

Комплексные сети энергоснабжения небоскребов и других современных зданий должны обслуживать весьма широкий спектр нелинейных нагрузок. Современные активные решения по кондиционированию электроэнергии помогают устранять потенциальные проблемы с качеством электроэнергии в электросетях объектов недвижимости и других крупных коммерческих комплексов. Данная статья написана на основе публикаций [1, 2] с широким дополнениями и комментариями автора.

Активные фильтры в электросетях – решение проблемы качества электроэнергии

Владимир Рентюк, г. Запорожье

Многие силовые электронные системы, используемые в крупных коммерческих зданиях, таких как небоскребы, включают в себя целый ряд нелинейных нагрузок. В их числе приводы с переменной скоростью вращения, источники бесперебойного питания (ИБП), компьютеры и серверы, системы освещения, телевизоры и многое-многое другое. Основной проблемой, стоящей перед строительными компаниями и операторами, обслуживающих такие здания и сооружения, является наличие загрязнения в электросетях из-за появления гармоник, что приводит к заметному ухудшению качества питающего напряжения.

Для решения проблемы электропитания, инженеры-проектировщики сетей электроснабжения проблему обеспечения качества электроэнергии для таких зданий решают проблему распределения электроэнергии и управления ее качеством с помощью активных гармонических фильтров (Active Harmonic Filter, AHF), называемые еще активный фильтр мощности (Active Power Filter, APF).

Что такое активный гармонический фильтр

Активный фильтр – это новый тип силовой электронной нагрузки, который динамически подавляет гармоники и компенсирует реактивную мощность. Он способен изменять как амплитуды гармоник, так и частоту и корректировать реактивные для компенсации коэффициента мощности. По сравнению с пассивным фильтром имеет очевидные преимущества, на которых мы остановимся ниже. Самым важным его преимуществом являются то, что он не влияет на безопасность работы электросети и позволяет избежать резонанса в системе, в то время как для пассивных фильтров требуется согласование сопротивлений для уменьшения добротности на частоте среза.

Принцип работы активного фильтра строится на том, что через внешний трансфор-



матор тока, происходит детектирование тока нагрузки в реальном времени и через вычисление внутренним цифровым сигнальным процессором осуществляется извлечение гармоник тока нагрузки. Затем происходит генерирование ШИМ-сигнала управления включением и выключением моста, выполненного на IGBT транзисторах, для формирования компенсирующего нелинейность протivotока, чем собственно и достигается фильтрация гармоник.

На **рис.1** показаны напряжение и ток в электросети без применения активного фильтра и при его использовании: **рис.1,а** – искажения, вызванные нелинейной нагрузкой; **рис.1,б** – нелинейные искажения скомпенсированы [2].

Наиболее современной является трехуровневая топология активных фильтров – Neutral-Point-Clamped (NPC) с фиксацией нейтрали (**рис.2**) [2].

Фильтр с трехуровневой топологией может создавать

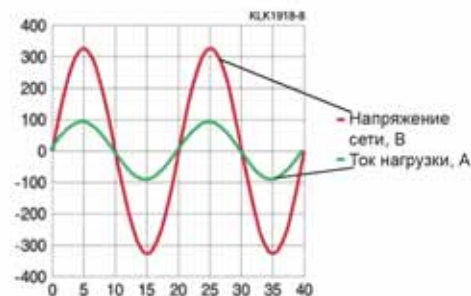
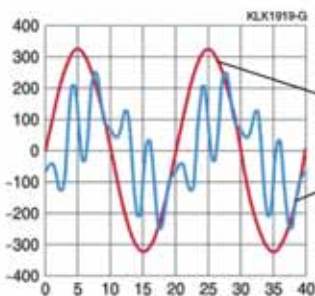


Рис.1

три уровня напряжения на выходе (отсюда и его название): положительное напряжение питания, ноль и отрицательное напряжение. Такая схема, в отличие от двухуровневой, которая может подключать выход только либо к положительной, либо к отрицательной полуволне сетевого напряжения. Это гарантирует более высокое качество напряжения и меньший уровень гармоник. Принцип преобразования представлен на **рис.3**.

