



Инженерный центр  
«Автоматизация  
ресурсосберегающих  
технологий»

[www.ic-art.ru](http://www.ic-art.ru)

# Активные фильтры Компенсация высших гармоник и реактивной мощности

*Примеры применений*

Санкт-Петербург  
2019

**Высшие гармоники** проявляются в электроустановках с нелинейными электроприёмниками, в том числе с преобразователями частоты, выпрямителями, тиристорными регуляторами напряжения и др.

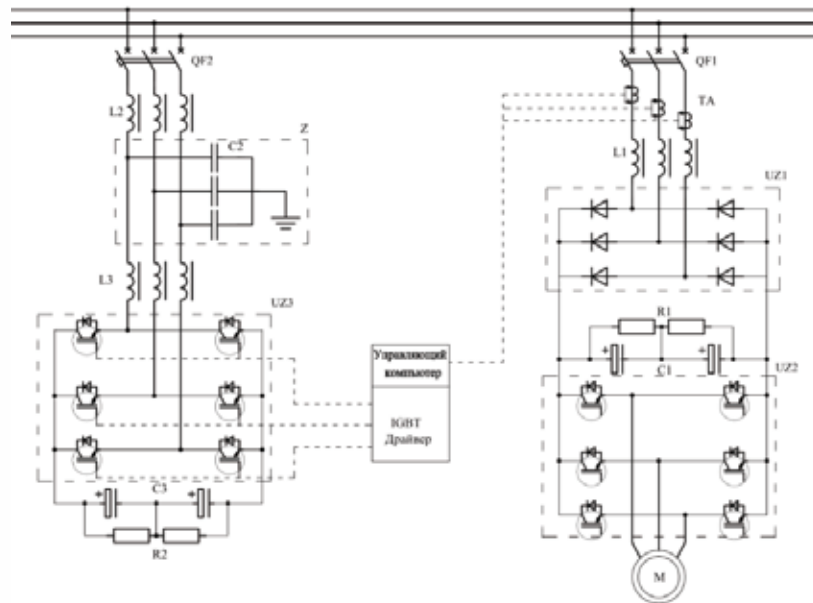
**Проблемой** при этом может быть отказ устройств микроэлектроники, отключение преобразователей частоты, перегрев «косинусных» конденсаторов, перегрев генераторов, трансформаторов, электродвигателей и др.

**Активные фильтры** компенсируют высшие гармоники до 50-го (иногда до 100-го) порядка и обеспечивают надёжную работу электроустановок.

Активный фильтр  
в исполнении IP-54



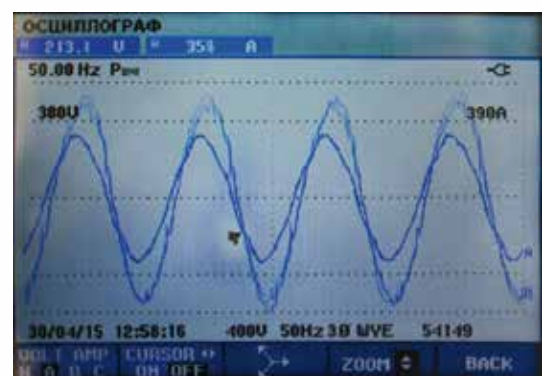
Схема подключения активного фильтра (слева) для компенсации высших гармоник во входной цепи преобразователя частоты (справа)



Ниже приведены осциллограммы с выхода понижающего трансформатора мощностью 1000 кВА (6/0,4 кВ) при подключении преобразователя частоты мощностью 315 кВт с током нагрузки 320 А. Активный фильтр устраняет искажения тока и напряжения.



Ток и напряжение в фазе.  
Фильтр ОТКЛЮЧЕН



Ток и напряжение в фазе.  
Фильтр ВКЛЮЧЕН

Активные фильтры имеют модульную конструкцию; до 90 модулей подключаются параллельно по схеме «ведущий – ведомый».

Максимальный ток компенсации при напряжении 400 В – 13500 А.

Максимальный ток компенсации при напряжении 690 В – 8100 А.

Поставляем системы компенсации высших гармоник на базе активных фильтров для электроустановок до и выше 1000 В.

