

КОМПЕНСАЦИЯ ВЫСШИХ ГАРМОНИК И РЕАКТИВНОЙ МОЩНОСТИ НА СПБУ «АРКТИЧЕСКАЯ»

&

Широкое применение статических преобразователей улучшило тактико-технические характеристики судовых электроустановок, но создало дополнительные сложности в обеспечении надежности, электромагнитной совместимости, компенсации балластной мощности. В ответ на эти запросы промышленность создает новое оборудование, а специалисты Инженерного центра «АРТ» разрабатывают решения автоматизированных систем на базе технологии частотного регулирования.

Игорь ЗОБОВ, к.т.н., Александр МЕЛЕНТЬЕВ, Николай СПЕШИЛОВ,
ООО «Инженерный центр «Автоматизация ресурсосберегающих технологий»

В чем проблема?

04
2017

Преобразователи частоты, неуправляемые и управляемые выпрямители, тиристорные регуляторы напряжения являются нелинейными электроприемниками (форма потребляемого тока не повторяет в точности форму напряжения и не является синусоидальной). Несинусоидальный ток может быть представлен геометрической суммой токов высших гармоник различной частоты. Токи высших гармоник в электроприводах не развивают полезной механической мощности, но создают дополнительные потери в генераторах, трансформаторах, кабелях и коммутационных аппаратах и пр.

С токами высших гармоник связаны высшие гармоники напряжения, величина которых при прочих равных условиях тем больше, чем выше внутреннее сопротивление источника. Источниками электроэнер-

гии в судовых электроустановках являются генераторы, у которых внутреннее сопротивление достаточно высоко, а суммарная установленная мощность преобразователей зачастую соизмерима с мощностью источников. Это усугубляет проблемы, вызываемые высшими гармониками напряжения. Особую опасность представляет резонанс напряжений на частотах высших гармоник, возникающий из-за емкости длинных кабелей и других емкостных нагрузок. В некоторых случаях искажения напряжения в судовой сети приводит к нарушениям связи, ложным срабатываниям систем защиты и сигнализации и пр.

Нелинейные электроприемники наряду с высшими гармониками обуславливают появление балластной (реактивной) мощности. Наибольшие проблемы возникают при использовании управляемых выпрямителей, которые применяются как самостоятельно, так и в составе

электроприводов. В последнем случае регулирование скорости привода вниз от номинальной сопровождается уменьшением коэффициента мощности. Для источника электроэнергии (судовой электростанции) это означает увеличение загрузки генератора реактивным током, что препятствует передаче активной мощности от первичного двигателя (дизеля, турбины и др.) в сеть.

Все вышеизложенное относится к электроустановкам самоподъемной плавучей буровой установки «Арктическая» СПБУ 6500/100 проекта 15402М.

Основная проблема заключалась в ограничении производительности бурового комплекса из-за перегрузки генераторов по току. Перегрузка происходила из-за большого реактивного тока, при этом дизели были недогружены по моменту, имели значительный запас по мощности, но не могли ее передать в сеть. Источники реактивного тока — электроприводы буровых

насосов, буровой лебедки и системы верхнего привода (СВП) с двигателями постоянного тока (номинальной мощностью по 800 кВт) и трехфазными управляемыми выпрямителями (напряжение питания 690 В).

На рис. 1 показаны электрические параметры генератора в режиме спуско-подъемных операций. Коэффициент мощности на шинах источника — 0,37. При активной мощности 744 кВт реактивная мощность составляет 1748 квар. Генератор загружен по току почти до номинального значения (2000 А), при этом дизель работает на 35-40% от номинальной мощности.

Перегрузка генераторов приводит к ограничению скорости бурения, спуско-подъемных операций и создает риски отключения аппаратов защиты.

Кроме того, в системе электроснабжения резко проявлялись высшие гармоники. Суммарный коэффициент гармонических составляющих напряжения K_u (или THDu в англоязычной литературе) достигал 20%. Это представляло опасность для ответственных судовых потребителей.

Традиционными средствами повышения коэффициента мощности являются «косинусные» конденсаторы, а для компенсации высших гармоник обычно используются пассивные фильтры (дрессели или более сложные изделия с катушками индуктивности и конденсаторами). На СПБУ «Арктическая», как и во многих других судовых электроустановках, их применение сопряжено с рядом трудностей.

Активная, реактивная и полная мощность при работе электроприводов бурового комплекса быстро изменяется (пример суточного графика нагрузки на рис. 2).