Основными преимуществами трехуровневой NPC-технологии активных фильтров являются низкие потери. Это связано с тем, что поскольку переключается только половина напряжения, то потери на переключение в транзисторе уменьшаются. Кроме того, трехуровневая топология характеризуется и меньшими пульсациями выходного тока и более высоким качеством выходного напряжения. Это улучшает рабочие характеристики и снижает требования к собственному внутреннему фильтру такого устройства.

Опасности от гармонического загрязнения в цепях электроснабжения

Нелинейный ток приводит к гармоникам, которые вызывают искажение синусоидального напряжения, что, в свою очередь, может создавать помехи для других нагрузок. Гармоники являются целыми и кратными основной частоте, то есть частоте электрической сети напряжения переменного тока частотой 50 Гц или 60 Гц. Гармоники имеют разную амплитуду и могут распространяться до частот килогерцового диапазона. Проблема заключается в том, что такое гармоническое загрязнение несет в себе ряд негативных последствий из-за снижения качества электроэнергии, в том числе:

- сбой в работе нагрузок, из-за плохого качества энергии в электросети;
- дополнительная токовая нагрузка на нейтраль, так как гармонические токи 3-го, 9-го, 15-го и 21-го порядков и т. д. являются аккумулятивными, что приводит к недопустимо большим токам в нейтрали;
- фазовая асимметрия (особенно при использовании однофазных импульсных источников питания) которая, в свою очередь, способствует генерации гармоник.

Кроме того, гармоники могут серьезно ухудшить работу чувствительных устройств или даже вывести их из строя. ИТ-сети со своими серверами и ПК являются типичным при-

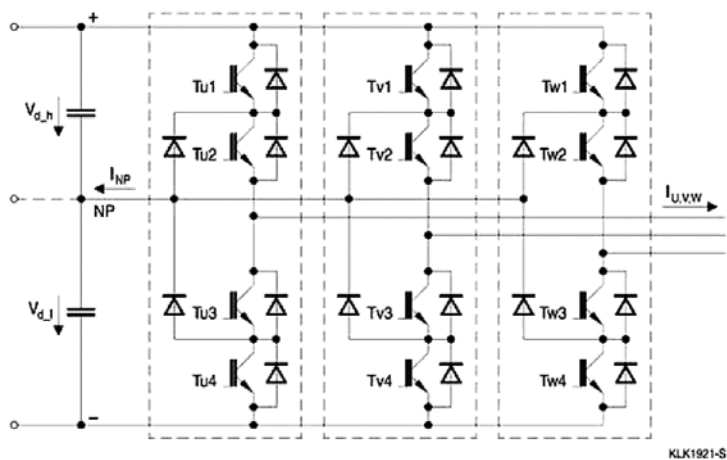


Рис.2

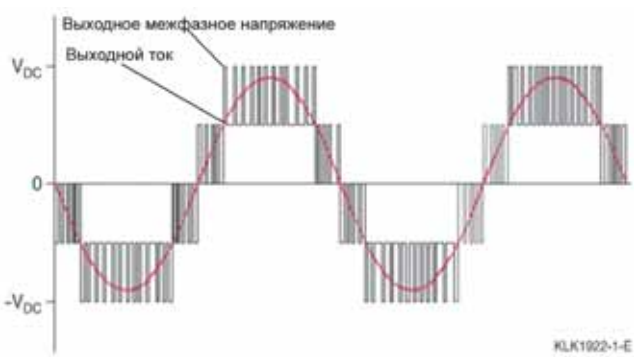


Рис.3

мером того, когда неисправность сетевых устройств может привести к повреждению данных и огромному косвенному ущербу.

