

АКТИВНЫЙ ФИЛЬТР ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОГО ТИПА ДЛЯ КОМПЕНСАЦИИ ВОЗДЕЙСТВИЙ ПЕРИОДИЧЕСКОЙ НАГРУЗКИ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЕЙ

А.В. Вынгра, С.Г. Черный, А.С. Соболев (Керчь)

Как правило, современные энергетические системы на большинстве судов вынуждены работать в крайне сложной электромагнитной среде, по большей части из-за весьма ограниченных мощностей системы, вырабатывающей электроэнергию. Такое явление обусловлено присутствием оборудования, работающего в режиме с крайне резко изменяемой нагрузкой, на судах современного флота. Вторым весомым фактором является воздействие работы токоведущего оборудования на общую электромагнитную среду. Их работа приводит к генерации высших гармоник, чей уровень имеет большое отклонение от нормативов, регламентированных ГОСТ 32144 [1], ГОСТ 30804.4.7 [2] и Правилами классификации и постройки морских судов [3].

Наличие всех этих условий неизбежно приводит к неподконтрольным изменениям формы, а также непосредственно величины напряжения, питающего потребителя. Такое негативное воздействие на параметр качества электрической энергии в судовой энергетической системе, приводит к неизбежному сокращению срока службы всего оборудования. Как следствие появляются значительные потери в потребителях и токоведущих узлах, это неизбежно приводит к повышенному расходу топлива.

Одним из основных способов уменьшения гармонических составляющих электрической сети является применение различных фильтров. Активные фильтры нашли повсеместное применение в электронных устройствах, где требуется качество электроэнергии для широкого уровня мощностей. Они позволяют компенсировать искажения тока нагрузки таким образом, чтобы на нагрузку подавался ток синусоидальной формой с наименьшим уровнем гармонических искажений.

В настоящее время предложены несколько решений проблемы качества электроэнергии. В отличие от пассивных фильтров, современные активные фильтры мощности выполняют несколько функций: фильтрация гармоник, демпфирование, изоляция и согласование, управление реактивной мощностью для коррекции коэффициента мощности и регулирования напряжения, балансировки нагрузки, уменьшения фликера напряжения и их комбинаций.

В [4] автор рассматривает общие активные фильтры для регулирования мощности, показывая, что их можно разделить в зависимости от конфигурации и подключения на три основные категории: параллельные, последовательные и гибридные. Параллельные фильтры активной мощности компенсируют гармонический ток из-за нелинейных нагрузок путем подачи равной, но противоположной величины тока, называемого компенсационным током в точке общего соединения, как показано на рисунке 1, и этот принцип называется активной компенсацией.

В последние десятилетия использование активных фильтров увеличилось благодаря технологическому прогрессу в силовых электронных устройствах.

Опубликовано много статей, касающихся методов управления активными фильтрами, с большой тенденцией к использованию искусственного интеллекта, включая контроллеры с нечеткой логикой и машинное обучение.

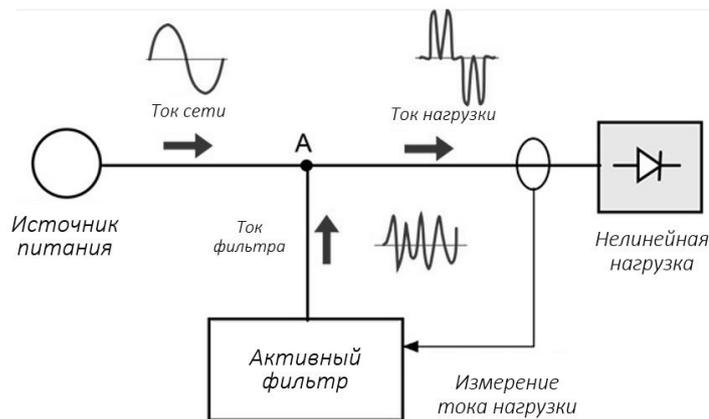


Рисунок 1 – Структурная схема активного фильтра

Среди этих методов управления так же учитывается метод прямого управления мощностью, который был предложен в [5], заключающийся в использовании значений мгновенной активной и реактивной мощности в качестве управляющих переменных вместо мгновенных трехфазных токов. В настоящее время этот метод стал одним из наиболее широко используемых алгоритмов управления преобразователями мощности и активными фильтрами.

Проектирование и сборка устройства

В настоящей работе производится проектирование и сборка трехфазного силового активного фильтра для систем электроприводов с периодической нагрузкой на валу. На рисунке 2 приведена структурная схема предложенного устройства подавления гармонических искажений. Особенностью данного решения является применение драйвера на оптопарах, обеспечивающего гальваническую развязку силовой части и схемы управления. Блоки питания фильтра, цепи управления и гальванической развязки получают питание от одной фазы трехфазной сети. Это упрощает проектируемую схему и повышает ее надежность.

