

АКТИВНЫЙ ФИЛЬТР ГАРМОНИК КАК СРЕДСТВО ПОВЫШЕНИЯ КАЧЕСТВА ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ

АВТОРЫ:

К.В. ЗАМУЛА,
ООО «ЭНЕРГИЯ-Т»

Ю.В. СОКОЛОВ,
ООО «ЭНЕРГИЯ-Т»

А.В. КАРМАНОВ,
ООО «ЭНЕРГИЯ-Т»

На сегодняшний день большинство энерго-снабжающих организаций не обладают необходимым оборудованием, обеспечивающим

в автоматическом режиме требуемого уровня содержания высших гармоник в сетях. Это порождает острую проблему негативного взаимовлияния технических средств между собой.

Ключевые слова: активный фильтр гармоник (АФГ); симметрирование нагрузок фаз; компенсация высших гармоник; компенсация реактивной мощности; быстрое преобразование Фурье (БПФ); Smart Grid.



Внешний вид активного фильтра гармоник АФГ-25-400-4

ВВЕДЕНИЕ

Современные комплексы радио-электронной аппаратуры (РЭА) работают в сложной электромагнитной обстановке, обусловленной в том числе необеспеченностью отдельных показателей качества электроэнергии. Это вызвано ростом удельных характеристик устройств, имеющих низкий коэффициент мощности и работающих по резко переменным графикам нагрузки. Особо осложняет электромагнитную обстановку работа электроприемников, генерирующих высшие гармонические составляющие (ВГС), с уровнем электромагнитной совместимости, выходящим за рамки диапазонов, определенных ГОСТ 32144-2013 [1].

Перечисленное приводит к неконтролируемым изменениям величины и формы напряжения в точках присоединения потребителей. Ухудшение качества электроэнергии напрямую влияет на снижение срока службы РЭА, является наиболее вероятной причиной ее отказов и выхода из строя, приводит к увеличению потерь энергии во всех элементах системы электроснабжения и, соответственно, влечет увеличение расхода топливных ресурсов.

НЕГАТИВНЫЕ ФАКТОРЫ, ВОЗНИКАЮЩИЕ ПРИ ЭКСПЛУАТАЦИИ СОВРЕМЕННОГО ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЯ

Основными негативными факторами при эксплуатации современного электрооборудования являются:

1. Гармонические составляющие напряжения. Они, как правило, обусловлены нелинейными нагрузками пользователей, подключаемых к электрическим сетям различного напряжения. Гармонические токи в сетях создают падения напряжений на полных сопротивлениях в них. Гармонические токи, полные сопротивления электрических сетей и, следовательно, напряжения гармонических составляющих в точках передачи электрической энергии изменяются во времени. Дополнительные потери — одно из самых отрицательных явлений, вызываемое гармониками во вращающихся машинах. Наибольший ущерб от высших гармоник наносит увеличение активных потерь и сокращение срока службы изоляции электродвигателей и силовых трансформаторов [9].
2. Реактивная мощность. Влияние реактивной мощности на режимы энергосбережения состоит в том, что ее наличие в элементах сети увеличивает значение полного тока и, соответственно, влияет на активные потери электроэнергии в данном элементе сети [8].
3. Несимметрия. В электроустановках потребителей находят все большее применение однофазные приемники (крупные электропечи, электронные аппараты, осветительные приборы), что вызывает несимметричный режим питания. Несимметрия токов обуславливает несимметрию напряжения, которая, в свою очередь, приводит к возникновению дополнительных фазных и междуфазных напряжений. Несимметрия влечет за собой появление очагов местных перегревов роторов синхронных генераторов, нежелательные вибрации их отдельных узлов. В линиях электропередачи и трансформаторах несимметрия снижает пропускную способность

трехфазной системы, отрицательно влияет на работу асинхронных двигателей, ухудшает режим работы выпрямителей, делает менее эффективным использование регулирующих и компенсирующих установок. При этом создаются дополнительные потери активной энергии в сетях [7].

СОВРЕМЕННОЕ УНИВЕРСАЛЬНОЕ СРЕДСТВО ПОВЫШЕНИЯ КАЧЕСТВА ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ

Для компенсации высших гармоник, вызванных действием нагрузки, традиционно применяются резонансные фильтры. Для энергетических установок это, как правило, последовательные индуктивно-емкостные резонансные цепи, настроенные на соответствующие номера гармоник. Обычно резонансные L-C фильтры настраиваются на гармоники с номерами $n = 5, 7, 11, 13$.

Такие фильтры выпускаются, как правило, на значительные токи и напряжения, их типоряд существенно дискретный. Для выбора фильтров требуется информация о предполагаемом спектре компенсируемых гармоник, величинах токов по каждой гармонике.

Использование резонансных фильтров для компенсации широкого спектра высших гармонических составляющих приводит к неоправданному удорожанию и повышению материалоемкости всей установки. При этом номинальные характеристики фильтра могут либо не быть востребованы вовсе, либо реальная

нагрузка будет генерировать спектр гармоник, на который не рассчитывался фильтр, и они не будут в должной мере скомпенсированы, так как пассивные фильтры не в состоянии изменять регулируемые ими параметры в режиме on-line в резко меняющейся электромагнитной обстановке [5].

Авторами разработаны активные фильтры гармоник (см. рис. 3 на с. 26 и рис. 1), способные обеспечить заданный коэффициент мощности электроустановок и существенно улучшить качество электроэнергии на входе энергетических комплексов мощностью до 10 МВт в режиме on-line. Таким образом, активный

фильтр гармоник (АФГ) можно трактовать как элемент Smart Grid.

АФГ является управляемым источником тока, подключаемым параллельно с нагрузкой, генерирующей высшие гармоники (управляемые выпрямители, преобразователи частоты, приводы электродвигателей, импульсные источники питания). АФГ компенсирует ВГС тока нагрузки, генерируя равные им по амплитуде, но противоположные по фазе токи, снижая таким образом коэффициент гармонических составляющих напряжения.