## Уникальные возможности активных фильтров по компенсации искажений напряжения на вводе ответственных потребителей

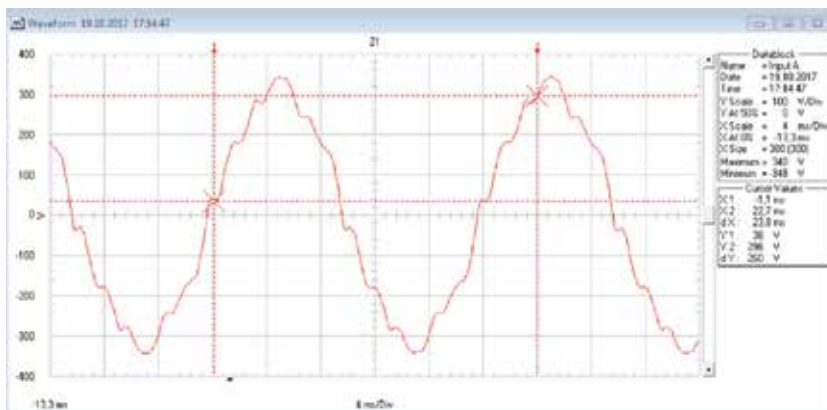
# 02

Компенсировать высшие гармоники на всех участках электрической сети дорого и технически сложно.

Активные фильтры позволяют реализовывать «бюджетные» решения, обеспечивая требуемое качество напряжения на вводе питания ответственных электроприёмников.

В режиме **компенсации искажений напряжения** активные фильтры непосредственно контролируют форму кривой напряжения и корректируют ее в соответствии с заданием. Трансформаторы тока при этом не используются.

Ниже приведена осциллограмма фазного напряжения (рисунок слева) на вводе питания хроматографа. Искажения вызваны работой преобразователей частоты на «соседней» трансформаторной подстанции и приводят к сбоям хроматографа (фото справа).



Включение активного фильтра на шины распределительного устройства позволило избежать сбоев хроматографа и других ответственных потребителей.



Применение активных фильтров в режиме непосредственной компенсации искажений напряжения позволяет устранить влияние высших гармоник, распространяющихся со стороны источника электроснабжения и/или от соседних подстанций.

Это решение уникально по эффективности и конкурентно по цене.



Поставляем системы компенсации искажений напряжения на шинах питания ответственных электроприёмников на базе активных фильтров.



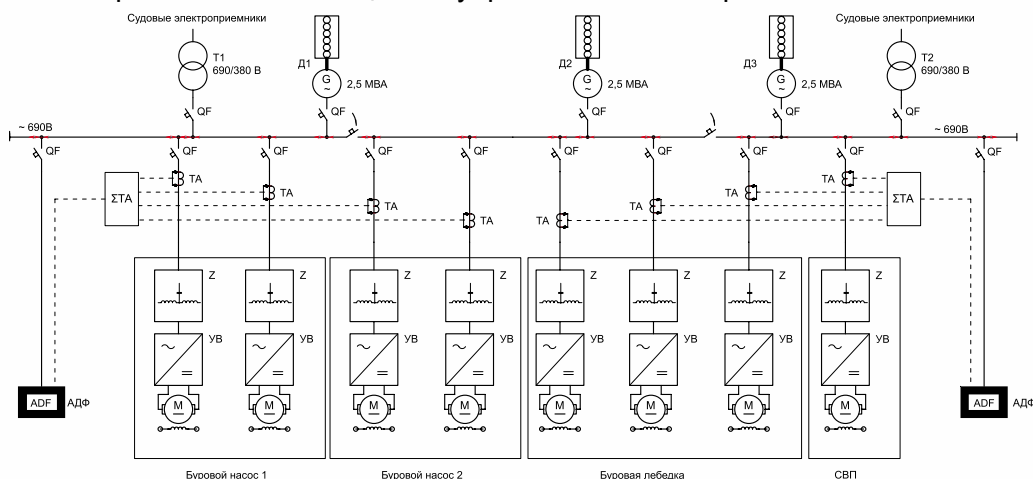


**Реактивная мощность индуктивного характера** присутствует в большинстве электроустановок, загружает их реактивным током и препятствует передаче активной мощности.

В некоторых случаях потребление реактивной мощности сопровождается возникновением токов высших гармоник. Характерный пример – системы с управляемыми выпрямителями.

**Активные фильтры** эффективно компенсируют высшие гармоники и реактивную мощность одновременно.

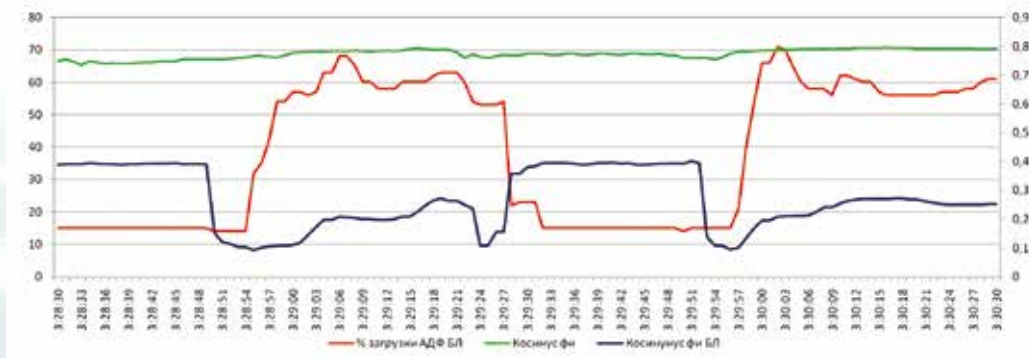
Ниже приведена схема подключения активных фильтров на самоподъёмной плавучей буровой установке «Арктическая» с мощными управляемыми выпрямителями Главных приводов.



