

ЦИФРОВАЯ СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕМ ПОСТОЯННОГО НАПРЯЖЕНИЯ В ПЕРЕМЕННОЕ СИНУСОИДАЛЬНОЕ ПРОМЫШЛЕННОЙ ЧАСТОТЫ НА ОСНОВЕ ПЛИС

Ю. В. Прядко

*Учреждение образования «Гомельский государственный технический
университет имени П. О. Сухого», Беларусь*

Научные руководители: Э. М. Виноградов, С. Н. Кухаренко

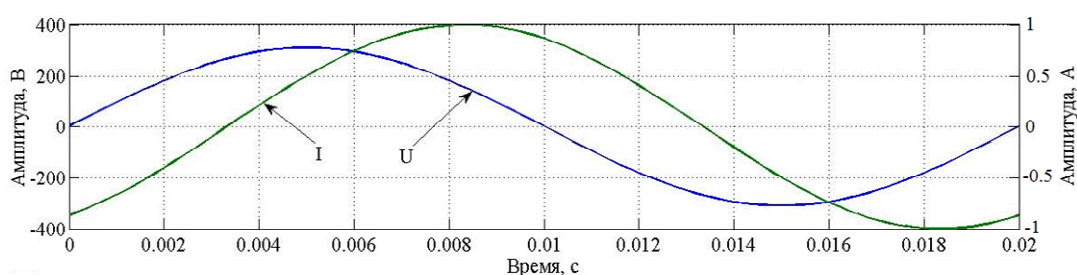
В системах резервного электропитания, солнечных электростанциях и мобильных установках существует необходимость преобразования постоянного напряжения первичной сети в переменное с амплитудой и частотой промышленной сети. Это обусловлено наличием потребителей напряжения переменного тока, промышленной частоты.

Существующие технические решения, основанные на использовании управляющих контроллеров и аналоговых схем, реализуют управление преобразователем по усредненным значениям выходной величины тока и напряжения. Однако форма выходных сигналов таких преобразователей имеет значительный коэффициент гармоник. Наличие высших гармоник в выходном напряжении снижает эффективность работы потребителей и преобразователя [1].

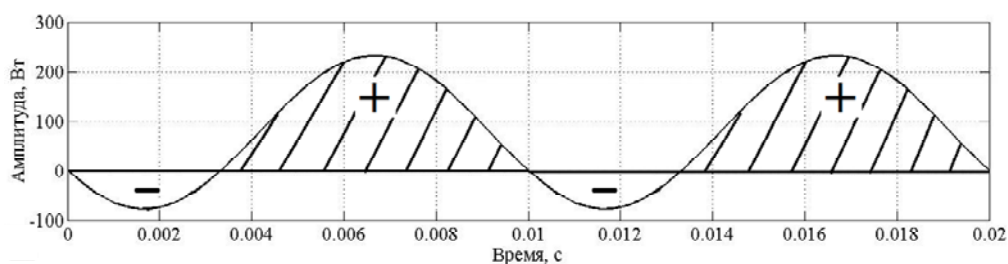
Целью работы является исследование причин, вызывающих гармонические искажения выходного напряжения преобразователя, а также разработка функциональной схемы, цифровой системы управления, позволяющей устранить данные недостатки.

Осциллографирование выходного напряжения у типового преобразователя при различных типах нагрузок позволило сделать вывод о том, что искажения возникают в случае реактивной нагрузки. Анализ процессов в выходных цепях преобразователя показал наличие отрицательных значений мощности нагрузки.

На рис. 1, *a* приведены графики функций напряжения и тока преобразователя напряжения с разностью фаз 60° . График мощности, приведенный на рис. 1, *б*, показывает направление мощности в цепи «преобразователь–нагрузка». Знаком «+» обозначена мощность, направленная от преобразователя к нагрузке, знаком «-» – мощность от нагрузки к преобразователю.