В соответствии с назначением АФГ выполняет следующие функции:

- компенсация ВГС до 50-й гармоники включительно;
- выбор степени компенсации от 0 до 100 % для отдельных гармоник (от 2-й до 50-й);
- контроль перегрузки АФГ по току с последующим автоматическим ограничением мощности;
- обеспечение перехода в режим холостого хода при малых токах нагрузки;
- компенсация реактивной мощности (полной или до определенного значения коэффициента мощности);
- потребление или генерация реактивной мощности индуктивного или емкостного характера определенной величины;
- компенсации реактивной мощности при одновременной компенсации нелинейных искажений;
- симметрирование токов нагрузки в пределах мощности АФГ;
- передача информации о параметрах энергии на входе АФГ и параметрах функционирования АФГ в автоматизированную систему управления.

АФГ имеют возможность параллельной работы с целью увеличения суммарной компенсируемой мощности. Основные технические характеристики АФГ приведены в табл. 1.

УСТРОЙСТВО АКТИВНОГО ФИЛЬТРА ГАРМОНИК

АФГ выполнен по схеме трехфазного мостового инвертора с емкостным накопителем энергии (ЕНЭ) на стороне постоянного тока со средней точкой и T-образным LCL-фильтром со стороны питания переменного тока. Схема АФГ показана на рис. 2.

Мостовой инвертор выполнен на основе модулей IGBT-транзисторов с обратными диодами, рассчитан-

СХЕМА АФГ

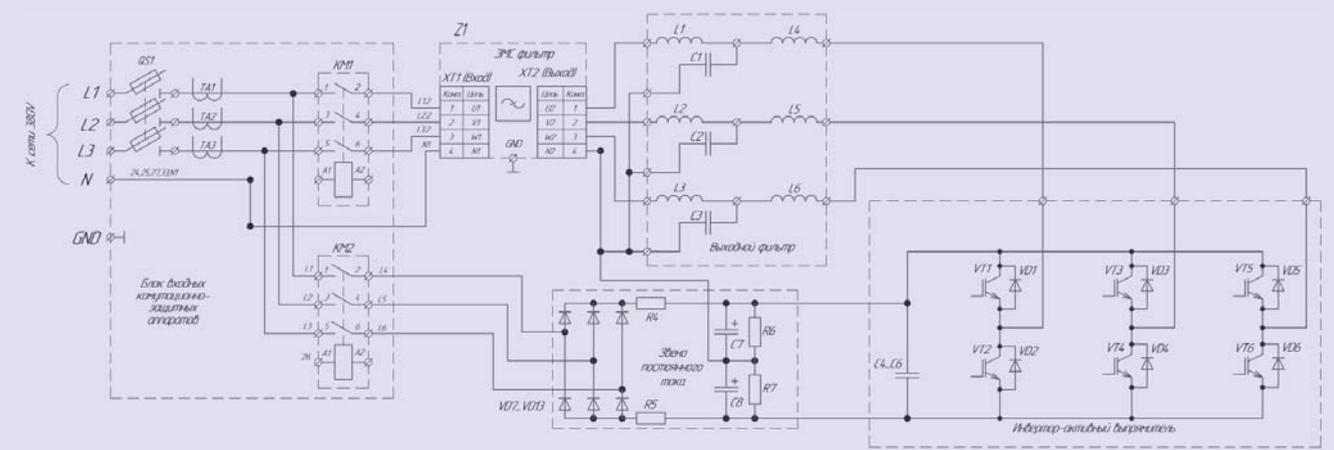


Рис. 2

ОСНОВНЫЕ ТЕХНИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ АФГ

Наименование параметра	АФГ-25	АФГ-100	АФГ-200	АФГ-300
Номинальное напряжение сети, кВ	0,4			
Номинальный компенсируемый фазный ток, А	25	100	200	300
Частота сетевого напряжения, Гц	50			
Перегрузочная способность, %	120			
Компенсируемые гармоники тока	индивидуально, до 50-й включительно			
Компенсация реактивной мощности по коэффициенту мощности	до 1,0 включительно			
Уровень шума, дБ	до 60			
Рассеиваемая мощность, Вт	до 650	до 1900	до 3800	до 5700
Охлаждение	принудительное воздушное			

Таблица 1

ными на полный ток транзистора. IGBT-транзисторы работают одновременно в режиме инвертора и в режиме активного выпрямителя для обеспечения работы звена постоянного тока.

Емкостной накопитель энергии выполнен на основе низкоиндуктивных электролитических конденсаторов, имеет среднюю точку, которая подключается к нейтрали сети при четырехпроводном подключе-

нии активного фильтра к нелинейной нагрузке.

В силовой схеме АФГ предусмотрены:

- датчики тока для контроля фазных токов активного фильтра и нагрузки;
- коммутационная аппаратура;
- элементы принудительного воздушного охлаждения транзисторных модулей.

Функциональная схема АФГ дана на рис. 3, где показаны:

- выходной фильтр (обеспечивает сглаживание выходной формы тока);
- ЭМС-фильтр, или фильтр электромагнитных помех (обеспечивает снижение помех от АФГ на сеть и обратно от сети на АФГ);
- блок питания (служит для питания модулей и блоков самого АФГ);
- выпрямитель активный (обеспечивает поддержание напряжения конденсаторов звена постоянного тока);
- выпрямитель предварительного заряда (используется для предварительного заряда звена постоянного тока);
- инвертор (обеспечивает формирование кривой выходного тока);
- модуль охлаждения (служит для охлаждения силовой части АФГ);
- модуль управления (используется для управления инвертором и защитой фильтра);
- блок управления силовым модулем (применяется для управле-

