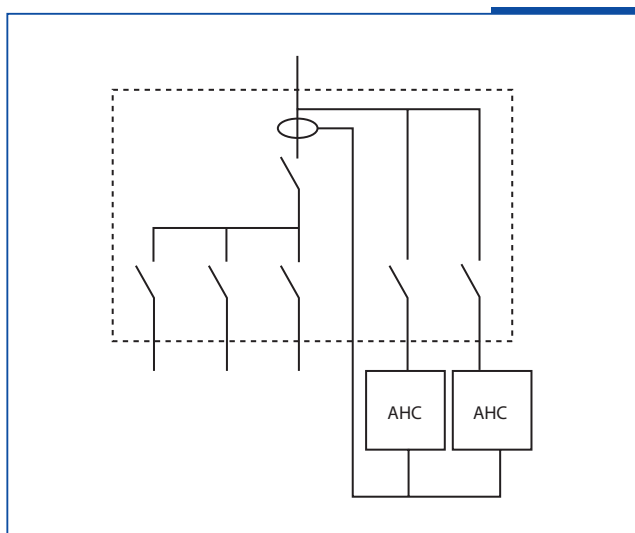
Данная конфигурация, изображенная на рис. 6, отвечает следующим требованиям:

- увеличенная способность коррекции в определенной точке системы переменного тока путем соединения до четырех фильтров с одинаковым номиналом;
- увеличенная способность коррекции для целей последующего увеличения нагрузки;
- повышенная надежность из-за использования запаса значения номинала фильтра.

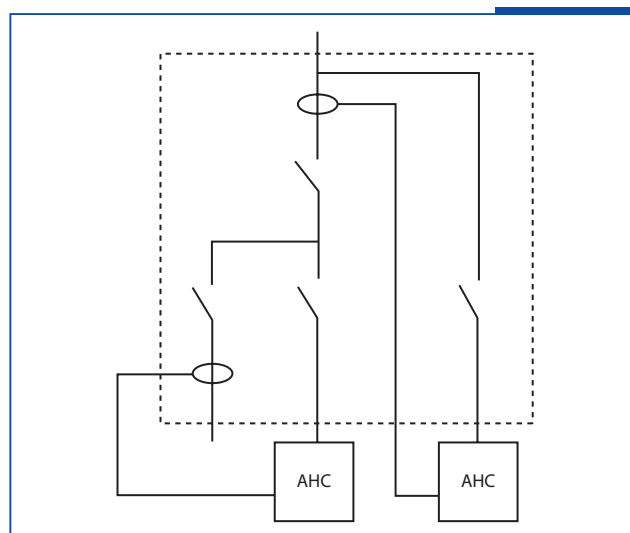
Каскадная конфигурация

Эта конфигурация, изображенная на рис. 7, имеет следующие преимущества:

- увеличение общей компенсационной способности путем использования фильтров с одинаковым или различными номиналами;
- компенсация определенной нагрузки или местная компенсация гармоник, а также общая компенсация гармонических составляющих группы нелинейных нагрузок.



▼ Рис. 6. Параллельная конфигурация



▼ Рис. 7. Каскадная конфигурация

Результаты применения

Этот раздел представляет некоторые характерные результаты применения АФГ для нелинейных нагрузок. Цифры иллюстрируют порядок компенсации гармонических составляющих, которые могут быть достигнуты при типичных применениях в промышленности и зданиях делового профиля.

Нагрузки ПК-типа

Нагрузки типа персональных компьютеров характеризуются резкостью во всех нечетных гармониках низкого порядка, с очень высокими уровнями третьих, пятых, седьмых и девярых. Типичный спектр изображен на рис. 8.

Этот тип нагрузки вызывает множество проблем, включая перегрузку нейтралей, перегрев трансформаторов и перегрев из-за поверхностного эффекта, как обсуждалось в разделе 3.1. данного Руководства. Применение АФГ к подобной нагрузке очищает картину спектра тока, как изображено на рис. 9. Улучшение очевидно – THDI (общее искажение гармонического тока) сокращается с 92,6 до 2,9 % (в 32 раза), а ток RMS уменьшается на 21 %.