Применение активных фильтров позволило разгрузить судовую электростанцию от реактивного тока на 1000 А (690 В) и повысить производительность бурового комплекса.



Изменение тока компенсации активных фильтров (красная линия) при работе буровой лебедки (синяя линия). Кф. мощности поддерживается на уровне 0,8 (зеленая линия).



Поставляем системы компенсации  
на базе активных фильтров мощностью до 9000 квар

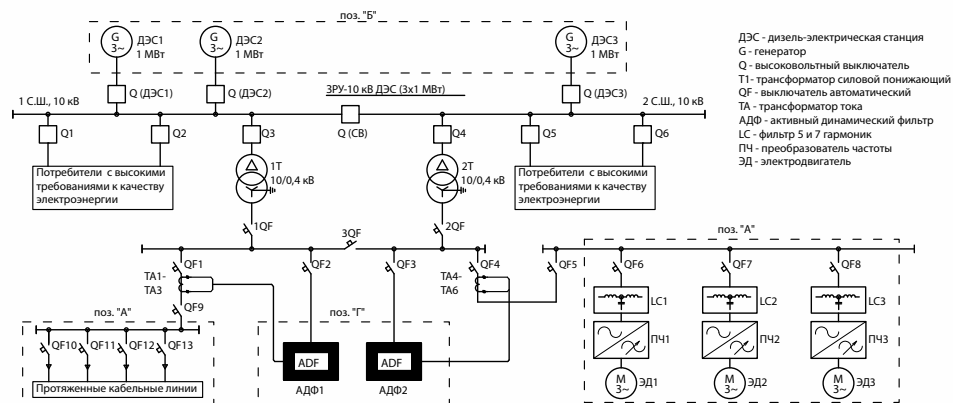
**Реактивная мощность ёмкостного характера** генерируется синхронными компенсаторами, конденсаторными установками, протяженными кабельными линиями и др.

Помимо загрузки электроустановок реактивным током, реактивная мощность создает проблемы для автономных электростанций с синхронными генераторами. Её увеличение может вызвать срабатывание защиты генераторов и прекращение электроснабжения.

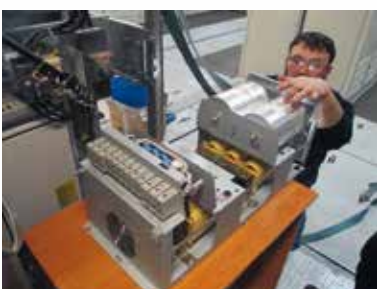
**Активные фильтры** компенсируют реактивную мощность ёмкостного характера с высокой точностью и быстродействием, обеспечивая надежную работу электроустановок, когда применение пассивных фильтров малоэффективно.

Схема подключения активных фильтров на объекте с протяженными кабельными линиями (слева) и с пассивными фильтрами гармоник (справа), создающими на долевых режимах реактивную мощность ёмкостного характера.

Реактивная мощность вольтрасовой кабельной линии.



Реактивная мощность ёмкостного характера создается также конденсаторами в составе пассивных фильтров гармоник, установленных на входе преобразователей частоты.