ВНЕШНИЙ ВИД АФГ-25-400-4

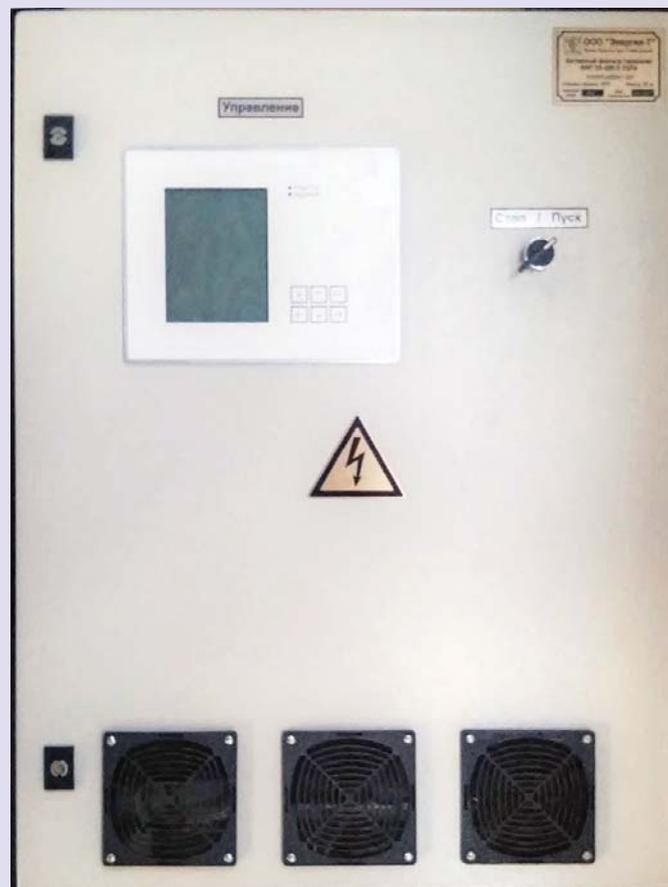


Рис. 1

ФУНКЦИОНАЛЬНАЯ СХЕМА АФГ

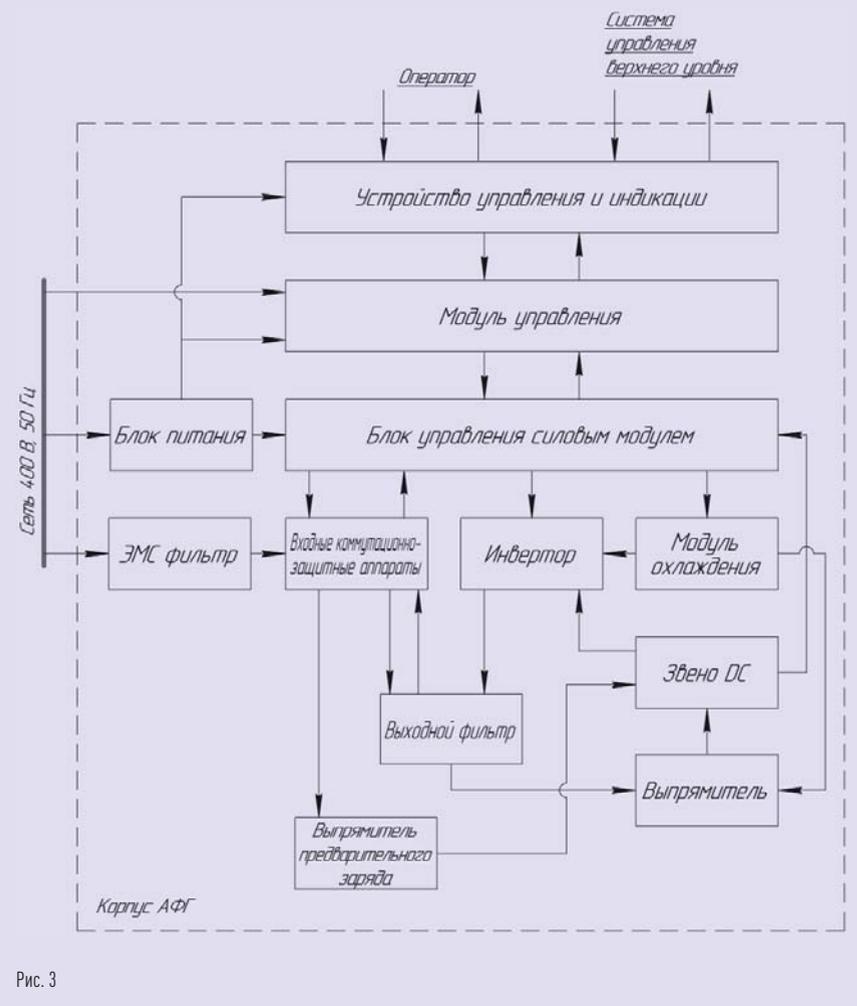


Рис. 3

- инверторы с прямоугольной формой выходного напряжения;
- входные коммутационно-защитные аппараты (служат для защиты блоков и модулей АФГ, а также для автоматизированного ввода АФГ в работу);
- устройство управления и индикации — человеко-машинный интерфейс АФГ (обеспечивает связь с интеллектуальной системой управления более высокого уровня).

В соответствии с принципами построения инверторы делятся на несколько основных типов:

- инверторы с прямоугольной формой выходного напряжения;
- инверторы напряжения со ступенчатой формой кривой выходного напряжения;
- инверторы с произвольной формой выходного напряжения.

Для построения схемы АФГ подходят лишь инверторы с произвольной формой выходного напряжения, так как только они могут формировать необходимые параметры выходного тока.

Принцип построения такого инвертора заключается в том,

что при помощи различных схем получают напряжение постоянного тока, значение которого близко к амплитудному значению выходного напряжения инвертора. Затем это напряжение постоянного тока с помощью мостового инвертора преобразуется в переменное напряжение, по форме близкое к необходимому за счет применения соответствующих принципов управления транзисторами данного мостового инвертора. Принцип так называемой «многократной» широтно-импульсной модуляции заключается в том, что в интервале каждого полупериода выходного напряжения инвертора соответствующая пара транзисторов мостового инвертора многократно коммутируется на высокой частоте при широтно-импульсном управлении. Причем длительность этих высокочастотных импульсов коммутации изменяется по закону, необходимому для компенсации гармоник. Затем с помощью высокочастотного фильтра нижних частот выделяется требуемая составляющая выходного тока инвертора.