Проблемы качества электросети на примере высотных зданиях

По причине поистине огромных размеров небоскребов и сложности их многочисленных электрических нагрузок и систем, качество электроэнергии играет центральную роль в обеспечении минимально возможного потребления энергии и минимизации затрат. Это важно также для недопущения и избежания перегрева, сокращения времени простоя оборудования или процессов и отказов оборудования из-за несоответствия характеристик его электроснабжения.

Основные электрические нагрузки и их характеристики в высотных зданиях:

Лифты

Требуемая компенсация реактивной мощности это в общей сложности нагрузка в виде более чем 100 лифтов. В связи со спецификой их функционирования, такая нагрузка не просто весьма динамична по потреблению электроэнергии, но проблема состоит еще и в том, что характер её полного сопротивления во время потребления и тогда, когда она передает рекуперативную энергию обратно в сеть электроснабжения, очень быстро меняется между емкостным и индуктивным сопротивлением. Суммарный коэффициент искажения синусоидальности кривой тока THD-I также очень высок и быстро меняется. Что же касается гармоник, то для этого типа нагрузок основные частотные компоненты THD – это 5-я, 7-я, 11-я и 13-я гармоники.

Система внутреннего и наружного освещения

Любые современные лампы освещения – светодиодные и компактные люминесцентные лампы, которые используются в настоящее время в целях экономии энергии, генерируют значительные гармонические искажения в диапазоне частот от 150 Гц до 2500 Гц. Широкоэкранные светодиодные цифровые рекламные щиты (с матричным освещением площади до 2000 м2) имеют основную гармонику тока 3-го порядка, но, в целом, гармоническое искажение у них присутствует вплоть до гармоник 50-го порядка.

Кондиционеры воздуха

Используемые в кондиционерах воздуха инверторы являются не только источником гармонических искажений, но и требуют компенсации реактивной мощ-

ности. Они производят доминирующие гармоники, как правило, 5-го, 7-го, 11-го и 13-го порядка, но они могут быть также 17-го, 19-го порядка и выше.

Вентиляторы, водяные насосы, охлаждающие машины и системы противопожарной защиты

В таком оборудовании используются небольшие силовые преобразователи, использующие шестимпульсное выпрямления напряжения 3-фазной сети, и вносящие систему электроснабжения гармоники тока 5-го, 7-го порядке и выше.

Оборудование ИТ-сети, ИБП, системы безопасности и системы контроля доступа

Большое число импульсных блоков питания, установленных на серверах, клиентах и других сетевых устройствах генерируют гармоники с 3-го по 23-й порядок и выше. Кроме того, они требуют надежного беспереывного электропитания.

Полное решение для систем кондиционирования электросети

Крайне сложный профиль нагрузки высотных зданий, а тем более небоскребов, требует не только динамической компенсации реактивной мощности, но и уменьшения гармоник в широком частотном спектре. Идеальное решение для такой крупной коммерческой недвижимости – это полное решение для кондиционирования электросети, выполненное на основе активных гармонических фильтров PQSine S серии [1]. Первым шагом здесь является подробный анализ всей сети энергоснабжения здания. В этом случае инженеры по практическому применению продуктов и приложений компании TDK работают в тесной связи со специализированными партнерами по распределению и управлению качеством электроэнергии. Для новых высотных зданий это будет происходить уже непосредственно на этапе их строительства. Такой анализ обычно показывает значительно повышенные уровни THD и гармоник, связанных с переходными процессами во всех фидерах сети здания. В типичной офисной недвижимости в виде высотного здания искажения особенно ярко проявляются как недопустимое повышение в сети электроснабжения уровней 3-й, 5-й, 7-й, 11-й и 13-й гармоник.

На **рис.4,а** показана форма тока в электросети, а на **рис.4,б** – гармонический спектр тока. Анализ параметров типичной системы электроснабжения, показывает наличие значительных уровней гармонических искажений с присут-

ствии большого числа гармоник. Особенно выделяются гармоники: 3, 5, 7, 11 и 13.