Активные фильтры компенсируют реактивную мощность ёмкостного характера



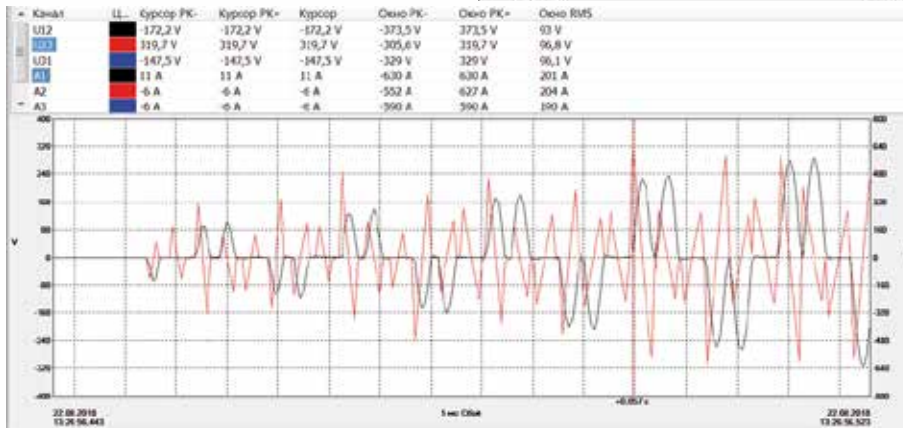
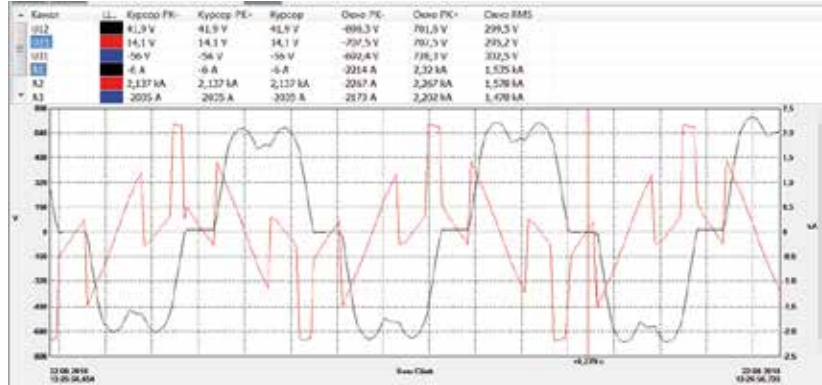
Поставляем системы компенсации реактивной мощности ёмкостного характера в электроустановках до 1000 В и выше 1000 В

**Пусковые токи электродвигателей** могут вызывать провалы напряжения в сети, нештатные отключения коммутационных аппаратов, срабатывание защит и др.

Тиристорные регуляторы напряжения, применяемые в качестве устройств плавного пуска электродвигателей, понижают напряжение на обмотке статора и искажают форму синусоиды.

При затыжном пуске это может привести к аварии.

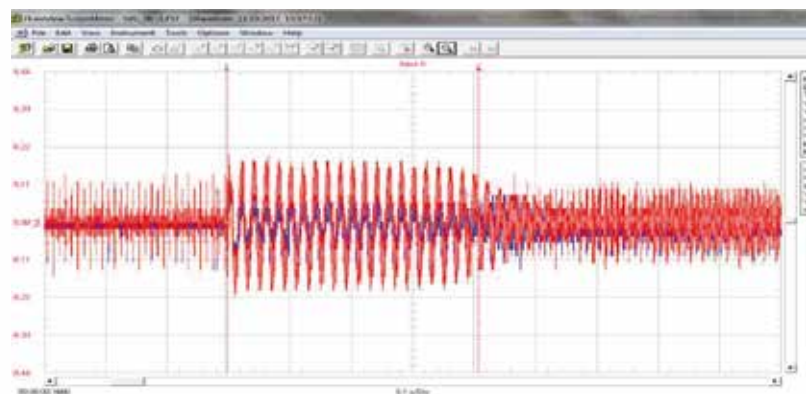
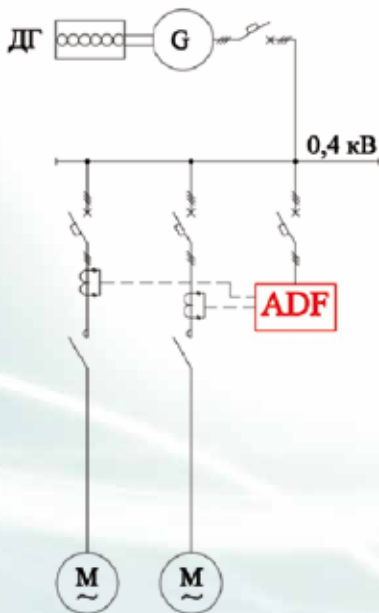
На диаграммах показан переходный процесс включения электродвигателя мощностью 1000 кВт (690 В) от тиристорного устройства плавного пуска.



Напряжения на обмотке статора электродвигателя (красная линия) и ток статора (черная линия) несинусоидальны. Это создает дополнительный нагрев обмотки статора и ухудшает параметры качества электроэнергии в сети.

При пуске двигателя активные фильтры эффективно снижают потребляемый из сети ток, генерируя требуемую реактивную мощность для намагничивания стали машины. При этом напряжение на двигателе номинальное, его форма синусоидальная и пуск происходит быстро.

Красная линия – ток двигателя; синяя линия – ток из сети



**Дополнительные преимущества компенсации пусковых токов активными фильтрами.**

Фильтр подключается параллельно электродвигателю и нагружается только реактивным током. Фильтр способен компенсировать пусковые токи групповых нагрузок.