Активный выпрямитель (АВ), выполненный по трехфазной мостовой схеме, преобразует напряжение питающей сети переменного тока в стабилизированное напряжение постоянного тока U_D на конденсаторе. Активный выпрямитель выполняется по схеме, полностью идентичной схеме инвертора, и, по существу, представляет собой обращенный автономный инвертор напряжения, также работающий в режиме широтно-импульсной модуляции (ШИМ). Так же, как и автономный инвертор, АВ инvertирует постоянное напряжение конденсатора U_D в импульсное напряжение на своих зажимах переменного тока. Эти зажимы связаны с питающей сетью через ШИМ-дроссели. В отличие от регулируемой рабочей частоты

АЛГОРИТМЫ УПРАВЛЕНИЯ АКТИВНЫМ ФИЛЬТРОМ ГАРМОНИК

Основным алгоритмом анализа гармоник и выделения сигнала ошибки для управления фильтром является разложение общего сигнала на высшие гармонические составляющие с использованием БПФ и выделение из общего сигнала сигналов основной частоты и высших гармоник.

АНАЛИЗ ВХОДЯЩИХ АНАЛОГОВЫХ СИГНАЛОВ

Получение дискретизации сигнала осуществляется встроенным в микроконтроллер аналого-цифровым преобразователем (АЦП). Чтобы взять дискретизацию за один период сигнала с частотой 50 Гц, через равные промежутки времени АЦП со всех каналов синхронно снимает выборки (условно, так как время взятия одной выборки пренебрежимо мало по отношению к интервалу между точками дискретизации). В качестве триггера АЦП выступает аппаратный таймер контроллера.

РАСЧЕТ СПЕКТРА СИГНАЛА

Спектр сигнала получают путем выполнения прямого дискретного преобразования Фурье (ДПФ). Для вычисления спектра на микроконтроллере в реальном времени используется БПФ.

Так как сложность БПФ определяется как $O(N \log_2 N)$, в то время как сложность ДПФ есть $O(N^2)$, то ал-

напряжения на зажимах переменного тока инвертора рабочая частота напряжения на зажимах переменного тока АВ постоянна и равна частоте питающей сети. Разность мгновенных значений синусоидального напряжения питающей сети и импульсного напряжения на зажимах переменного тока АВ воспринимаются ШИМ-дросселями, являющимися неотъемлемыми элементами системы, а индуктивность обеспечивает повышающий режим работы преобразователя. Благодаря использованию режима ШИМ импульсное напряжение, формируемое АВ на стороне переменного тока, имеет благоприятный гармонический состав, в котором присутствует преимущественно основная (полезная) гармоника, а высшие гармоники (на частоте коммутации ключей) подавляются выходным фильтром. Таким образом решается задача потребления из сети практически синусоидального тока для заряда накопительного конденсатора.

Фазовый угол потребляемого тока зависит от соотношения амплитуд и фазовых углов напряжений, приложенных к дросселям со стороны сети и со стороны активного выпрямителя, а также от параметров (индуктивности и активного сопротивления) дросселя. Изменяя с помощью системы управления АВ параметры основной гармоники его переменного напряжения на сетевых зажимах, можно обеспечить потребление из сети необходимого тока с заданным фазовым углом. Иными словами, можно обеспечить работу АФГ с заданным значением коэффициента мощности, например, равным единице, или емкостным или индуктивным коэффициентом мощности. Поэтому АФГ с активным выпрямителем в принципе может быть использован в системе электроснабжения либо как нейтральный элемент,

либо как источник, либо как потребитель реактивной мощности.

горитм быстрого проведения ДПФ позволяет вычислять спектр сигнала за существенно меньшее количество операций.

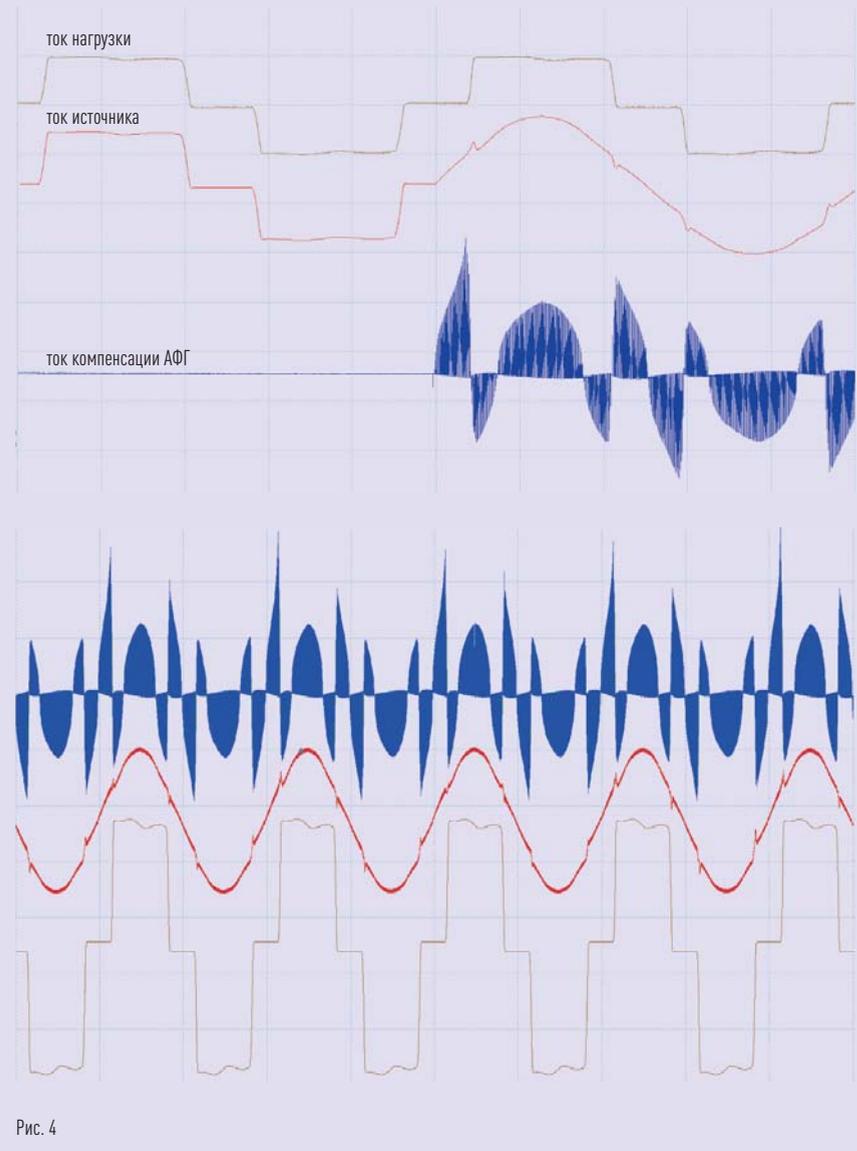
Когда в дискретизации нет целого числа периодов синусоидального сигнала, разрывы, которые образуются в конечных точках выборки, приводят к расширению спектра анализируемого сигнала вследствие появления дополнительных гармоник.

