

СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ АКТИВНОГО СИЛОВОГО ФИЛЬТРА НА  
ОСНОВЕ АДАПТИВНОЙ ФИЛЬТРАЦИИ  
ACTIVE POWER FILTER CONTROL SYSTEM BASED ON ADAPTIVE  
FILTERING

Первенёнок Р. Е., к-т. техн. наук, доцент; Сицко А. Л.,  
Военная академия Республики Беларусь, г. Минск, Беларусь  
R. Pervenyonok, Candidate of technical Sciences, Associate Professor;  
A. Sitsko,  
Military Academy of the Republic of Belarus, Minsk, Belarus

*Аннотация.* Рассмотрен алгоритм работы системы управления активного силового фильтра на основе адаптивной фильтрации, который позволил снизить коэффициент несинусоидальности гармонического искажения тока. Проведены экспериментальные исследования, подтверждающие эффективность применения метода формирования управляющих сигналов в системе управления активного силового фильтра.

*Annotation.* The algorithm of operation of the control system of an active power filter based on adaptive filtering is considered, which made it possible to reduce the non-sinusoidality coefficient of harmonic distortion of the current. Experimental studies have been carried out confirming the effectiveness of the method of generating control signals in the control system of an active power filter.

*Ключевые слова:* активный силовой фильтр, адаптивная фильтрация, система управления.

*Key words:* active power filter, adaptive filtering, control system.

## ВВЕДЕНИЕ

Подключенная к системе электроснабжения (СЭС) нелинейная электрическая нагрузка создает проблемы в поддержании приемлемого качества электрической энергии. Поэтому в СЭС, в которой присутствует такая нагрузка, должно совершенствоваться качество электрической энергии.

Одним из самых эффективных устройств повышения качества электрической энергии и компенсации реактивной мощности и мощности искажений является силовой активный силовой фильтр (АСФ). АСФ может выполнить подавление гармоник, регулирование реактивной мощности, коррекцию коэффициента мощности, балансировку нагрузки, регулирование напряжения и уменьшение мерцания [1–3].

Принцип действия АСФ основан на анализе гармоник тока или напряжения нелинейной нагрузки и генерации в систему электроснабжения СЭС таких же гармоник тока или напряжения, но с противоположной фазой. Основное отличие разрабатываемых систем заключается в приме-

няемом методе формирования задающих воздействий на силовую часть в системах управления (СУ) Одни из перспективных методов является применение адаптивной фильтрации [4–6].

### ОСНОВАННАЯ ЧАСТЬ

Предлагаемом методе адаптивной фильтрации спектральный состав сигнала, формируемого системой управления АСФ, должен совпадать с гармоническим составом несинусоидального тока, генерируемого нелинейной нагрузкой СЭС. В компенсирующем токе основная гармоника должна отсутствовать.

Для получения такого сигнала можно использовать режекторный фильтр, настроенный на частоту основной гармоники. Однако такой подход имеет недостатки, так как режекторный фильтр является статическим устройством, то его характеристики могут изменяться при изменении частоты и амплитуды основной гармоники. Таким образом, для формирования управляющего сигнала АФ необходимо адаптивное устройство, характеристики которого изменяются при изменении спектрального состава несинусоидальных токов.

СУ АСФ построена на основе адаптивной фильтрации представлена на рис. 1.