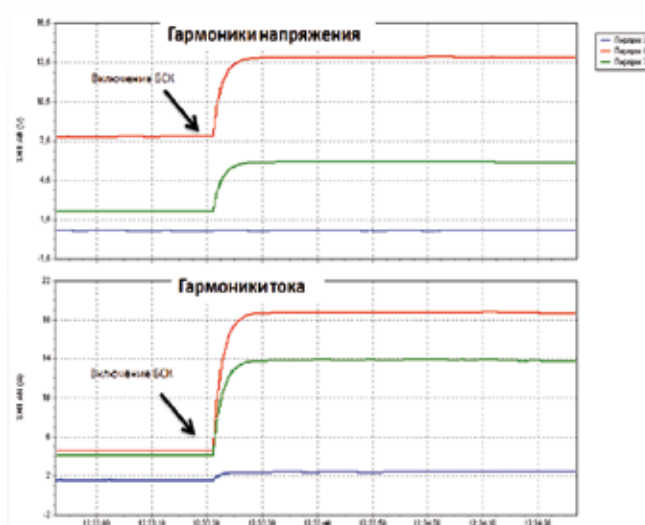
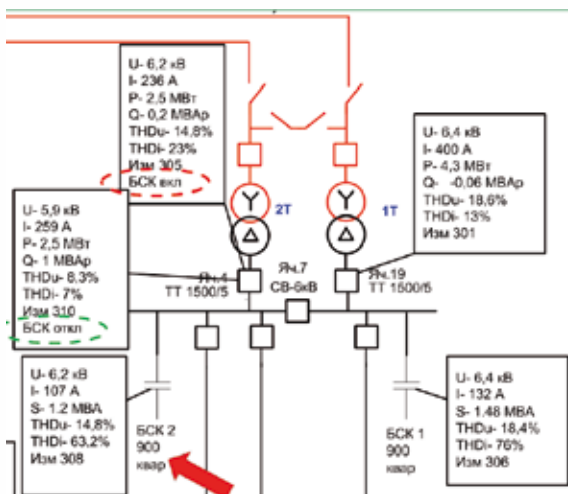
Поставляем системы компенсации пусковых токов электродвигателей на базе активных фильтров.



В сетях с нелинейными электроприёмниками **резонанс** может возникать на частотах высших гармоник при определённом соотношении реактивных сопротивлений. Это приводит к многократному увеличению напряжения на частоте соответствующей гармоники и представляет опасность для электроустановок. Подобные явления нередко возникают при переключении ступеней «косинусных» конденсаторов.

Ниже приведена схема узла трансформаторной подстанции 35/6 кВ с конденсаторными установками мощностью 900 квар (БСК 1 и 2). При подключении конденсаторов на шины 6 кВ суммарный коэффициент гармонических составляющих напряжения возрастает с 8,3 % до 14,8 % (рисунок слева). При этом резко возрастают гармоники напряжения и тока 5 и 7 порядка (рисунок справа).

Высшие гармоники тока в том числе нагружают конденсаторную батарею и вызывают ее перегрев.



**Активные фильтры** эффективно подавляют резонансные явления.

Применение **стандартных активных фильтров** позволяет избежать возникновения условий резонанса. Система управления активного фильтра контролирует ток компенсации и напряжение на частотах высших гармоник. Если при увеличении тока компенсации гармоники определенного порядка уровень её напряжения начинает расти, ток компенсации ограничивается достигнутым значением, либо компенсация на этой частоте прекращается.

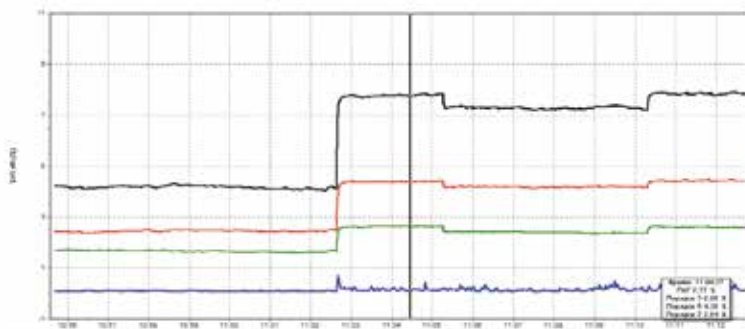
Применение **широкополосных активных фильтров** эффективно для «гашения» (демпфирования) возникающих в сети резонансных процессов. При наладке фильтров определяются демпфируемые частоты, на которых формируются требуемые токи компенсации при возникновении условий резонанса. Если резонансные частоты изменяются, АДФ корректирует режим работы без какого-либо вмешательства персонала.