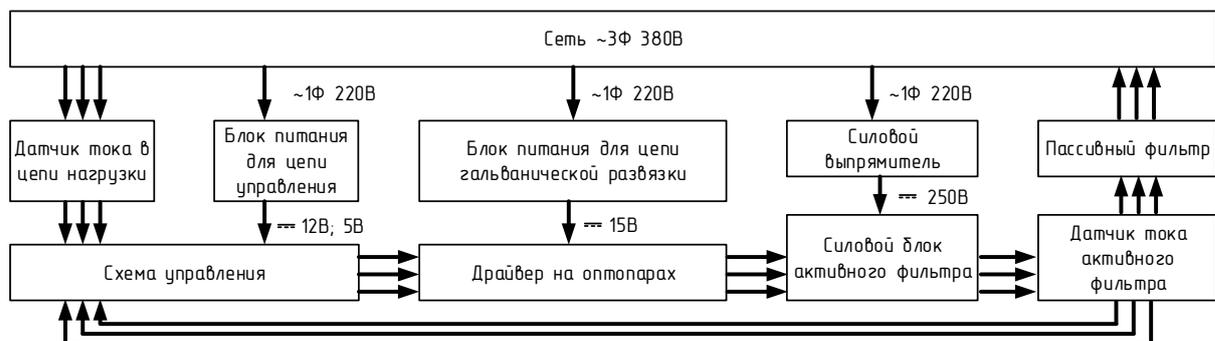


Рисунок 2 – Структурная схема активного фильтра

Мощность разрабатываемого устройства зависит от мощности привода, в цепь питания которого оно подключается. По экспериментальным данным выявлено [6], что гармонические токи при периодической нагрузке на валу не превышают 10% от номинальной мощности электродвигателя.

Силовой блок активного фильтра реализуется на MOSFET транзисторах, собранных по схеме инверторного моста (рис. 3). Питание моста производится с силового выпрямителя. Данный блок активного фильтра съемный и может варьироваться номиналами компонентов в зависимости от мощности активного фильтра (при увеличении мощности может производиться замена силового блока на

IGBT – транзисторы). На выходе силового блока устанавливается внешний пассивный фильтр, сглаживающий высокочастотные импульсы инверторного моста. Его мощность также варьируется в зависимости от мощности фильтра.

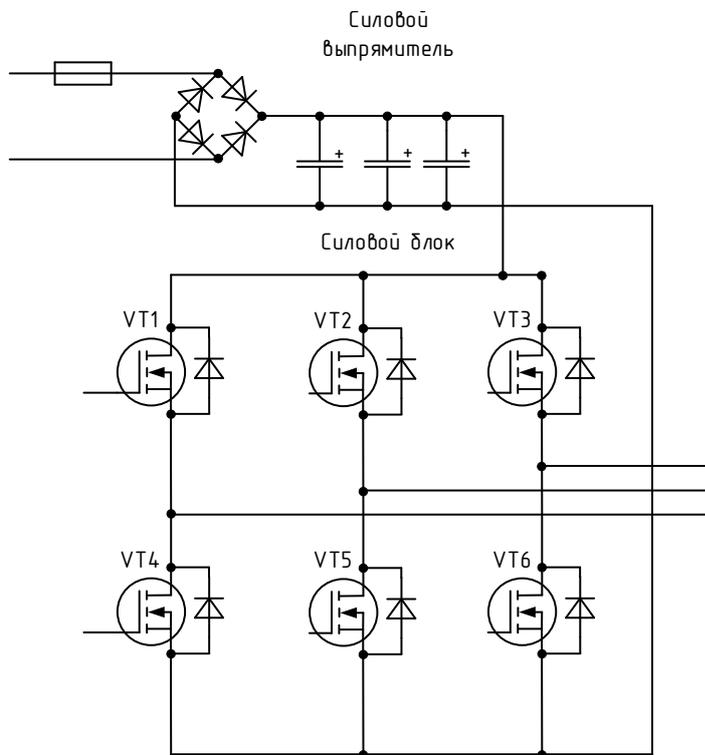


Рисунок 3 – Схема силового блока активного фильтра

Схема управления приведена на рисунке 4. Основным программируемым контроллером выступает плата STM32F4 DISCOVERY, позволяющая генерировать ШИМ сигнал с частотой до 30 кГц. В качестве гальванической развязки выступает силовая оптопара HCPL-3120. Минусом разработанной компоновки устройства является необходимость в различных уровнях питающего напряжения для микропроцессора, управляющих выводов и оптопары. Поэтому в устройстве используются два блока питания – цепи управления и цепи гальванической развязки.