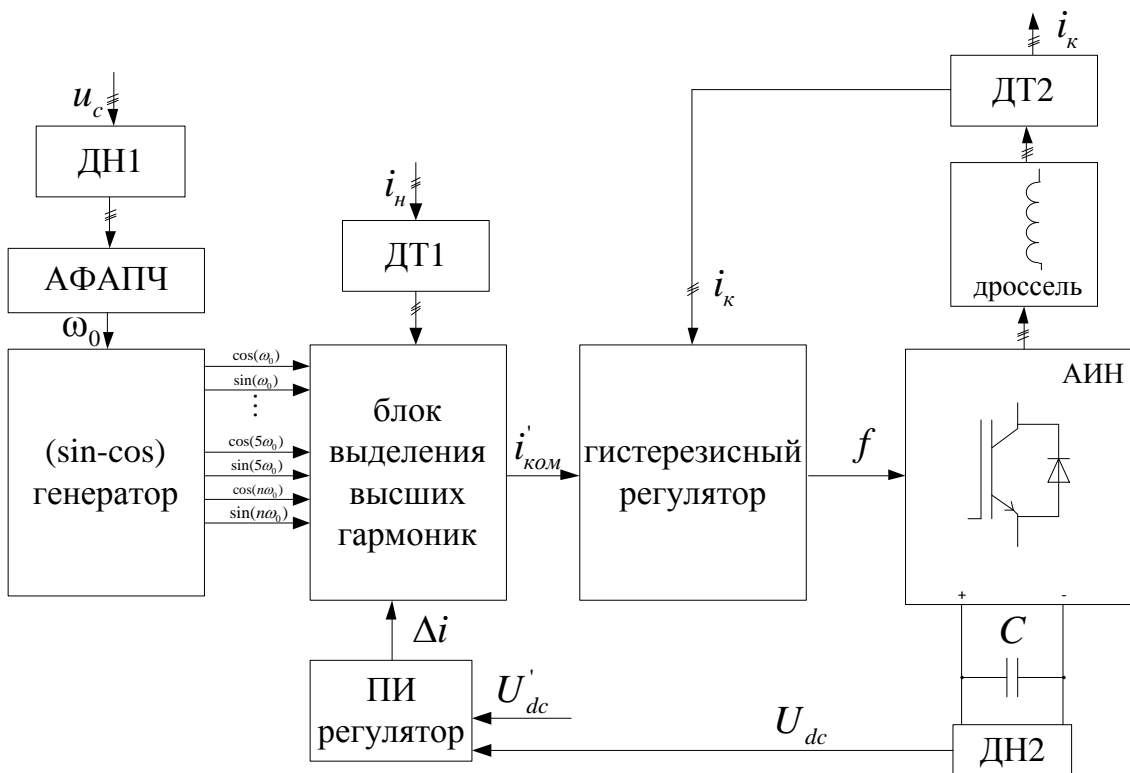


Рис. 1. Структурная схема АСФ с СУ на основе адаптивной фильтрации

Таким образом, алгоритм работы системы управления выглядит следующим образом:

- в начале работы производится измерение значения тока нагрузки  $i_n$  и напряжения сети  $u_c$ . Полученные данные от измеряющих датчиков тока (ДТ) и напряжения (ДН) передаются в блок выделения высших гармоник и адаптивной фазовой автоподстройки частоты (АФАПЧ) соответственно;
- АФАПЧ происходит выделение частоты питающей сети, которая затем поступает на генератор ( $\sin - \cos$ );
- на следующем шаге в блоке выделения высших гармоник происходит генерация высших гармоник;
- на основании полученного сигнала искажения формируется управляющий сигнал силовыми ключами при помощи гистерезесного регулятора;
- далее в силовой части активного фильтра путем переключений ключей по заданному сигналу формируется ток фильтра  $i_k$ , который представляет собой «зеркальное» отображение искажающего сигнала;
- на завершающем этапе происходит генерация полученного сигнала в сеть.

Таким образом, для того чтобы обеспечить компенсацию высших гармонических составляющих, генерируемых нелинейными нагрузками, необходимо установить по три датчика напряжения и тока в каждую фазу на общей секции шин и три датчика тока для определения тока фильтра, а также датчик напряжения на конденсаторе С.

Чтобы показать эффективность предложенного способа управления, проводились экспериментальные исследования. Представлена структура макета АСФ с СУ на рис. 2, которая включает в себя программное обеспечение Matlab [7], одноплатный компьютер Raspberry Pi3 и источник бесперебойного питания (ИБП).