В этих условиях для выравнивания коэффициента мощности потребовалось бы постоянно переключать секции конденсаторных батарей, что снижает надежность электроустановки. При недостаточной скорости переключения секций возможен «заброс» реактивной мощности емкостного характера на шины генераторов и отключение электростанции. Кроме того, конденсаторная установка



РИС. 1. ПАРАМЕТРЫ ГЕНЕРАТОРА СУДОВОЙ ЭЛЕКТРОСТАНЦИИ ПРИ РАБОТЕ ПРИВОДОВ ПОСТОЯННОГО ТОКА С УПРАВЛЯЕМЫМИ ВЫПРЯМИТЕЛЯМИ

при подключении параллельно входу тиристорного выпрямителя вынуждена работать с высоким уровнем высших гармоник по напряжению. Это вызывает рост токов высших гармоник через конденсаторы, их дополнительный нагрев и преждевременный выход из строя.

Компенсация нелинейных искажений пассивными фильтрами также недостаточно эффективна из-за большого внутреннего сопротивления источников и резко переменного характера нагрузок. На долевых режимах LC-фильтры гармоник оказываются дополнительными источниками реактивной мощности емкостного характера,

которая при определенной величине вызывает срабатывание защит генераторов.

Альтернативное решение

Альтернативным решением для СПБУ «Арктическая» и подобных судовых электроустановок является применение активных фильтров. Активные динамические фильтры (АДФ) могут компенсировать реактивную мощность как индуктивного, так и емкостного характера. Они обладают очень высоким быстродействием, что позволяет поддерживать заданный коэффициент мощности в любых режимах работы. Допол-