На основе анализа и требований к качеству электроэнергии, экономии энергии и надежности, усовершенствованные активные гармонические фильтры и оптимизаторы мощности, например, PQSine S серии компании EPCOS (ныне входит в группу компаний TDK), представляют собой идеальное решение (**рис.2**). Такие фильтры, используются для решений проблем, связанных с обеспечением качества электроэнергии, охватывающих такие решения, как активные и пассивные гармонические фильтры, компенсационные конденсаторные батареи с подавлением гармоник, а также системы автоматической коррекции коэффициента мощности низкого и среднего уровней напряжения.

Активные фильтры – гарантия высокой производительности и надежности

Активные фильтры предназначены для трехфазных электрических сетей напряжением 400, 480 и 690 В с нейтралью или без, работают на частоте 20 кГц. Они дают возможность фильтровать гармоники в сети до 50-го порядка включительно (2500 Гц / 3000 Гц) и рассчитаны на токи от 25 до 150 А и имеют уровень подавления гармоник до 95%. Одной из важных особенностей таких фильтров является то, что они могут корректировать коэффициент мощности от минус одного до плюс одного, то есть, могут обслуживать, как емкостные, так и индуктивные нагрузки. В отличие от обычных фильтров их время реакции составляет всего 50 мкс, а время отклика на изменение характера нагрузки не превышает 5 мс.

В дополнение к высоким фильтрационным характеристикам активные гармонические фильтры обеспечивают балансировку нагрузок на все три фазы. Кроме того, при использовании 4-проводных устройств (ноль и три фазы) также компенсируются токи нейтрали. Эти функции позволяют избежать возникновения паразитного резонанса в электросети, обеспечивая высокую производительность и гарантированную надежность.

Оптимизированное решение для активной фильтрации гармоник имеет следующие ключевые особенности:

Две функции в одном устройстве – подавление гармоник тока и компенсация реактивной мощности

Активные фильтры эффективно компенсируют гармоники в системе электроснабжения и в то же время обеспечивают быструю компенсацию реактивной мощности, причем, что немаловажно, как емкостных, так и индуктивных нагрузок, что может привести к тому, что коэффициент мощности системы составит почти единицу.

Интеллектуальная схема управления переключением

Специальная шинная система для обеспечения того, чтобы любые два из трех АСВ шкафов (два входящих и один шинный соединитель) всегда включались для обеспечения заданной производительности и резервирования.

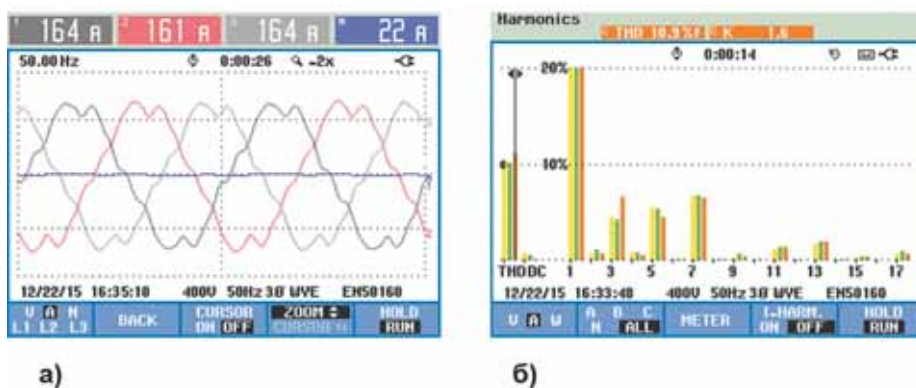


Рис.4

Сверхмалое время реагирования

Активные фильтры имеют время реакции, не превышающее 50 мкс, и могут быстро реагировать на высокие и быстро меняющиеся нагрузки.

