

УДК 621.314

**А. А. Жиленков**

**С. Г. Чёрный**, канд. техн. наук

Керченский государственный морской технологический университет  
(г. Керчь, e-mail: zhanton@mail.ru, sergiiblack@gmail.com)

## **ЭЛЕМЕНТЫ СТРУКТУРНОЙ МОДЕЛИ УСТРОЙСТВА АППРОКСИМАЦИИ ДЛЯ ЗАДАЧ ИДЕНТИФИКАЦИИ И КОНТРОЛЯ ПАРАМЕТРОВ ОБЪЕКТОВ УПРАВЛЕНИЯ**

*Представлены результаты разработки адаптивного фильтра сигналов систем управления полупроводниковых преобразователей и активных фильтро-компенсирующих устройств, работающих в составе электроэнергетической системы ограниченной мощности. Фильтр позволяет осуществлять избирательное подавление высших гармоник в силовой сети.*

*Наведені результати розробки адаптивного фільтра сигналів систем керування напівпровідникових перетворювачів та активних фільтро-компенсуючих приладів, що працюють у складі електроенергетичної системи обмеженої потужності. Фільтр дозволяє здійснювати виборче заглушення вищих гармонік в силовій мережі.*

Для судов с электродвигательным комплексом постоянного тока, питающегося от источников переменного напряжения и включающего такие элементы системы, как синхронный генератор (СГ), управляемый выпрямитель (УВ) и нагрузку в виде гребного электродвигателя (ГЭД), двигатель постоянного тока (ДПТ), как и для любой автономной системы подобной конфигурации, актуальна проблема негативного влияния мощных УВ на питающую сеть. Поскольку описываемая система автономна, необходимо учитывать, что искажения форм токов и напряжений судовой сети влияет непосредственно и на сами УВ, порождающие их. Обусловленное требованиями безопасности отсутствие в схеме судовой электростанции (СЭС) нулевого провода делает систему формирования импульсов управления силовыми ключами более критичной к наблюдаемым в сети искажениям ввиду несимметрии сетевых напряжений на её входе и невозможности контроля фазных напряжений на выходе СГ, что усугубляет проблемы электромагнитной совместимости оборудования СЭС [1].

Для обеспечения устойчивой работы систем автоматики, работающих в составе подобных систем, и снижения негативных влияний УВ на питающую сеть необходимо обеспечить устойчивую работу УВ во всем диапазоне регулирования в условиях наличия гармоник тока и напряжения, значения которых существенно превышают допустимые, с учетом нестабильности уровня напряжения и частоты питающей сети, а также неравномерной нагрузки по фазам, что вследствие отсутствия нулевого провода дает несимметрию токов и напряжений сети; по возможности улучшить параметры питающей сети, в частности, за счет повышения устойчивости УВ [2].

В свою очередь, согласно результатам математического моделирования и экспериментальных исследований установлено, что для повышения устойчивости УВ необходимо снизить влияние: искажений токов на автоматическую систему управления (АСУ) УВ через обратные связи по току на малых скоростях ГЭД, когда наблюдается повышенный уровень гармонических искажений фазных токов наряду с повышенным значением коэффициента искажений тока; случайных искажений линейных напряжений на АСУ УВ по линии опорных напряжений, когда одно возмущающее воздействие может привести к возникновению автоколебаний в системе; статических искажений линейных напряжений на АСУ УВ по ли-

нии опорных напряжений на скоростях ГЭД от номинальной и выше, когда наблюдается повышенный уровень гармонических искажений линейных напряжений наряду с повышенным значением коэффициента искажений напряжения [3, 4].

Моделирование и экспериментальные исследования показывают, что наиболее сильное воздействие на устойчивость системы СГ-УВ-ДПТ оказывает искаженность форм линейных напряжений питающей сети, а степень влияния гармонических искажений напряжений сети на устойчивость УВ зависит от их спектра. В свою очередь, степень влияния случайных помех и существенных периодических помех на устойчивость зависит от их вольт-секундной площади.