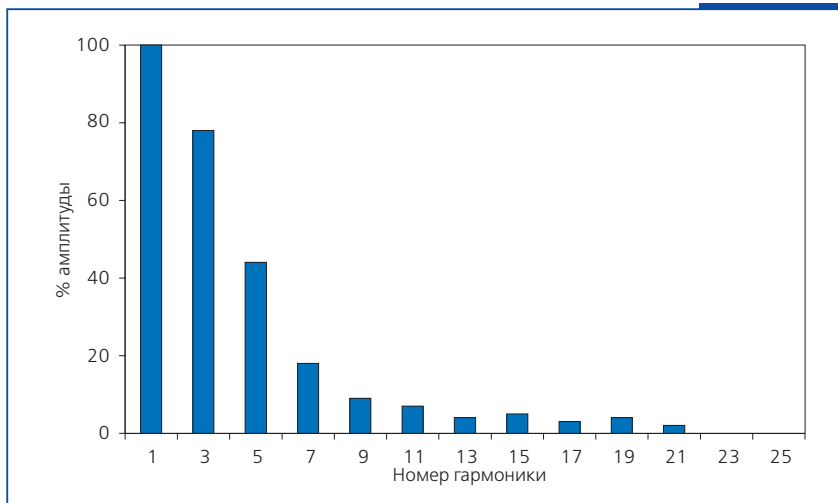
Полная коррекция, как показано на рис. 9, требует больших значений тока активного фильтра. В зависимости от обстоятельств, возможно, не будет необходимости компенсировать все гармоники. Проблемы могут ассоциироваться только, например, с третьей гармоникой, и, возможно, будет достаточно иметь дело только с такими гармониками. Рис. 10 демонстрирует воздействие, которое оказывает на картину спектра программирование АФГ для удаления только третьей гармоники.

Полезно подобного подхода в том, что проблема решается с более низким значением компенсационного тока АФГ, что позволяет и одному устройству справиться с гораздо большей нагрузкой.

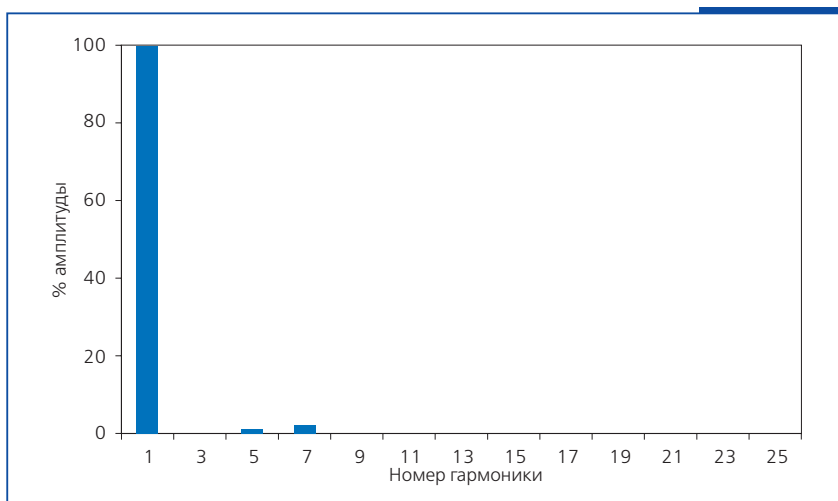
Нагрузки регулируемых приводов

На рис. 11 изображена типичная нагрузка регулируемого привода при частичной нагрузке. Очень высокие пятый и седьмой компоненты могут вызвать серьезные проблемы в установке, такие как перегрев трансформатора, а также могут стать серьезной проблемой в плане соответствия пределам по значениям гармонического тока, установленным поставщиком электроэнергии.

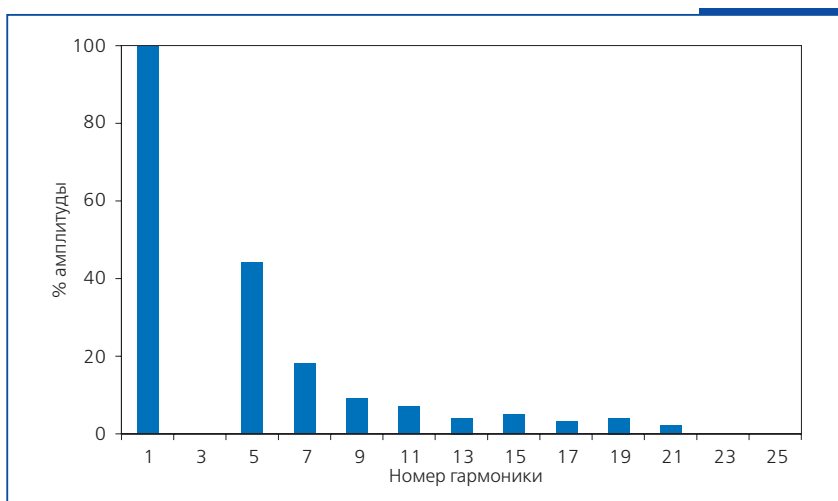
Путем добавления АФГ и полной коррекции можно добиться картины спектра гармоник, показанного на рис. 12. В этом случае THDI сокращается с 124 до всего лишь 13,4 % (9,3 раза), с 30%-м сокращением RMS тока.