В случаях, когда полученная дискретизация содержит не целое количество периодов, краевые точки не будут совпадать. Тогда спектр, полученный с помощью БПФ, не будет верным, так как из-за изменения временного интервала основные гармоники перераспределяются по высшим частотам. Это влечет за собой расчет гармоник, которые на самом деле не содержатся в сигнале и которые могут значительно превышать частоту Найквиста.

Из теоремы Котельникова следует, что при дискретизации аналогового сигнала потерь информации не будет, только если наивысшая частота полезного сигнала равна половине или меньше частоты дискретизации. В противном случае при восстановлении аналогового сигнала будет иметь место наложение спектральных «хвостов» (подмена частот, маскировка частот, алиасинг). Это выглядит так, будто амплитуда с одних гармоник растекается по другим. Для минимизации эффекта растекания спектра применяется техника оконного преобразования.

Так как в случае изменения частоты сети период сигнала также незначительно изменяется, необходимо изменение размерности дискретизации; для этого применяется интерполяция сигнала. Для уточнения расчета спектра сигнала снятую с АЦП дискретизацию необходимо интерполировать по количеству

ОСЦИЛЛОГРАММА ВКЛЮЧЕНИЯ АФГ В РАБОТУ



точек и по времени для передачи в расчет ДПФ, так как расчет ДПФ выполняется только на дискретизациях размерности, кратной 2. Также с помощью интерполяции можно эффективно решать проблему растекания спектра при условии, что временной интервал дискретизации близок к измеряемому периоду.

Блок управления АЦП выполняет следующие операции:

- производит БПФ;
- производит умножение полученных гармоник на задаваемый коэффициент подавления, полученный результат инвертируется;
- над нормализованными и инвертированными данными производится обратное преобразование Фурье для получения требуемого тока компенсации АФГ;
- требуемый ток АФГ интерполируется под частоту ШИМ;

– интерполируемый под частоту ШИМ требуемый ток преобразуется в задание ШИМ и заносится в генератор ШИМ для формирования сигнала управления силовым модулем. В общем виде задание ШИМ представляется по формуле:

$$Out(t) = C \left(power \sqrt{y(t) + \frac{p_f(t) + r_f(t)}{power^2}} \right) \quad (1)$$

где C — коэффициент, зависящий от напряжения сети и напряжения на накопителе;

$y(t)$ — результат обратного БПФ;

$p_f(t)$ — управление активным выпрямителем;

$r_f(t)$ — управление генерацией/потреблением реактивной мощности;

$power$ — коэффициент обратной связи АФГ.

ОПЫТ ЭКСПЛУАТАЦИИ АФГ В ДЕЙСТВУЮЩИХ ЭЛЕКТРОУСТАНОВКАХ

Лабораторные испытания АФГ-25 и АФГ-100 при мощности нелинейной нагрузки, соизмеримой с установленной мощностью фильтра, подтвердили возможность устойчивой работы созданных изделий в электроустановках с изменяемой по величине нелинейной нагрузкой типа неуправляемого выпрямителя различной пульсности. Удалось достичь существенного улучшения синусоидальности потребляемого тока и кривой напряжения в точке присоединения АФГ (рис. 4).

После включения АФГ в работу (появления сигнала тока компенсации) форма кривой тока со стороны источника электроэнергии стала практически синусоидальной

ПОКАЗАНИЯ ИЗМЕРИТЕЛЯ ПКЭ ПРИ ИСПЫТАНИЯХ АФГ

	I_1, A	$I_5, \%$	$I_7, \%$	$I_{11}, \%$	$I_{13}, \%$	$I_{19}, \%$	THDI, %
Комплексная компенсация ВГС $I_{dc} = 70 A$							
С АФГ	25,8	1,0	1,1	0,9	<1		3,6
Без АФГ	24,9	21,5	9,6	7,7	4,9	2,4	25,9
Выборочная компенсация 5-й, 7-й, 11-й гармоник $I_{dc} = 70 A$							
С АФГ	26,4	1,4	1,2	1,1	4,3	2,4	8,2
Выборочная компенсация 5-й, 13-й гармоник $I_{dc} = 70 A$							
С АФГ	26,3	1,4	9,9	7,3	0,9	2,4	11,1

Таблица 2

ФОТО ПОКАЗАНИЙ ИЗМЕРИТЕЛЯ ПКЭ: А) ПРИ РАБОТЕ АФГ; Б) ПОСЛЕ ОТКЛЮЧЕНИЯ АФГ

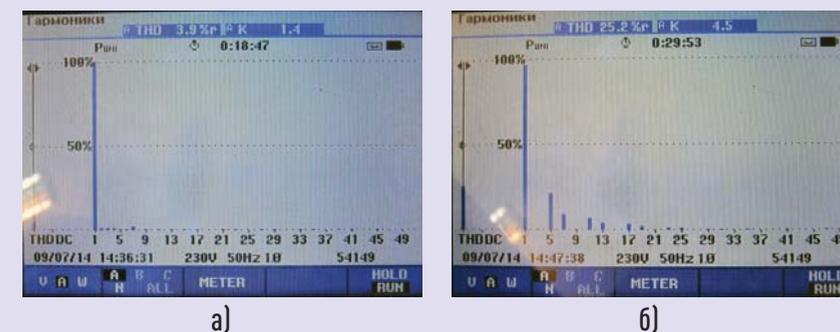


Рис. 5

при неизменной существенно несинусоидальной кривой тока нагрузки.

Некоторые итоги испытаний функционирования АФГ приведены ниже. Показания приборов контроля параметров качества электроэнергии (ПКЭ) во время испытаний, до и после включения АФГ в работу, даны в табл. 2 и на рис. 5 а, б, причем в результатах отражены доминирующие гармоники.