До определенного уровня гармоника низких порядков сами по себе не вызывают дестабилизирующих эффектов, так как присутствуют в период интегрирования АСУ УВ как в линейных напряжениях сети, так и в интегрированном сигнале таким образом, что осуществляют самовыравнивание АСУ. Дестабилизирующее воздействие оказывают гармоники более высоких порядков, однако при их уровне, не превышающем максимальный, зарегистрированный при экспериментальных исследованиях, и в отсутствие гармоник более низкого порядка система не уходит в автоколебательный режим в основном диапазоне регулирования в связи с малой ошибкой угла управления.

При замене опорных сигналов идеальными синусоидами, синхронизированными с сетевыми напряжениями, исследуемая система дает большую ошибку и в результате возникает более быстрый уход в астатический режим, чем при присутствии в опорном сигнале искажений, идентичных искажениям в линейных напряжениях сети, поступающих на силовую часть УВ.

Существенным недостатком распространенных фильтров, с помощью которых можно пытаться решить проблему подавления помех, является их неспособность подстраиваться под изменения параметров самого полезного сигнала, что хорошо видно на примере резонансных фильтров, настраиваемых на определенную частоту. Так как напряжение в судовой сети может изменяться по каждому из своих параметров в недопустимых для многих фильтров (с жесткой настройкой) пределах, актуальным становится использование адаптивных фильтров.

Разработанные системы фильтров на основе генераторов синусоидального сигнала с автоподстройкой частоты непригодны ввиду условий обеспечения устойчивой работы АСУ УВ, описанных выше. Именно, мы не можем аппроксимировать исходный сигнал синусоидой, так как это приведет к недопустимым ошибкам. Такого рода искажения необходимо подавлять непосредственно в сети, чтобы информационная составляющая о них присутствовала как в линейных напряжениях сети, так и в опорных напряжениях АСУ УВ. Теоретически сделать это возможно при помощи активного фильтро-компенсирующего устройства (АФКУ) инверторного типа. В настоящее время АФКУ находят все более широкое применение, однако их стоимость делает это применение в большинстве случаев экономически невыгодным. К тому же, как показывают экспериментальные исследования, АФКУ обладают низкой эффективностью в условиях, характерных для СЭС. Характер проблем схож с проблемами, наблюдаемыми в преобразователях – в АСУ АФКУ необходимо выделять мгновенные значения помех в фильтруемом сигнале, которые необходимо подавить.

Задача предлагаемого устройства – аппроксимировать желаемый сигнал  $y(t)$ , генерируя линейную комбинацию из набора дочерних функций  $h_{ak,bk}(t)$ , где  $h_{ak,bk}(t)$ , которые сгенерированы из материнской функции  $h(t)$  (1) с фактором  $a > 0$

$$h_{a,b}(t) = h\left(\frac{t-b}{a}\right). \quad (1)$$

Устройство работает совместно с наблюдателем сигналов, от которого получает необходимые для корректной работы фильтра восстановленные сигналы, пропорциональные величине ЭДС, частоте и сдвигам фаз напряжений СГ, и не вносит фазового сдвига в установившемся режиме.

Аппроксимированный сигнал может быть представлен выражением

$$\hat{y}(t) = u(t) \sum_{k=1}^K \omega_k h_{a_k, b_k}(t),$$

где  $K$  – число элементов сети или дочерних функций;  $\omega_k$  – весовые коэффициенты.

Параметры элементов  $\omega_k$ ,  $a$  и  $b$  – могут быть оптимизированы посредством функции наименьшего среднеквадратичного уменьшением значения оценочной энергетической функции  $E$  во времени. Учитывая, что ошибка аппроксимации выражается функцией

$$e = y(t) - \hat{y}(t), \quad (2)$$

энергетическая функция определяется выражением

$$E = \frac{1}{2} \sum_{t=1}^T e^2(t). \quad (3)$$

Для уменьшения  $E$  можно использовать метод пошаговых уменьшений, который использует градиенты для обновления прирастающих изменений к каждому конкретному параметру.