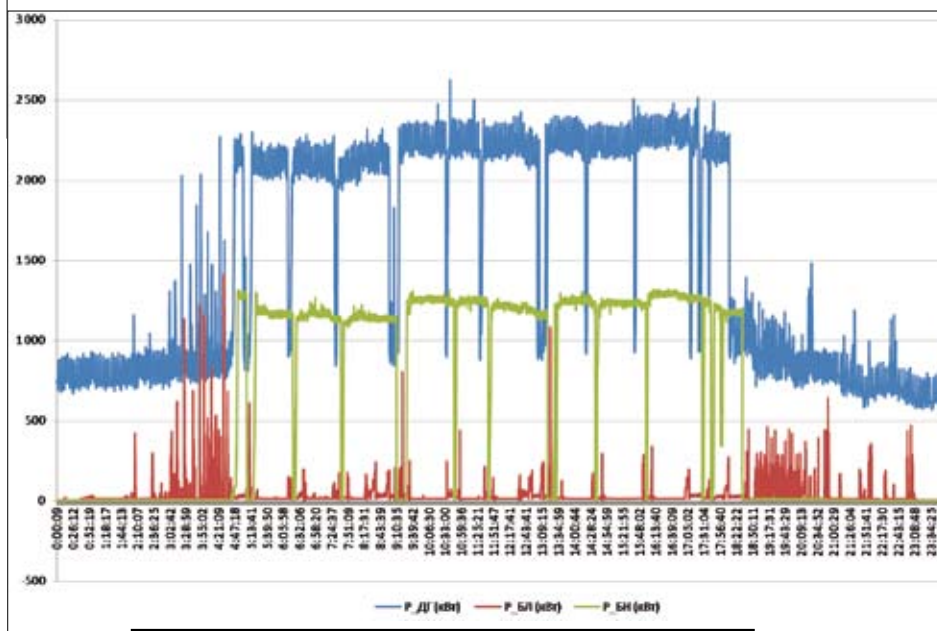


РИС. 2. СУТОЧНЫЙ ГРАФИК НАГРУЗКИ СУДОВОЙ ЭЛЕКТРОСТАНЦИИ ПРИ БУРЕНИИ ВИНТОВЫМ ЗАБОЙНЫМ ДВИГАТЕЛЕМ

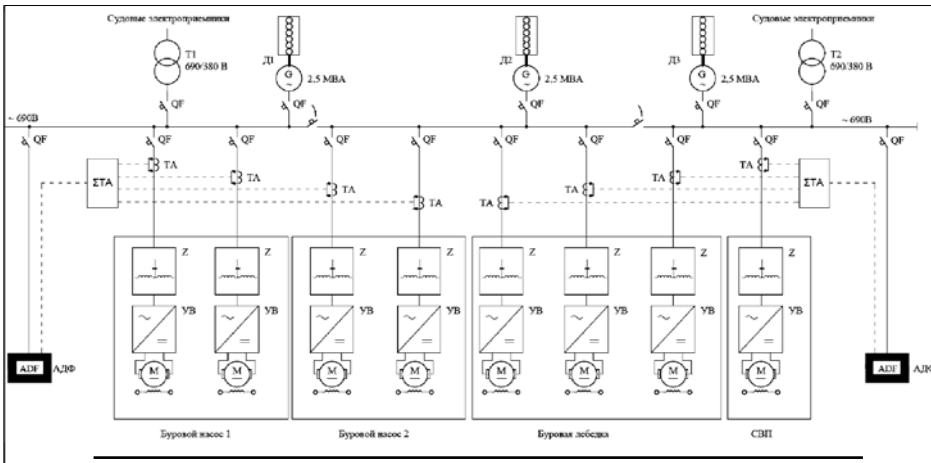


РИС. 3. СТРУКТУРА СИСТЕМЫ ДИНАМИЧЕСКОЙ КОМПЕНСАЦИИ ВЫСШИХ ГАРМОНИК И РЕАКТИВНОЙ МОЩНОСТИ НА БУРОВОЙ ПЛАТФОРМЕ «АРКТИЧЕСКАЯ»

нительное достоинство активных фильтров — их способность компенсировать высшие гармоники и реактивную мощность одновременно.

Активный фильтр по принципу действия аналогичен автономному инвертору напряжения на биполярных транзисторах с изолированным затвором (IGBT). Микропроцессорная система управления обеспечивает генерирование в сеть токов требуемой частоты, амплитуды и фазы. Это приводит к снижению до заданного уровня искажений напряжения и потребляемой из сети балластной мощности.

Силовыми кабелями фильтр включается параллельно нагрузке. Ток нагрузки не протекает через фильтр и не создает потерь. В случае сбоя/неисправности активный фильтр останавливается собственной защитой и в дальнейшем не влияет на работу электроустановки.

Активные фильтры компенси-

руют высшие гармоники до 49-го порядка включительно, при этом пользователь может произвольно выбирать требуемую степень компенсации по каждой гармонике. Это оптимизирует ресурсы фильтров и снижает стоимость оборудования.

Упрощенная схема системы динамической компенсации (СДК), предложенной Инженерным центром «АРТ» для СПБУ «Арктическая» и реализованной совместно с ООО «Северная гавань», показана на рис. 3.

16 активных фильтров объединены в две группы. Одна из них отвечает за приводы буровых насосов, вторая — за лебедку и СВП (рис. 4, 5).

Координация работы фильтров осуществляется системой управления, пост оператора которой расположен на панели главного распределительного щита (рис. 6, 7).

В составе СДК установлен измерительный комплекс для контроля параметров работы электростанции (суммарные нагрузки по трем дизель-генераторам, коэффициент гармонических составляющих тока и напряжения и др.). Это позволяет с поста оператора одновременно наблюдать за текущими параметрами активных фильтров и источника электроэнергии.

На графическую панель поста оператора выводятся переменные (ток, напряжение, мощность, кф. мощности, кф. нелинейных искажений и др.) по каждой группе приводов и по электростанции в целом. Данные мониторинга сохраняются в памяти панели и легко переносятся на компьютер для последующей обработки. С помощью дополнительного VPN-маршрутизатора обеспечивается удаленный доступ к системе.

Все операции по наладке системы динамической компенсации выполняются с графической панели фильтра (рис. 8) либо через стандартный web-интерфейс. Посредством web-интерфейса можно включать и отключать фильтры, запускать процесс диагностики, изменять уставки защиты и параметры компенсации, контролировать форму кривых тока компенсации, линейных токов и напряжений, выводить на экран векторную диаграмму с фазовыми углами и действующими значениями линейных напряжений и токов и др. (рис. 9).

Эффект от работы активных фильтров при компенсации реактивной мощности на СПБУ «Аркти-



РИС. 4. ГРУППА АКТИВНЫХ ФИЛЬТРОВ, РАБОТАЮЩАЯ С ПРИВОДАМИ БУРОВЫХ НАСОСОВ



РИС. 5. ГРУППА АКТИВНЫХ ФИЛЬТРОВ, РАБОТАЮЩАЯ С ПРИВОДАМИ ЛЕБЕДКИ И СВП

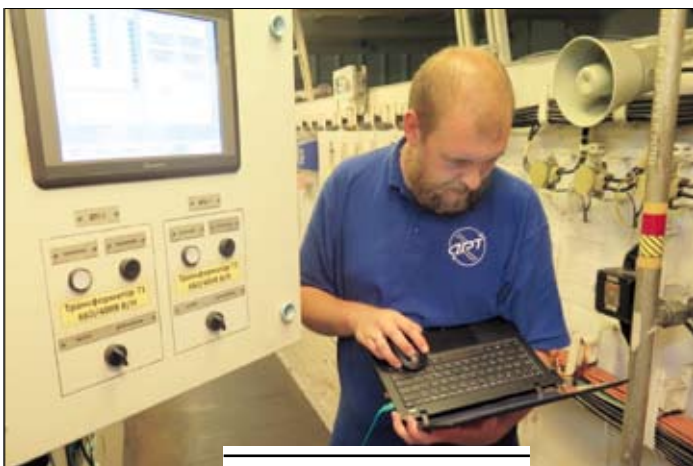


РИС. 6. ПОСТ ОПЕРАТОРА СДК



РИС. 7. ГЛАВНЫЙ РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫЙ ЩИТ

ческая» иллюстрируется приведенными ниже графиками переходных процессов.