Разрабатываем и реализуем решения по предотвращению резонанса в электроустановках на базе активных фильтров.

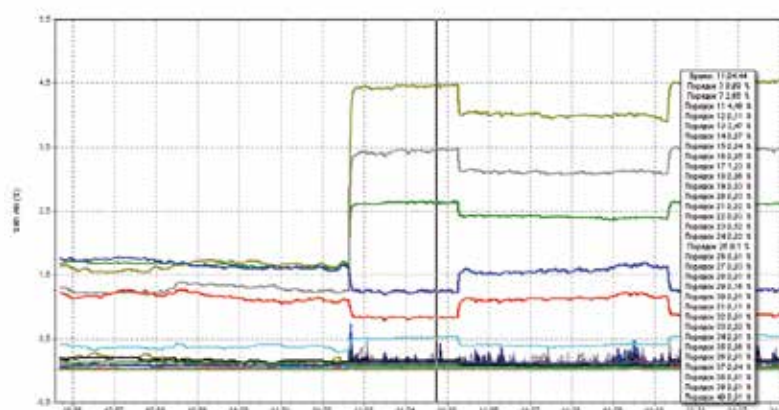


**Системы автономного электроснабжения** небольшой мощности (в сотни и тысячи кВт) характеризуются, в том числе, высоким внутренним сопротивлением источников электроэнергии (синхронных генераторов). В таких сетях с нелинейными электроприёмниками искажения напряжения выше (при прочих равных условиях), чем при питании от энергосистемы. Это создает опасность нештатной работы электроустановок при переходе в автономный режим работы.

Ниже показан спектр высших гармоник напряжения на сборных шинах ЗРУ 10 кВ при переводе питания с энергосистемы на автономную электростанцию. Спектр гармоник резко изменяется в худшую сторону.



Переход в автономный режим электроснабжения приводит к увеличению суммарного коэффициента гармонических составляющих напряжения в 1,8 раза (черная линия). Это превышает предельно допустимые значения по ГОСТ 32144-2013.



В наибольшей степени переход в автономный режим сказывается на гармонике напряжения 11-го порядка. Её значение возрастает в 3 раза (зеленая линия).

Кратное увеличение высших гармоник напряжения приводит к сбоям в работе ответственных электроприёмников в автономном режиме.

**Активные фильтры** эффективно устраняют высшие гармоники тока и напряжения и одновременно стабилизируют кф. мощности на шинах генераторов за счет компенсации реактивной мощности индуктивного или ёмкостного характера.