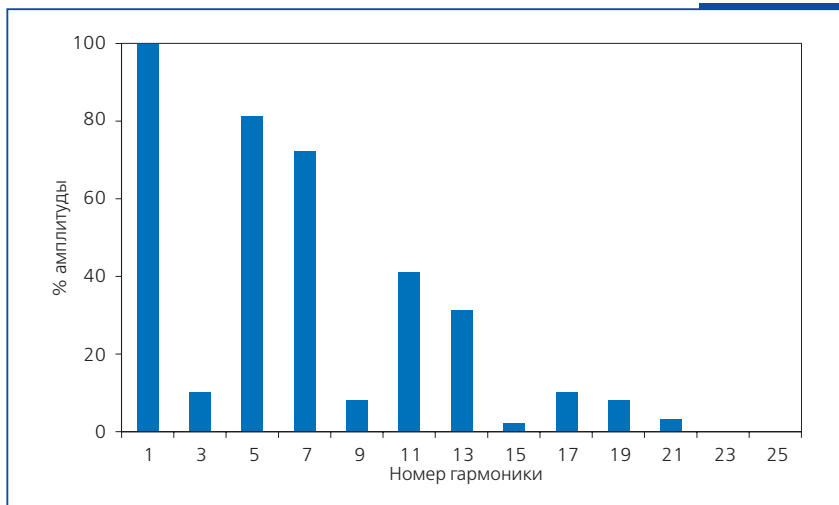
▼ Рис. 8. Некомпенсированный спектр нагрузок ПК-типа



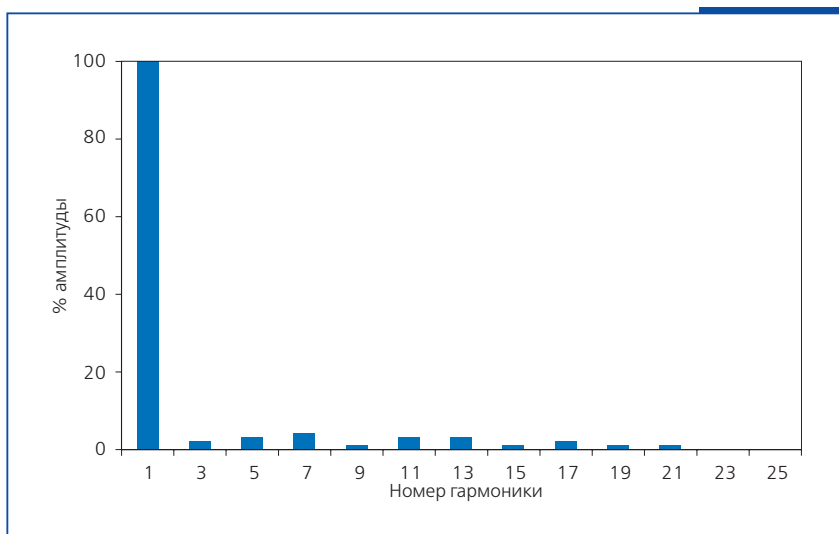
▼ Рис. 9. Полностью исправленная нагрузка ПК-типа



▼ Рис. 10. Частично исправленная нагрузка ПК-типа



▼ Рис. 11. Типичная не скорректированная нагрузка регулируемого привода



▼ Рис. 12. Скорректированная нагрузка регулируемого привода

Преимущества АФГ

АФГ имеют следующие преимущества:

- сокращают THDI приблизительно в соотношении 1:10;
- уменьшают потери мощности;
- не подвергаются влиянию колебаний частоты – например при работе от резервного генератора;
- отсутствует риск резонанса с какой-либо гармонической частотой;
- не подвержены перегрузке;
- гибкость в применении;
- в случае необходимости могут программироваться пользователем для выбора конкретных особенных гармонических частот.

АФГ дают простое в применении решение весьма сложной проблемы. Это очень гибкое решение, которое помогает справиться с будущими изменениями в конфигурации электроустановки и назначении зданий.

Борьба с гармоническими искажениями – один из элементов мероприятий по повышению как надежности, так и энергоэффективности в энергоснабжении. ■

*Перепечатано с сокращениями из издания
Европейского института меди
«Прикладное руководство по качеству электроэнергии»
Перевод с английского Е. В. Мельниковой
Редактор перевода В. С. Ионов ■*