С включением приводов лебедки под нагрузку (рис. 10) их суммарный ток увеличивается на 700-750 А. Суммарный ток генераторов при этом возрастает лишь на 200-250 А. Соответственно, 450-500 А полного тока в динамическом режиме компенсируется группой активных фильтров.

При работе буровых насосов кратковременное отключение группы активных фильтров приводит к росту тока генераторов на 450 А. Последующее включение фильтров снижает ток генераторов до первоначального значения (рис. 11).

Группы фильтров буровых насосов, буровой лебедки и системы верхнего привода работают независимо друг от друга. Например, при промывке скважины приводы буровой лебедки обычно отключены. При спуско-подъемных операциях, напротив, могут быть остановлены

буровые насосы. В режимах турбинного бурения в общем случае работают все приводы и, соответственно, обе группы активных фильтров. При этом полный ток двух генераторов уменьшается за счет фильтров примерно на 1000 А, что «эквивалентно» появлению в составе судовой электростанции дополнительного дизель-генератора мощностью 1 МВт (при напряжении 690 В).

Активные фильтры отлично справляются с задачей компенсации высших гармоник. На рис. 12 показана форма напряжения на шинах генераторов (690 В) до включения фильтров ($THDu = 13\%$); на рис. 13 – после включения фильтров ($THDu = 4\%$).

Таким образом, применение активных фильтров на СПБУ «Арктическая» решает одновременно задачи разгрузки источников от реактивного тока и устранения вредного влияния высших гармоник на работу

оборудования. Это позволяет более полно использовать установленную мощность дизель-генераторов, повысить надежность электроустановки и в результате – сократить непроизводительное время в бурении.

Выводы

Реализованная на СПБУ «Арктическая» система динамической компенсации имеет универсальную структуру, «подходящую» для большого количества применений.

Мощность (или ток компенсации) легко увеличивается или уменьшается изменением количества параллельно включенных силовых модулей АДФ.

Номинальное напряжение системы компенсации может быть 690 В, 400 В или 230 В (трехфазное) в зависимости от типа фильтра. Соответствующий трансформатор позволяет включать фильтры на присоединения выше 1000 В.