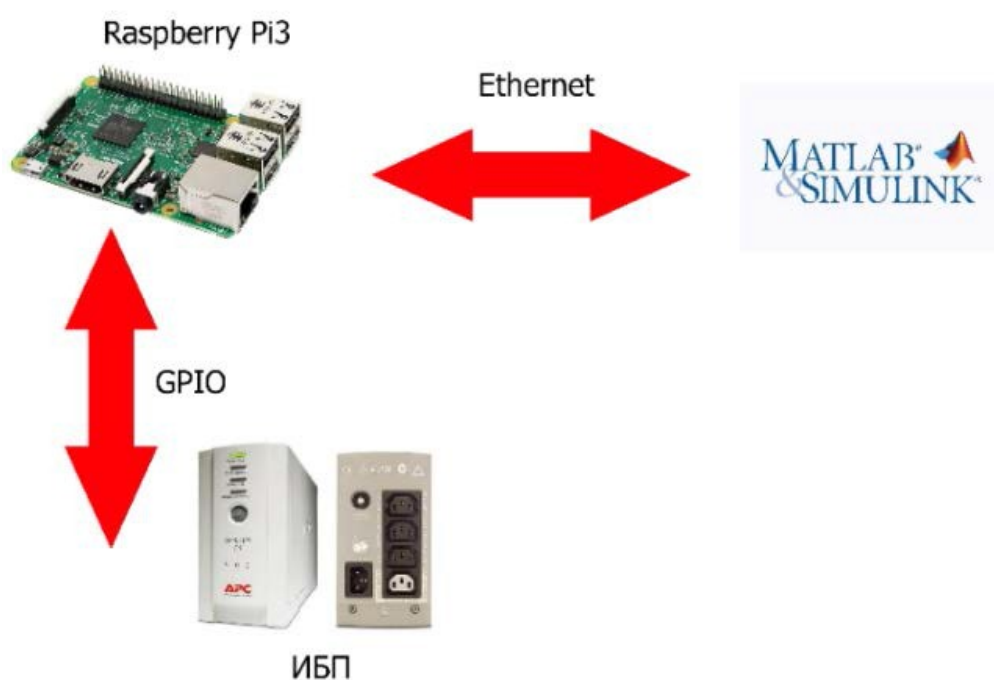


Рис. 2. Структура макета АСФ с СУ

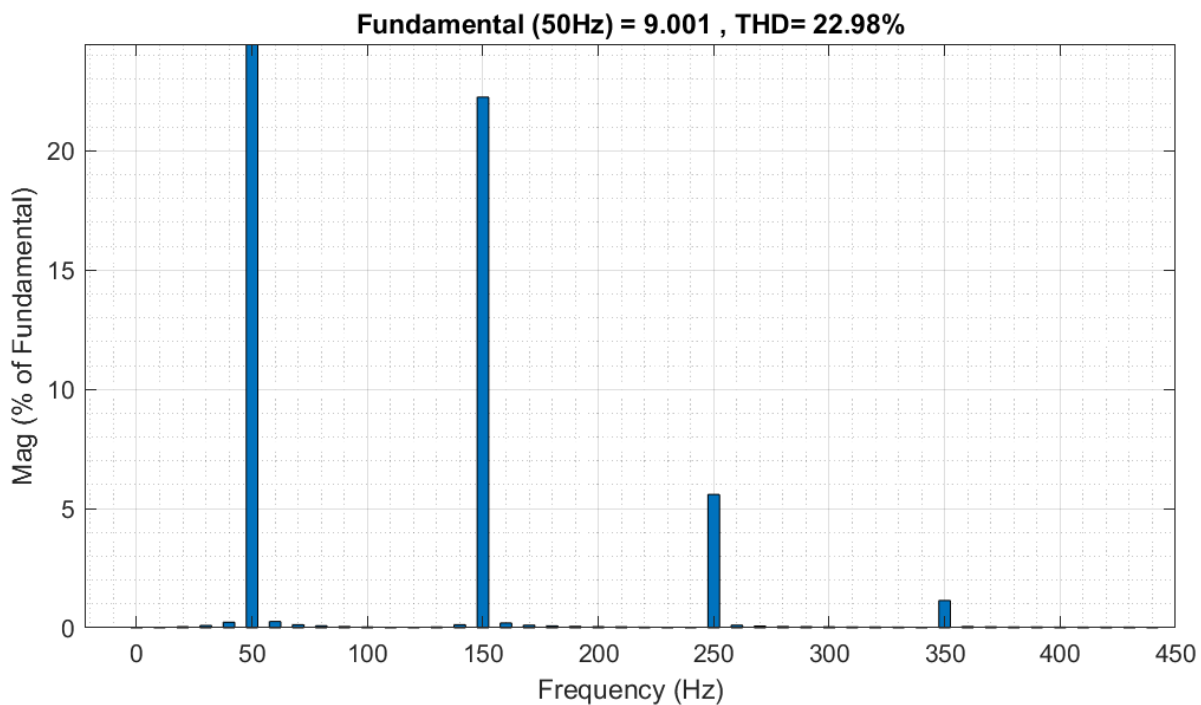


Рис. 3. Спектральный состав тока нелинейной нагрузки без АСФ

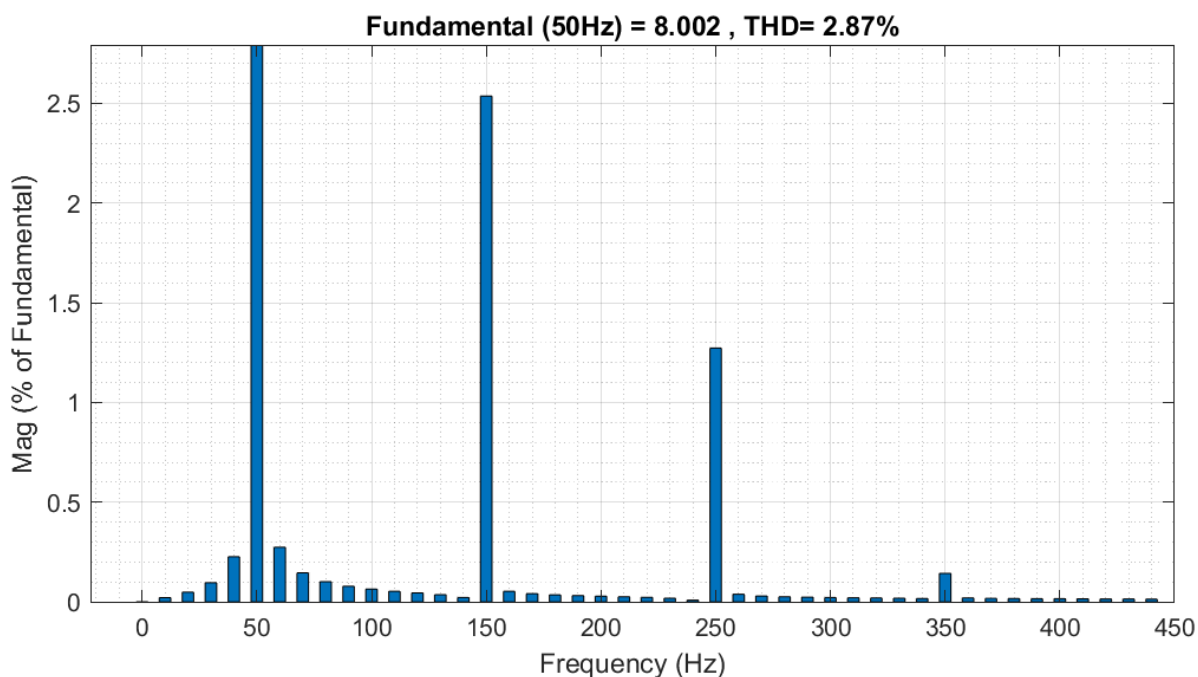


Рис. 4. Спектральный состав тока сети с подключенным АСФ

На рис. 3 и 4 приведены спектральные составы токов сети с включенной нелинейной нагрузкой до подключения и после включения АСФ соответственно. Из рис. 3 и 4 видно, что суммарное гармоническое искажение тока до включения АСФ составляет  $THD$  22,98 %, а после включения АСФ имеет  $THD$  2,87 %, что говорит об эффективности применения адаптивной фильтрации в СУ АСФ.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Рассмотрен метод формирования управляющих сигналов для АСФ, основанный на использовании адаптивной фильтрации.

Основой системы формирования управляющих сигналов является адаптивный цифровой фильтр в форме линии задержки с отводами, настраиваемый с помощью упрощенного алгоритма Ньютона.