Опытная эксплуатация АФГ в составе электроустановки цеха № 3 ОАО «ЦС «Звездочка» показала устойчивую работу изделия в режиме компенсации высших гармониче-

ских составляющих тока в течение полного цикла плавки металла индукционной печью, параметры колебательного контура которой управлялись при помощи тиристорного преобразователя частоты типа ТПЧП-400-1,0.

При работе АФГ обеспечивалось существенное снижение негативного влияния работающего комплекса индукционной печи мощностью 400 кВт на источник системы электроснабжения промышленной частоты (понижающие трансформаторы РТП-13 2×1000 кВА 10/0,4 кВ). Общий коэффициент искажения формы тока (K_{π}) при работе печи снижался на 40 %

(без АФГ $K_{\pi} = 27,74 \%$, при работе АФГ в режиме компенсации ВГС $K_{\pi} = 16,9 \%$) (рис. 6 на с. 30).

ИСПЫТАНИЯ ОПЫТНОГО ОБРАЗЦА АКТИВНОГО ФИЛЬТРА ГАРМОНИК АФГ-25-400/50 В СОСТАВЕ СИСТЕМЫ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ МАЛОГО ГИДРОГРАФИЧЕСКОГО СУДНА (МГС) «ВАЙГАЧ»

Исполнение опытного образца АФГ предполагало его использование в сетях с глухозаземленной нейтралью. По этой причине его подключение к цепям судовых электроэнергетических систем (СЭЭС) с изолированной нейтралью было выполнено через разделительный трансформатор 380/380 В с группой соединения «звезда» / «звезда с нулевой точкой». Испытания проводились при питании от основного внутреннего источника электроэнергии корабля мощностью 1250 кВА, напряжением 400 В (Д1), установленная мощность нелинейной нагрузки (преобразователя частоты с неуправляемым выпрямителем) была равна 750 кВА. АФГ был испытан в следующих режимах:

- компенсации реактивной мощности индуктивного характера;
- поддержания коэффициента мощности индуктивного характера на уровне 0,95;
- компенсации индивидуально выбранных высших гармонических составляющих тока;

ФОРМА КРИВЫХ НАПРЯЖЕНИЯ И ТОКА В ТОЧКЕ ПРИСОЕДИНЕНИЯ АФГ-100: А) С КОМПЕНСАЦИЕЙ ВГС ПРИ ВКЛЮЧЕННОМ АФГ-100; Б) БЕЗ КОМПЕНСАЦИИ ВГС

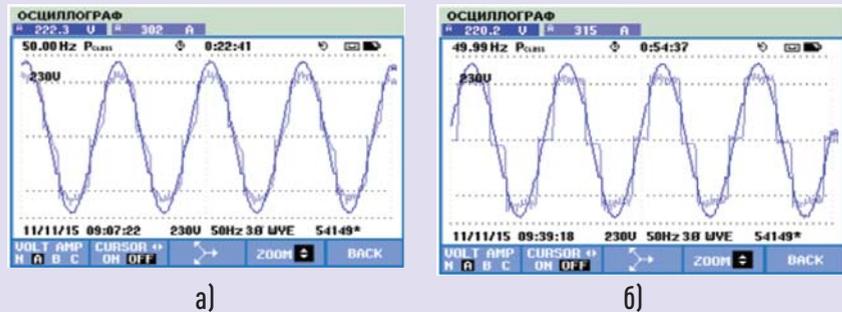


Рис. 6

– одновременной компенсации реактивной мощности и высших гармонических составляющих тока.

Схема подключения АФГ-25 к сети корабля через разделительный трансформатор показана на рис. 7. На рис. 8 представлен результат работы АФГ-25 в сети электроснабжения МГС «Вайгач» до (а) и после (б) включения АФГ в режим компенсации 3-й, 5-й, 11-й гармоник тока при частоте вращения гребного вала 50 об./мин.

Анализ результатов показывает, что форма тока при компенсации активным фильтром 3-й, 5-й, 11-й ВГС через разделительный трансформатор приближается к синусоидальной форме даже при незначительной мощности фильтра по отношению к мощности несинусоидальной нагрузки. Средний THDI уменьшается с 30,56 % до 22,7 %. Компенсация ВГС из-за конструктивной особенности стандартного разделительного трансформатора и мощности опытного образца была выполнена не в полном объеме (трансформатор

не пропускает ВГС тока выше 11-й гармоники, преобразуя их в потери в сердечнике). Однако испытания однозначно подтвердили целесообразность применения средств динамической фильтрации ВГС в составе СЭЭС.

СРАВНИТЕЛЬНЫЕ ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ АФГ

Для анализа технико-экономических показателей активного фильтра гармоник (АФГ-25-400-4 и АФГ-100-400-4) было проведено его сравнение с разработками мировых лидеров в данной области техники; результат приведен в табл. 3 на с. 34.

Несмотря на многообразие АФГ, выпускаемых основными мировыми производителями этих устройств, существует ограниченный перечень основных, общих для всех АФГ свойств и функций, определяющих

их технический уровень. Значительных различий у фильтров разных производителей не наблюдается, но основное состоит в компоновке и внешнем виде этих устройств.

В АФГ существуют два режима компенсации гармоник: комплексный и селективный. В комплексном режиме компенсируются все гармоники до 50-й, включая гармоники, кратные трем. В селективном режиме выборочно компенсируются гармоники от 2-й до 50-й. Все производители АФГ, как правило, в технических характеристиках показывают данные по изменению тока компенсации для отдельных гармоник, хотя могут давать уровень компенсации только в комплексном режиме. При этом для разработанного авторами АФГ изменения тока компенсации гармоник в зависимости от их номера не происходит.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

На сегодняшний день в составе оборудования энергоснабжающих организаций не предусмотрено средств, обеспечивающих в автоматическом режиме требуемого уровня содержания высших гармонических составляющих и позволяющих симметризовать нагрузки потребителей. В связи с этим обостряется проблема негативного взаимовлияния технических средств.