Активные динамические фильтры на трансформаторной подстанции

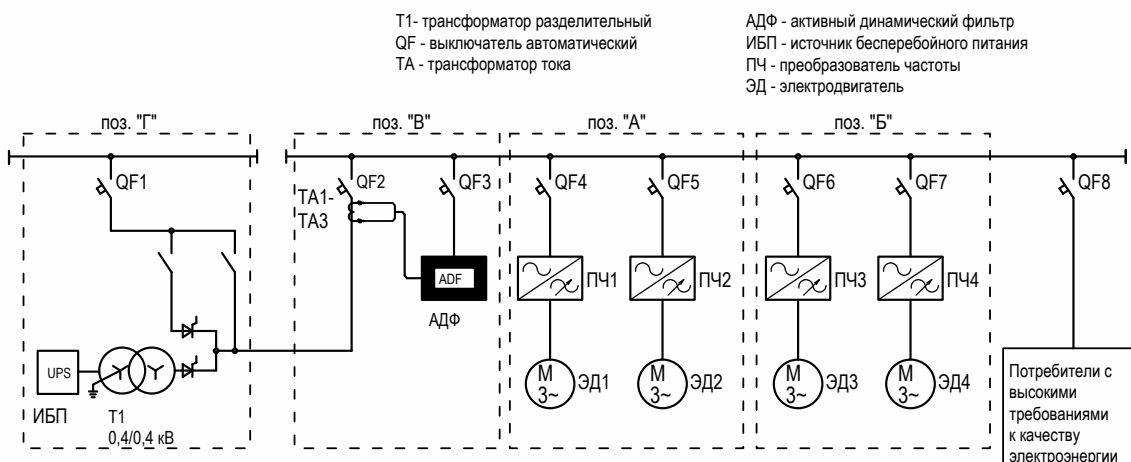


Согласующий трансформатор системы динамической компенсации

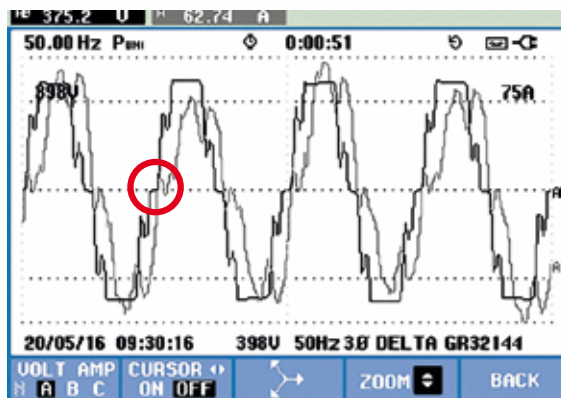
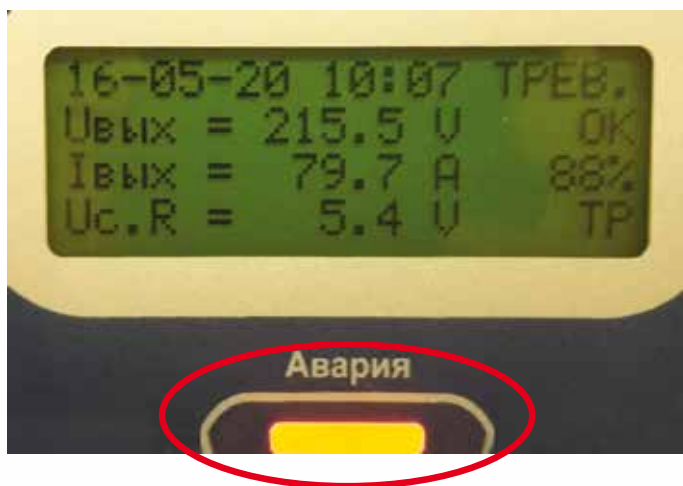


**Источники бесперебойного питания (ИБП)** могут создать проблемы, если в цепях их нагрузки присутствуют нелинейные электроприёмники (преобразователи частоты, тиристорные устройства плавного пуска и др.). Искажения напряжения на выходе ИБП образуются при протекании токов высших гармоник от источника через цепи нагрузки. Эти искажения деформируют синусоиду напряжения настолько, что нарушаются условия синхронизация ИБП с сетью. Устройство бесперебойного питания переходит в аварийный режим и возникает риск отключения ответственных потребителей.

Ниже показана схема подключения ответственных электроприёмников от ИБП мощностью 80 кВА. В составе потребителей особой группы есть частотно-регулируемые приводы.



При включении преобразователей частоты коэффициент нелинейных искажений по напряжению на шинах бесперебойного питания достигает 17%. ИБП не может синхронизироваться с сетью при восстановлении электроснабжения и переходит в аварийный режим.



Включение **активного фильтра** восстанавливает синусоидальность напряжения и решает проблему синхронизации источника бесперебойного питания. Повышается надежность электроснабжения потребителей особой группы и снижаются риски аварий. Одновременно активные фильтры повышают кф. мощности на шинах гарантированного питания и компенсируют пусковые токи двигателей, что позволяет уменьшить установленную мощность ИБП.

**Активные фильтры** по устройству и элементной базе имеют много общего с преобразователями частоты. Во многом аналогичны и способы их установки, наладки, ремонта и технического обслуживания.

Активные фильтры могут быть с воздушным и водяным охлаждением, напольного и навесного исполнения, с различной степенью защиты (до IP 54 и выше).

Активные фильтры устанавливаются в электротехнических помещениях или в непосредственной близости от электроприёмников.



Наладка активных фильтров выполняется с сенсорной панели управления фильтра или при помощи компьютера с сервисным программным обеспечением.



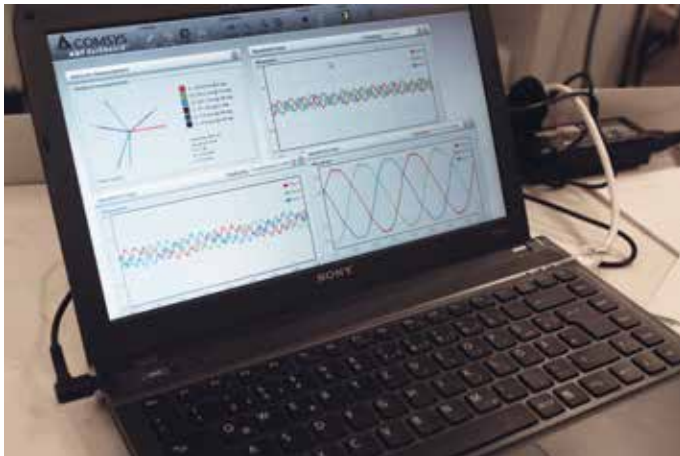
Компоновка активных фильтров в контейнерах позволяет поставлять системы динамической компенсации высокой степени заводской готовности.



Поставляем активные фильтры. Выполняем комплекс работ по системам динамической компенсации от проекта до пуска и наладки.