Оптимальная надежность таких устройств обеспечивается с помощью нескольких систем самодиагностики. Наиболее важными из них являются: защита от перегрузки, выключение при перегреве, защита от перенапряжения или пониженного напряжения, а также контроль за работой вентилятора системы принудительного охлаждения. Что касается, например, упомянутых выше в качестве примера, активных фильтров PQSine S серии компании



Рис.5

которые могут вносить искажения в сети электроснабжения. Активный фильтр анализирует линейный ток и связанные с ним гармоники и генерирует компенсационный ток, который нейтрализует гармонические токи и создает почти идеальную синусоидальную волновую форму (рис.6). Благодаря высокой скорости реакции активные фильтры предлагают отличную производительность для быстро меняющихся нагрузок, таких как, например, лифты. Используя данные, определенные в реальном времени, такой активный фильтр подает в электросеть компенсирующий искажения ток, что нивелирует нелинейность тока нагрузки.

Благодаря тому, что гармоники в электросети эффективно подавляются, а фазовые сдвиги – уменьшаются, активный фильтр обеспечивает синусоидальный ток.

Оптимизированное решение для критических в части гармоник приложений

Чтобы оптимально компенсировать гармонические токи от электрических нагрузок, в ходе недавней установки

EPCOS (рис.5), то для удобного ввода и считывания данных, они имеют 7-дюймовый TFT-цветной сенсорный дисплей, а для управления, программирования и диагностики предлагает ряд интерфейсов: Modbus (RTU) и TCP/IP (Ethernet).

На рис.5 показан активный фильтр подавления гармоник EPCOS PQSine S серии.

Современные активные фильтры разработаны на базе новейших достижений техники в области силовой электроники. Они устанавливаются в непосредственной близости и параллельно критическим нагрузкам,



Рис.6

на одном из критически важных объектов было использовано в общей сложности 76 блоков PQSine S серии, которые использовались для различных фидеров на одиннадцати уровнях высотного здания. На рис.7 показана типичная однолинейная диаграмма электрической распределительной платы.

Надежная компенсация гармоник тока для широкого спектра применений

После установки полного решения для кондиционирования сети электроснабжения инженеры должны проводить всесторонний анализ качества электроэнергии с особым упором на гармоники, как объективное доказательство эффективности установки рассматриваемого оборудования.

Согласно данным о качестве электроэнергии, собранным на месте установки оборудования кондиционирования электросети (показанной на рис.4) активные фильтры обеспечили уровень THD-I до значения менее чем в 3%. При этом измерении среднеквадратический ток системы составлял около 160 А. В целом, такое решение успешно обеспечило наивысший уровень показателя качества электроэнергии. Токи по фазам были синусоидальными с очень низким уровнем THD-I (рис.8), а коэффициент мощности составлял