Отсутствие средств по обеспечению качества электропитания и увеличение доли потребителей с повышенной помехоэмиссией приводят к выходу из строя дорогостоящего оборудования, сбоям в работе оборудования связи и управления, снижению устойчивости работы генераторов автономных энергосистем.

Вышеперечисленное ослабляет энергетическую безопасность потребителей электроэнергии.

СХЕМА ПОДКЛЮЧЕНИЯ АФГ-25 В СЕТИ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ МГС «ВАЙГАЧ» ЧЕРЕЗ РАЗДЕЛИТЕЛЬНЫЙ ТРАНСФОРМАТОР

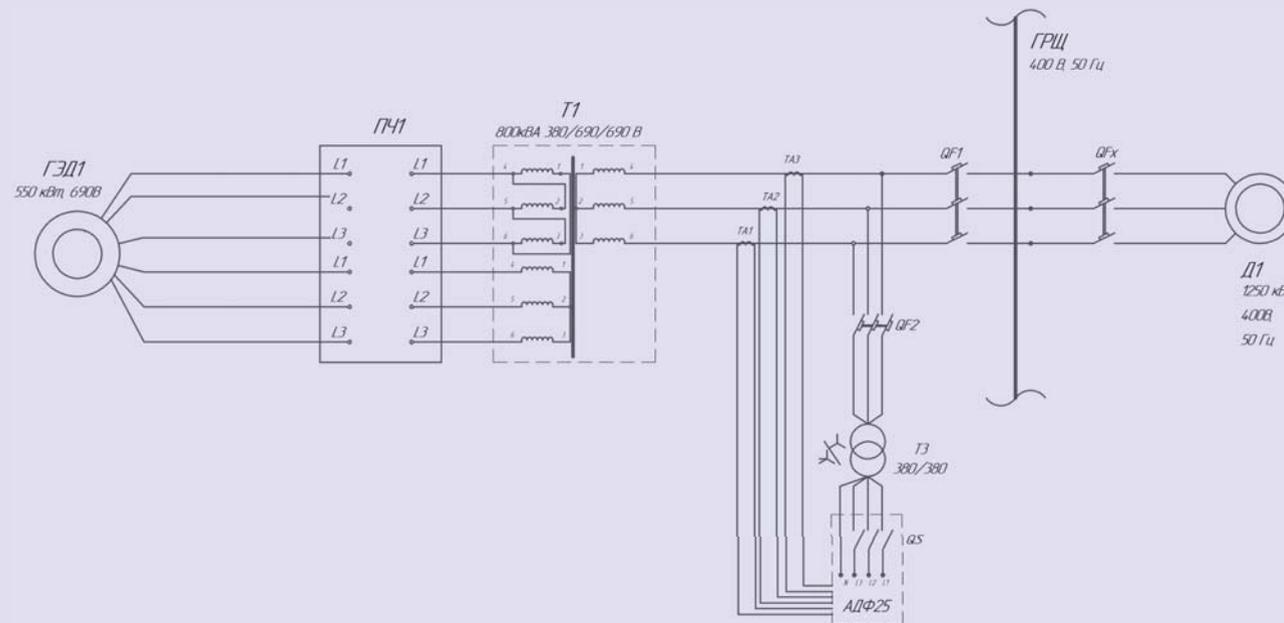


Рис. 7

УЛУЧШЕНИЕ ФОРМЫ КРИВОЙ ТОКА ПРИ РАБОТЕ АФГ-25-400-4 В СЕТИ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ МГС «ВАЙГАЧ»: А) БЕЗ КОМПЕНСАЦИИ ВГС; Б) С КОМПЕНСАЦИЕЙ 3, 5, 11 ВГС

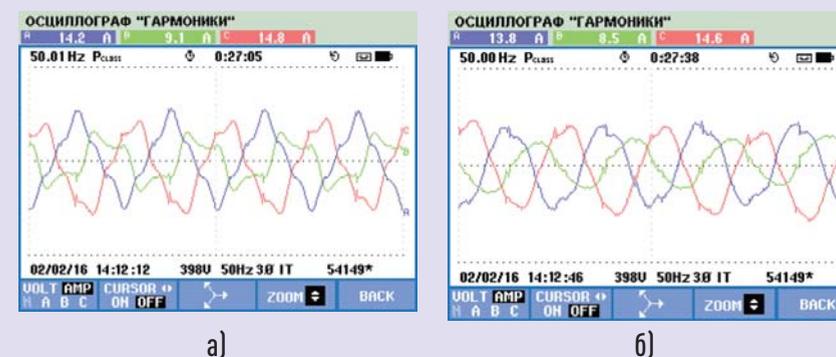


Рис. 8

Предлагается в обязательном порядке включать в состав оборудования потребителей средства для поддержания качества электроэнергии в соответствии с действующими нормативными документами [10]:

- средства компенсации высших гармонических составляющих тока;
- средства быстрой компенсации реактивной мощности емкостного и индуктивного характера;
- средства, устраняющие несимметрию тока, потребляемого от источника энергии;

Главной особенностью разработанного активного фильтра гармоник является направленность на импортозамещение. АФГ от начала до конца, включая программное обеспечение и алгоритмы работы, создан отечественными специалистами на российском предприятии.

СРАВНЕНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК АФГ ЗАРУБЕЖНЫХ ПРОИЗВОДИТЕЛЕЙ И АФГ РОССИЙСКОГО ПРОИЗВОДСТВА

Наименование	АФГ	PFQS	MaxSine	StacoSine	ICUVOC 50	ECOsine Active
Производитель	«Энергия-Т»	ABB	Nokian Capacitors	Staco Energy Products Co	Max Fuss GmbH&Co KG	Schaffner Group
Номинальный компенсируемый фазный ток, А	25, 100	30, 45, 60, 70, 80, 90, 100	25, 50, 100	25, 50, 100, 150, 200	50	30–300
Средняя частота коммутации, кГц	20	—	10	20	6,6	16
Компенсируемые гармоники тока	до 50-й включительно	до 50-й включительно	до 50-й включительно	до 51-й включительно	до 31-й	до 50-й включительно
Компенсация реактивной мощности по коэффициенту мощности	до 1,0 включительно	от 0,6 (инд.) до 0,6 (емк.)	до 1,0 включительно	до 1,0 включительно	—	до 1,0 включительно
Уровень шума, dB	60	—	60	63	65	65
Рассеиваемая мощность, %	до 3,0	до 3,0	до 3,0	—	—	—
Опция параллельной работы	да	да	—	да	да	да
Температура окружающей среды, °С	-25/+40	-10/+40	0/+40	0/+40	+5/+40	0/+40
Класс защиты	IP51	IP30	IP21	IP21	IP20	IP20 — IP54
Размеры, ШxГxB, мм	600x335x805 (25 A)	588x326x795 (30 A)	600x600x1200 (50 A)	409x389x880 (50 A)	400x480x480	360x590x290 (50 A)
Вес, кг	57	130	150 (50 A)	154 (50 A)	49	70 (50 A)