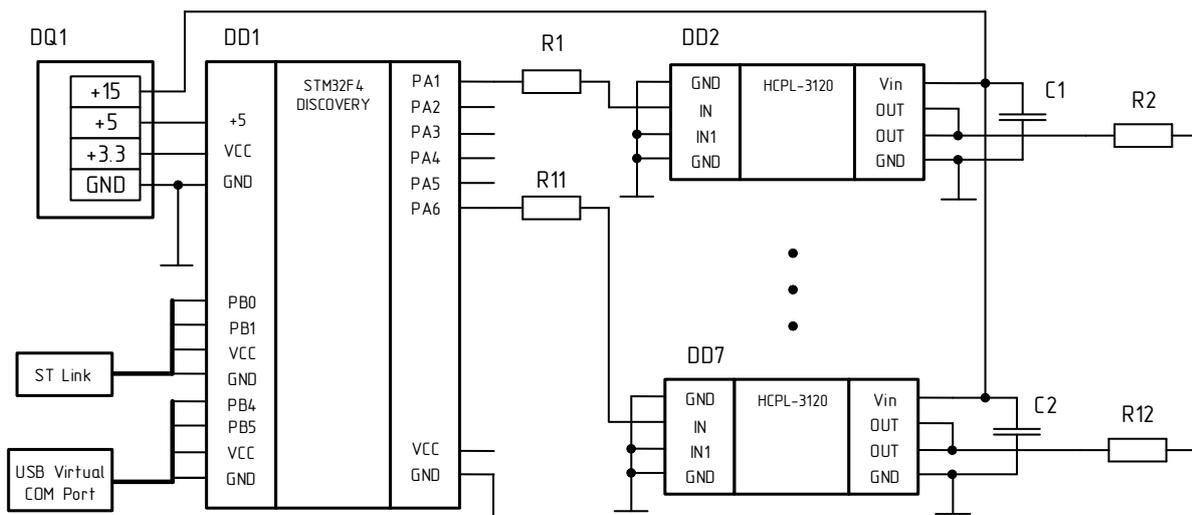


Рисунок 4 – Схема блока управления активного фильтра

Схема управления, блоки гальванической развязки и их система питания универсальны и могут использоваться для широкого спектра мощностей проектируемого активного фильтра.

Программирование микропроцессора производится на языке программирования MATLAB с применением визуализационного пакета моделирования Simulink, группы блоков Aimagin Waijung. Данный способ реализации программы активного фильтра позволяет обеспечить не только его автономную работу, но и непрерывную передачу данных в реальном времени на ПК для мониторинга работы устройства.

Особенностью алгоритма работы активного фильтра является принцип работы по отклонению от эталонной формы тока нагрузки. Так как фильтр рассчитан для установки в цепь питания электроприводов с периодической нагрузкой на валу, считывание уровня отклонения от эталонной формы происходит за несколько периодов синусоиды тока. Согласно произведенным опытным исследованиям выявлено, что искажения тока при работе поршневых компрессоров являются интергармоническими и наибольшей амплитуды достигают при частоте меньше частоты сети. Однако такой принцип не уменьшает, а даже увеличивает быстродействие системы, так как последующие периоды считывания искажений только корректируют первоначальное значение и обеспечивают точную фильтрацию периодических искажений в сети.

Выводы

В ходе исследования было спроектировано электротехническое устройство гашения периодических гармонических и интергармонических искажений для силовых цепей питания судового электрооборудования. Спроектированное устройство способно генерировать периодический трехфазный симметричный и несимметричный сигнал различного гармонического спектра. Применение такого рода устройств позволит повысить качество электроэнергии на судах.

Литература

1. ГОСТ 32144-2013 (EN 50160:2010, NEQ). Нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения. Москва, Стандартинформ, 2014.
2. ГОСТ 30804.4.7-2013 (ТЕС 61000-4-7:2009). Совместимость технических средств электромагнитная. Общее руководство по средствам измерений и измерениям гармоник и интергармоник для систем электроснабжения и подключаемых к ним технических средств. Москва, Стандартинформ, 2013.
3. Правила классификации и постройки морских судов. Часть XI. - СПб.: Российский морской регистр судоходства, 2016.
4. IACS UR E24 Harmonic distortion for ship electrical distribution system including harmonic filters.
5. Руди Д.Ю., Горелов С. В., Руппель А. А. Анализ использования активных фильтров гармоник в электроэнергетических системах // Молодой ученый. 2020. № 15 (305). С. 124-128.
6. Вынгра А.В., Авдеев Б.А. Моделирование пуска электропривода компрессора судовой холодильной установки // Труды Крыловского государственного научного центра. 2019. Специальный выпуск 2. С. 143-151.