Результаты имитационного моделирования предложенного метода показали, суммарное гармоническое искажение тока до включения АСФ составляет ТНД 22,98 %, а после включения АСФ имеет ТНД 2,87 %, что говорит об эффективности применения адаптивной фильтрации в СУ АСФ.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Аррилага, Дж. Гармоники в электрических системах / Дж. Аррилага, Д. Брэдли, П. Боджер.: пер. с англ. – М.: Энергоатомиздат, 1990.
2. Розанов, Ю. К. Силовая электроника: учебник для вузов / Ю. К. Розанов, М. В. Рябчицкий, А. А. Кваснюк. Изд. 2-е. – М.: Издательский дом МЭИ, 2009. – 632 с.
3. Жежеленко, И. В. Электромагнитная совместимость потребителей/ И. В. Жежеленко, А. К. Шидловский, Г. Г. Пивняк и др. – Машиностроение, 2012. – 351 с.
4. Уидроу Б., Стирнз С. Адаптивная обработка сигналов: Пер. с англ. – М.: Радио и связь, 2006. – 856 с.: ил.
5. Джиган В. И. Адаптивная фильтрация сигналов: теория и алгоритмы. М.: Техносфера, 2013. – 528 с.
6. Адаптивные фильтры: Пер. с англ. / Под ред. К. Ф. Н. Коуэна, П. М. Гранта. – М.: Мир, 1988. – 392 с.: ил.
7. Дьяконов В. MATLAB. Обработка сигналов и изображений [Текст] / В. Дьяконов. – СПб.: Питер, 2002. – 608 с.