Таблица 3

АФГ на этапе опытной эксплуатации и подготовки серийного производства успешно функционировали в составе систем электропитания, включая автономные, улучшая показатели качества электроэнергии в точке их подключения.

ЛИТЕРАТУРА

1. ГОСТ 32144-2013. Электрическая энергия. Совместимость технических средств электромагнитная. Нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения.
2. НД 2-020101-072 Правила классификации и постройки морских судов. Т. 2. Российский морской регистр судоходства, 2013.
3. Сергиенко Л.И., Миронов В.В. Электроэнерге-

тические системы морских судов: Учебник для мореход. училищ. М.: Транспорт, 1991.

4. Жиленков А.А., Седаков И.А. Анализ влияния тиристорных выпрямителей электродвигательного комплекса судна на электроэнергетическую систему // Вестник НТУ «ХПИ». 2012. № 50 (956). С. 116–119.
5. Сербин Ю.В., Замула К.В., Соколов Ю.В., Панасюк В.Н. Особенности устройства образцов средств улучшения качества электроэнергии отечественного производства для систем автономного электроснабжения. Теоретические и прикладные проблемы развития систем внутреннего и автономного электроснабжения специальных объектов // Сборник докладов Всероссийской научно-практической конференции. ВА РВСН, 2015, с. 129–138.
6. Сербин Ю.В., Замула К.В., Соколов Ю.В., Панасюк В.Н. Результаты испытаний образцов средств улучшения качества электроэнергии отечественного производства для систем

автономного электроснабжения. Теоретические и прикладные проблемы развития систем внутреннего и автономного электроснабжения специальных объектов // Сборник докладов Всероссийской научно-практической конференции. ВА РВСН, 2015, с. 138–145.

7. Правила устройства электроустановок. Минэнерго РФ, Изд. 7. 2002.
8. Железко Ю.С. Потери электроэнергии. Реактивная мощность. Качество электроэнергии: Руководство для практических расчетов. М.: ЗНАС, 2009.
9. Жежеленко И.В. Высшие гармоники в системах электроснабжения промпредприятий. 4-е изд., перераб. и доп. М.: Энергоиздат, 2000.
10. ГОСТ Р 51317.3.4-2006 (МЭК 61000-3-4-1998) Совместимость технических средств электромагнитная. Ограничение эмиссии гармонических составляющих тока техническими средствами с потребляемым током более 16 А, подключаемыми к низковольтным системам электроснабжения. Нормы и методы испытаний.

КОМПЛЕКСНЫЙ ПОДХОД К УПРАВЛЕНИЮ ЭЛЕКТРОПОТРЕБЛЕНИЕМ ПРОМЫШЛЕННЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ

На правах рекламы

АВТОР:

АО «РТСОФТ»

Одной из актуальных задач современного производства является снижение затрат на закупку электроэнергии. Российские предприятия несут большие потери энергоресурсов из-за плохо отлаженной системы учета, низкой оснащенности приборами

учета, проблем с коммуникациями на территориально распределенных предприятиях и ряда других факторов. Учитывая появление новых тарифных схем и форм реализации электроэнергии, необходимо поменять свой взгляд на управление электропотреблением на всем предприятии.

В основе решения проблемы — создание комплексной системы энергоменеджмента, которая учитывает не только объективные факторы, но и ожидания заказчика. Это и оформление коммерческой границы с поставщиком, и возможность выхода на оптовый рынок, и получение инструмента для оперативного контроля и автоматизации отчетности. Система должна оптимизировать энергозатраты как на основе общей модели энергопотребления предприятия, так и на единицу выпускаемой продукции, охватывая технологические процессы разного временного масштаба.

При решении задач повышения энергоэффективности важно руководствоваться методологией UNIDO, разработанной на основании требований ISO 50001:2012 и соответствующей требованиям национального стандарта ГОСТ Р ИСО 50001-2012. Начинать работу можно буквально со счетов за энергоресурсы,

но для реализации всего потенциала экономии необходимо иметь информационно-измерительные системы (АСКУЭ, АСТУЭ, АСТУЭР).

Компания «РТСофт» развивает направление энергоменеджмента и предлагает своим заказчикам продукты для повышения энергоэффективности их предприятий. Например, ИСУ ССОИ в двух вариантах исполнения: на базе ПО западных партнеров WW System Platform для крупных корпоративных заказчиков и TagNet (более бюджетный вариант, на базе собственных продуктов). Такой подход позволяет конфигурировать функциональные возможности системы под конкретные потребности заказчика.

Разработка информационно-управляющей системы AMIGO разработки АО «РТСофт» направлена на оптимизацию затрат на электроснабжение, которая достигается за счет обеспечения управляемого сни-

жения потребления и уменьшения затрат на закупку электроэнергии. С помощью AMIGO можно управлять различными элементами локальной энергосистемы: накопителями энергии, интегральными нагрузками (вентиляция, кондиционирование, газо- и дымоудаление), собственной генерацией, обеспечивая контроль потребления энергии из внешней энергосистемы.

Еще одним полезным инструментом является решение Protection Suite, которое служит для выбора уставок и анализа работы РЗА энергосистем и больших энергообъединений, включая моделирование несимметричных сетей AC/DC любого фазного исполнения.

 | ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЕ СИСТЕМЫ И СРЕДСТВА АВТОМАТИЗАЦИИ

АО «РТСофт»
www.rtsoft.ru
info@rtsoft.ru