Так как аппроксимируемый в нашем случае сигнал приближен к синусоиде и его параметры приблизительно известны (например, сеть 380 В, 50 Гц), то в качестве материнской можно принять функцию синуса.

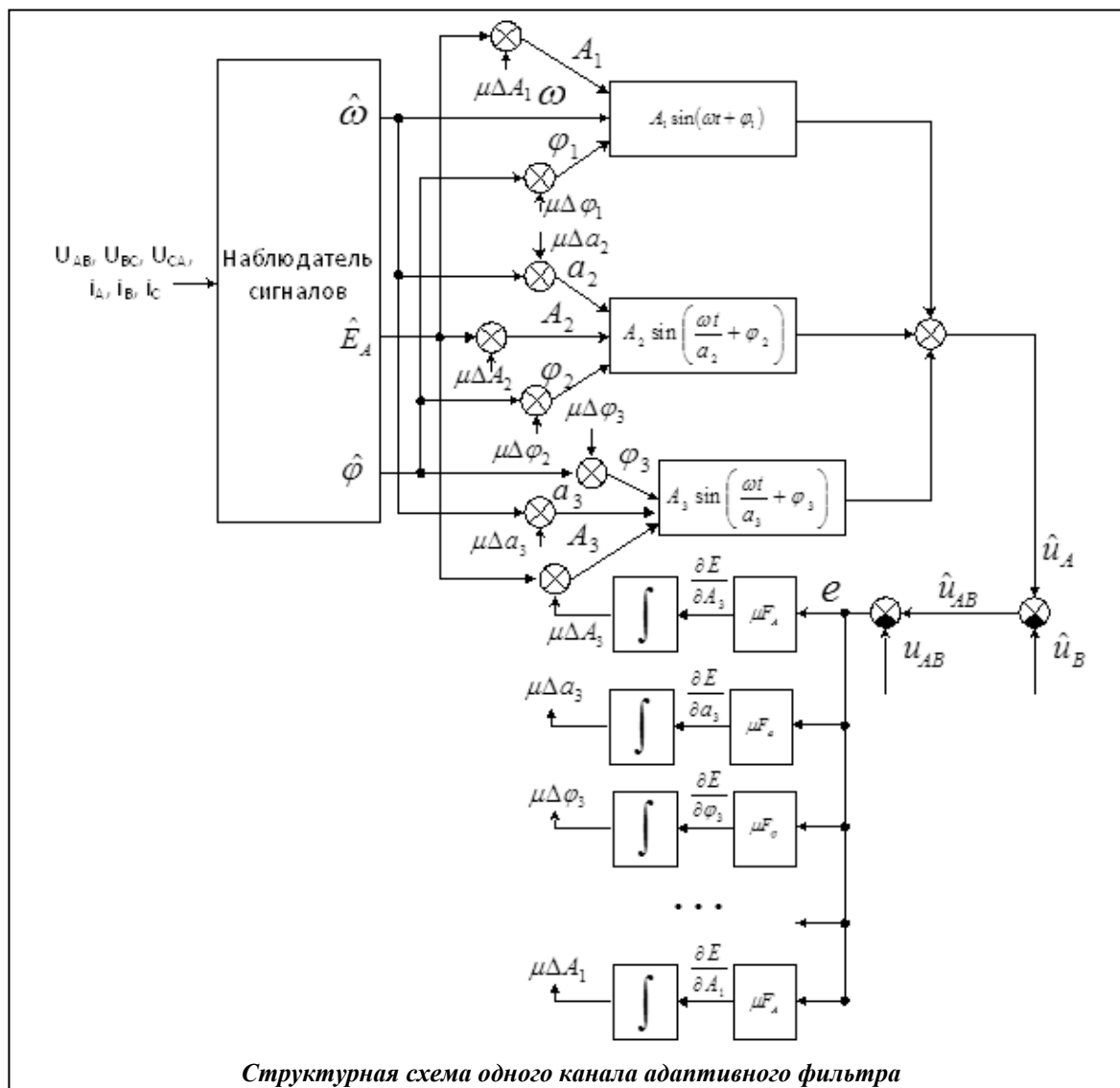
Структурная схема, соответствующая каналу фильтрации одного напряжения, показана на рисунке. С выхода наблюдателя сигналов снимается сигнал  $E_A$  ЭДС фазы  $A$  и сигнал частоты  $\omega_{ЭЛ}$ . Проходя через сумматоры приращений, эти сигналы поступают на соответствующие генераторы функций  $\omega h(t)$  вида (1), выполняя приращения соответствующих коэффициентов.