Активные фильтры в общем случае работают автономно и не требуют вмешательства оператора.

Вместе с тем, при необходимости они легко интегрируются в АСУ ТП, АСКУЭ и другие информационные системы.



Стандартный web-интерфейс активного фильтра позволяет:

- ▶ включать и отключать фильтр;
- ▶ запускать процесс диагностики;
- ▶ изменять уставки защиты и параметры компенсации (гармоник, реактивной мощности, несимметрии и др.);
- ▶ изменять системные настройки (цифровые входы и выходы, время и дату, параметры TCP/IP и др.);
- ▶ контролировать форму кривых тока компенсации, линейных токов и напряжений;
- ▶ выводить на экран векторную диаграмму с фазовыми углами, действующими значениями линейных напряжений и токов и др.



Открытый документированный протокол Modbus TCP обеспечивает:

- ▶ чтение текущих параметров (нагрузка, температура и др.)
- ▶ чтение/запись настроек компенсации;
- ▶ чтение состояния (работа, авария, др.);
- ▶ удалённое управление фильтром.



Интеграция АДФ в АСУ ТП позволяет:

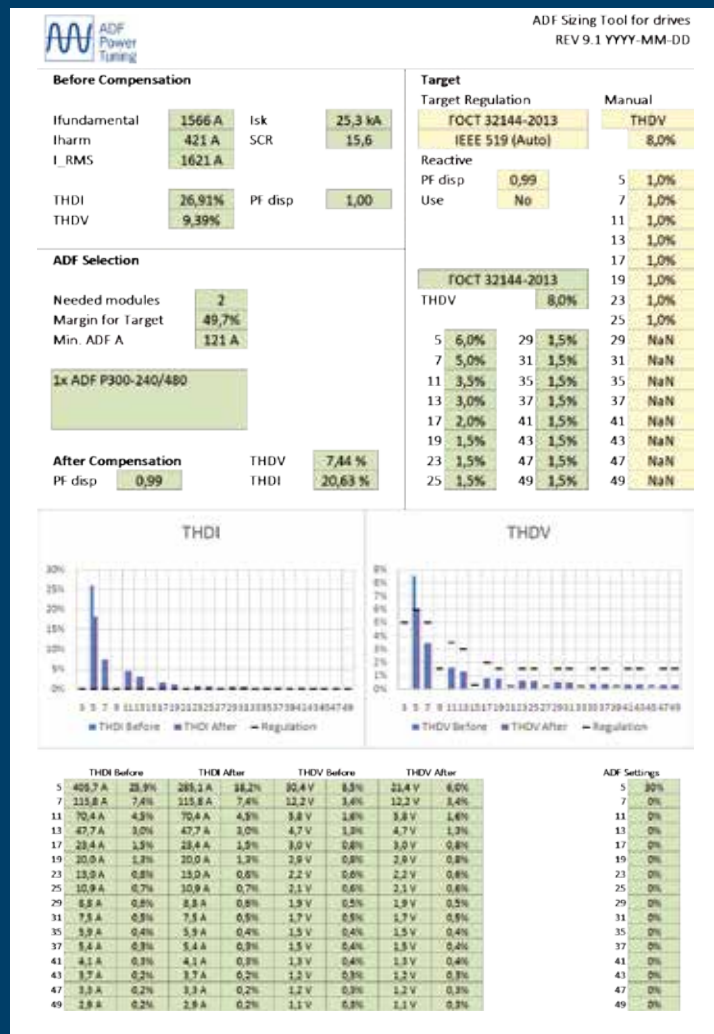
- ▶ включать, отключать, изменять настройки, контролировать работу каждого из фильтров с одного поста управления;
- ▶ оперативно изменять приоритет работы системы компенсации (реактивная мощность, высшие гармоники и др.);
- ▶ вести архивы, отображать графики, анализировать влияния работы системы динамической компенсации на источник электроэнергии и электроприёмники и др.



# Инженерный центр «Автоматизация ресурсосберегающих технологий»

Разработка проектов и программного обеспечения систем динамической компенсации на базе активных фильтров.  
Измерения и моделирование электроустановок  
Реализация проектов «под ключ»

Сборка активных фильтров в Санкт-Петербурге



Диагностика и ремонт активных фильтров



Офис Инженерного центра «АРТ»  
195196, г. Санкт-Петербург, Таллинская ул., д. 7, литер «А»  
Офисный центр «K12». Офис 2-Н  
+7 (812) 445-24-22; 445-24-76; 445-23-47  
e-mail: office@ic-art.ru

[www.ic-art.ru](http://www.ic-art.ru)



YouTube Канал «Инженерный центр «АРТ»