РИС. 8. НАСТРОЙКА АКТИВНЫХ ФИЛЬТРОВ С ПАНЕЛИ МЕСТНОГО УПРАВЛЕНИЯ

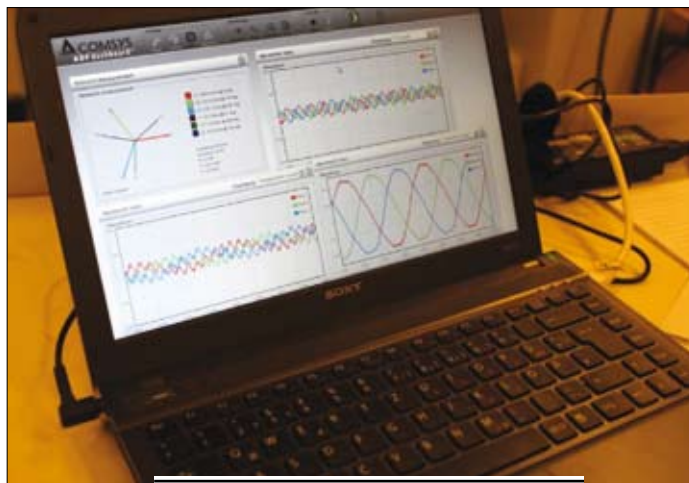


РИС. 9. WEB-ИНТЕРФЕЙС АКТИВНОГО ФИЛЬТРА



РИС. 10. ИЗМЕНЕНИЯ ТОКОВ ПРИ ВКЛЮЧЕНИИ ПРИВОДОВ ЛЕБЕДКИ

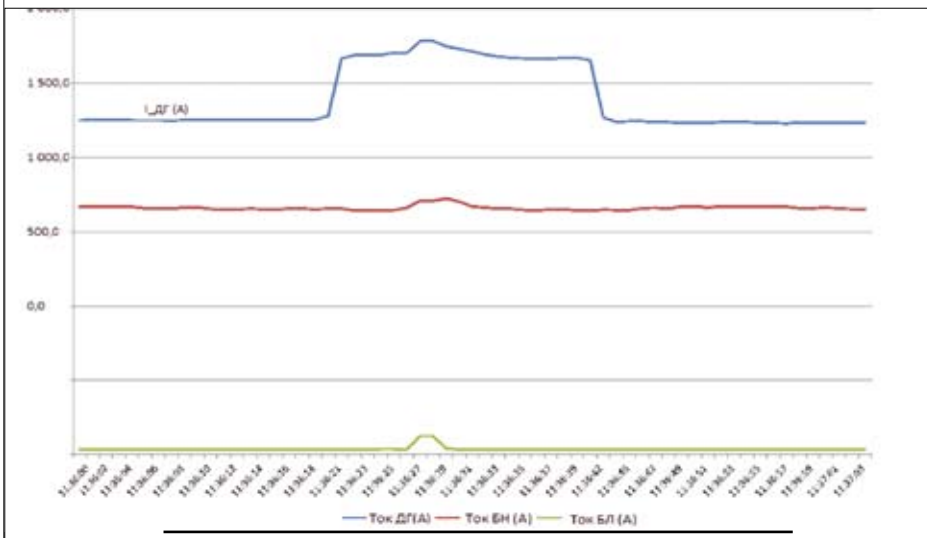


РИС. 11. ИЗМЕНЕНИЕ ТОКОВ ПРИ КРАТКОВРЕМЕННОМ ОТКЛЮЧЕНИИ АДФ БУРОВЫХ НАСОСОВ

Решаемые фильтрами задачи учитываются в процессе наладки. Настройкой АДФ обеспечивается компенсация:

- высших гармоник любого порядка вплоть до 49-го;
- реактивной мощности индуктивного характера;

- реактивной мощности емкостного характера;
- несимметрии и фликера и др.

Интерфейс оператора системы динамической компенсации адаптируется к требованиям пользователя корректировкой программного обеспечения операторской панели. Во многих случаях такая панель не нужна вовсе, и интерфейс обеспечивается графической панелью самого фильтра.

Компоновка силового оборудования системы компенсации на судне облегчается модульной конструкцией фильтров. При необходимости блок питания и управления АДФ монтируется отдельно от силового модуля, что уменьшает вертикальный размер фильтра. При использовании фильтров с водяным охлаждением возможности нестандартных компоновок расширяются.

Таким образом, системы динамической компенсации на базе активных фильтров могут широко применяться как при строительстве новых судов, так и при эксплуатации существующих, предоставляя флотским энергетикам широкие возможности для решения их профессиональных задач. **МФ**

ООО «Инженерный центр «Автоматизация ресурсосберегающих технологий»

Россия, Санкт-Петербург,
ул. Таллинская, д. 7а
+ 7 (812)445 24 22
+ 7 (812)445 23 47
E-mail: office@ic-art.ru
<http://www.ic-art.ru>



РИС. 12. ФОРМА НАПЯЖЕНИЯ НА ШИНАХ ГЕНЕРАТОРОВ ДО ВКЛЮЧЕНИЯ ФИЛЬТРОВ

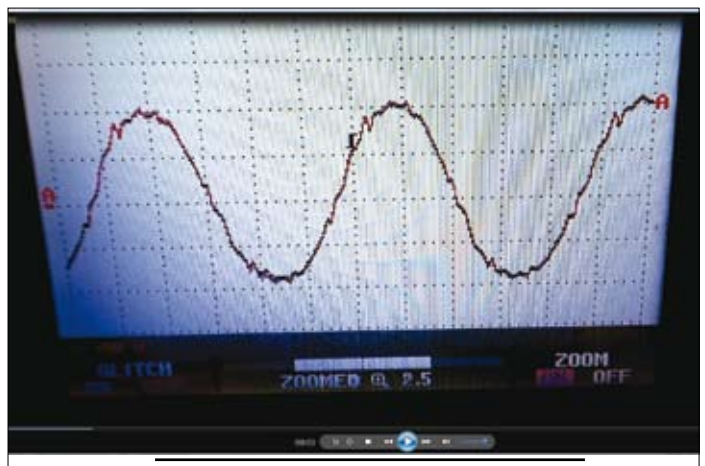


РИС. 13. ФОРМА НАПЯЖЕНИЯ НА ШИНАХ ГЕНЕРАТОРОВ ПОСЛЕ ВКЛЮЧЕНИЯ ФИЛЬТРОВ