Представленная схема позволяет синтезировать сигнал из суммы трех сформированных гармонических составляющих – основной гармоники аппроксимируемого сигнала и двух дополнительных. Так как у синусоидальной функции возможно изменение частоты, угла сдвига фазы и амплитуды, то система должна формировать приращения для этих параметров. Сгенерированные от материнской функции и сигналов приращений непрерывные функции вида  $A \sin(\omega t + \varphi)$  суммируются, и результат этой суммы является восстановленным сигналом фазного напряжения фазы  $A$ . Разность  $\hat{u}_A$  и сигнала  $\hat{u}_B$ , полученного на выходе соответствующего канала адаптивного фильтра, даст восстановленный сигнал линейного напряжения  $\hat{u}_{AB}$ . Разность реального и восстановленного сигналов даст ошибку фильтра  $\hat{u}_{AB} - u_{AB} = e$ , соответствующую выражению (2). Из энергетической функции (3), при помощи соответствующих блоков выполняется нахождение сигналов приращений, которые поступают на соответствующие сумматоры приращений.

Сигнал  $e = \hat{u}_{AB} - u_{AB}$  является выделенной из фильтруемого оригинала помехой. Подавая этот сигнал в СУ АФКУ, можно достаточно эффективно подавлять высшие гармоники и случайные сигналы в сети, т. к. сигнал  $e$  имеет минимальную и постоянную по времени задержку относительно фильтруемого оригинала.

При конечном количестве составляющих в каждом канале фильтра и присутствии гармоник высших порядков (которые не генерируются фильтром) в оригинальном сигнале, мы всегда будем иметь некоторую ошибку, определяемую спектральным составом высших гармоник и наличием случайных импульсных помех. Таким образом, фильтру не удастся реагировать на высокочастотные составляющие в линейных напряжениях сети. Дополнительно вводится ограничение на скорость обучения по определенным составляющим, что позволяет более чувствительно реагировать на изменения в одном диапазоне спектре гармоник и менее – в другом.

Разработанные методы формирования опорных сигналов для систем управления полупроводниковыми преобразователями могут быть использованы в АСУ АФКУ, где не-



обходимо знать мгновенное значение помехи, содержащейся в фильтруемом сигнале. При работе совместно с АСУ тиристорного УВ фильтр обеспечивает исключение пропусков коммутации полупроводниковых ключей, появляющихся вследствие существенных искажений форм токов и напряжений питающей сети. Это снижает уровень искажений форм токов и напряжений сети, являющихся результатом таких пропусков.

**Литература**

1. Жиленков А. А. Влияния мощных тиристорных выпрямителей на питающую их автономную электростанцию / А. А. Жиленков // Восточ.-Европ. журн. передовых технологий. – 2012. – № 5/8 (59). – С. 14–19.
2. Плахтина О. Г. Частотно-управляемые асинхронные и синхронные электроприводы / О. Г. Плахтина, С. С. Мазепа, А. С. Куцик. – Львов: Львов. политехника, 2002. – 227 с.
3. Качество электрической энергии на судах : Справочник / В. В. Шейнихович, О. Н. Климанов, Ю. И. Пайкин, Ю. Я. Зубарев. – Л.: Судостроение, 1988. – 160 с.
4. Чорний С. Г. Застосування механізму інформаційних інтелектуальних моделей у системах автоматичного керування / С. Г. Чорний // Вестн. Херсон. нац. техн. ун-та. – 2012. – № 1 (44). – С. 215–220.

Поступила в редакцію  
13.09.13