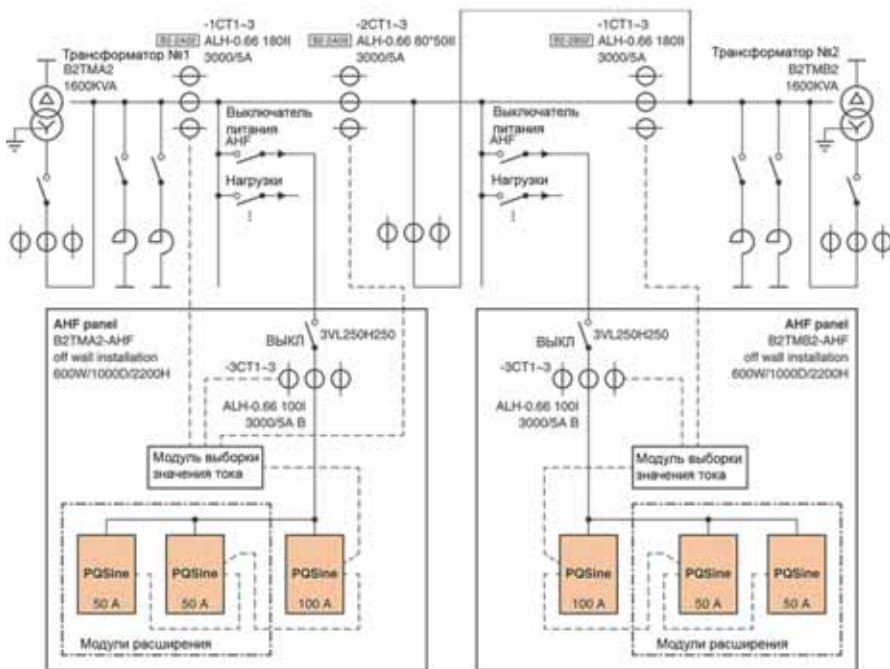


Рис.7

около единицы. На **рис.8,а** показана форма тока в электросети, а на **рис.8,б** – гармонический спектр тока при работе активного фильтра подавления гармоник и оптимизатора мощности.

Заключение

Активные фильтры зарекомендовали себя, как очень эффективное решение в части уменьшения гармоник в сети электроснабжения, а также как средство обеспечения динамической компенсации реактивной мощности. Это открывает возможность по обеспечению оптимального качества электроэнергии для любых нагрузок и потребителей электроэнергии в составе крупных коммерческих зданий.

В целом, активные фильтры и оптимизаторы мощности наиболее подходят для токовых гармоник, вызванных быстрыми процессами, а также для компенсации реактивной мощности или компенсации тока нейтрали в широком диапазоне электрических сетей, используемых для электроснабжения:

- железнодорожного транспорта;
- нефтяной, газовой и добывающей промышленности;
- металлургической индустрии;
- химической промышленности;
- электрические сварочные системы;
- системы бесперебойного питания;

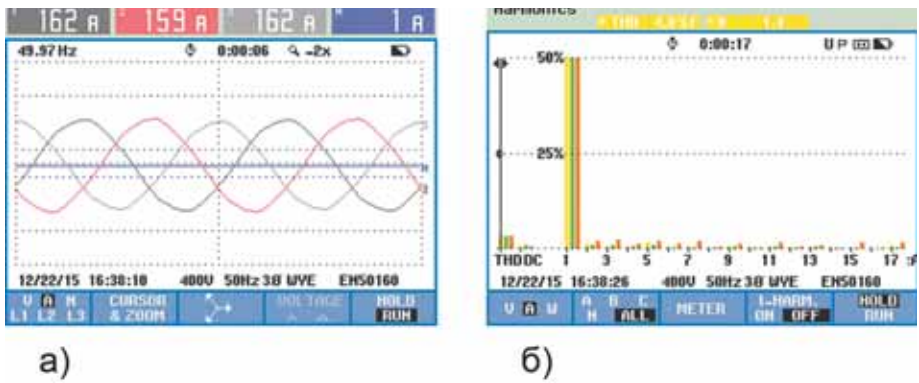


Рис.8

- центры обработки и хранения данных;
- производственные цеха, с чувствительным к качеству электросети оборудованием;
- офисные здания, торговые центры и больницы.

Литература:

1. Clean power for office towers, PQSine active harmonic filters, December 19, 2017 // <https://en.tdk-electronics.tdk.com/tdk-en/373562/tech-library/articles/applications-cases/applications-cases/clean-power-for-office-towers/2136912>
2. EPCOS Product Brief 2018, Power Quality Solutions PQSine Series of Active Harmonic Filters and Power Optimizers. EPCOS AG • A TDK Group Company Edition 2018 // <https://en.tdk-electronics.tdk.com/download/2195214/7be65ad05022ed1228a86d48cfa75ef3/downloads-pqsine-s.pdf>



МЕЖДУНАРОДНАЯ ВЫСТАВКА

11-13 СЕНТЯБРЯ 2019

ЭЛЕКТРОНИКА ЭНЕРГЕТИКА



ЦЕНТР ВЫСТАВОЧНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ
 Тел.: +38 048 7165528
 E-mail: elektro@expo-odessa.com
WWW.EXPO-ODESSA.COM