а)



б)

Рис. 1. Зависимости тока и напряжения от времени:
а – графики напряжения и тока; б – график мощности в нагрузке

Анализируя график мощности, приведенный на рис. 1, *б*, необходимо отметить, что система управления должна обеспечивать обмен энергией между вторичной и первичной сетью. Основной проблемой систем управления преобразователем напряжения является отсутствие возможности обмена энергией.

Так, на рис. 2 приведена осциллограмма выходного напряжения преобразователя без обмена энергией между вторичной и первичной сетью.

На осциллограмме показана форма ШИМ-сигнала, поступающего на вход силового фильтра, и выходное напряжение преобразователя, нагруженного реактивной нагрузкой. Искажения формы выходного напряжения на интервале времени *I* обусловлено протеканием мощности от нагрузки к преобразователю в то время, когда преобразователь формирует мощность в сторону нагрузки. Для устранения искажений необходимо осуществлять возврат мощности, направленной от нагрузки к преобразователю, в первичную сеть за счет режима рекуперации.

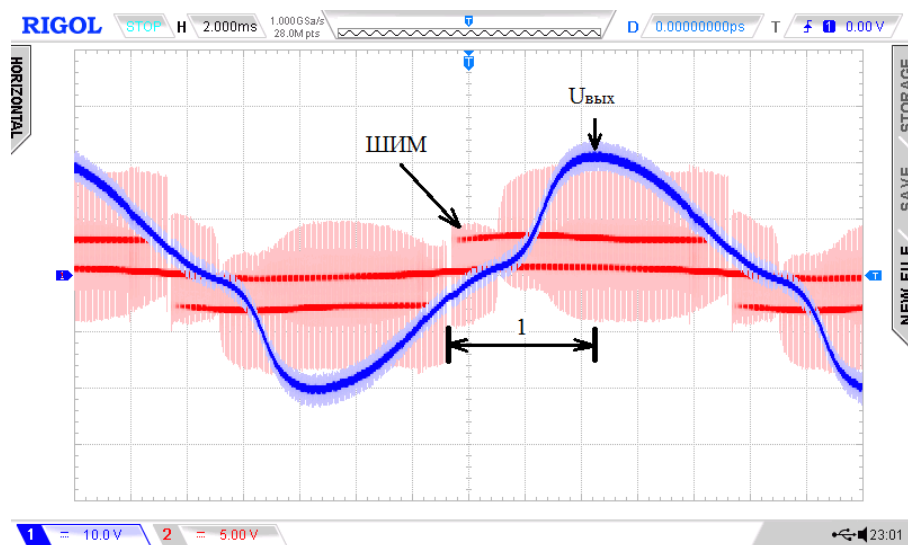


Рис. 2. Осциллограмма выходного напряжения

Для обеспечения обмена энергией между вторичной и первичной сетью необходимо изменение структуры преобразователя. Если в режиме положительной передаваемой мощности нужна структура преобразователя понижающего типа, то в режиме рекуперации энергии необходима структура повышающего типа. В соответствии с таким изменением в структуре необходимо изменить группы ключей и перестроить частотные характеристики регуляторов [2]. Создание такого устройства с применением аналоговых и дискретных компонентов – весьма трудоемкая задача. С целью реализации принципа рекуперации разработана функциональная схема цифровой системы управления, приведенная на рис. 3.

Цифровая системы управления состоит из следующих блоков:

- блок фазовой автоподстройки частоты (ФАПЧ); формирует необходимые тактовые частоты для блоков системы из опорного тактового сигнала $f_{оп}$;
- блок включения-выключения (ВКЛ/ВЫКЛ); осуществляет плавный пуск при включении, плавный останов при выключении преобразователя напряжения, тем самым уменьшая уровни токов в переходных процессах;
- блок опорного напряжения (ИОН); таблица отсчетов четверти огибающей синусоидального сигнала;
- блок цифрового фильтра (ЦФ); фильтр, синтезированный по экспериментальным АЧХ и ФЧХ выходного силового фильтра преобразователя напряжения с целью обеспечения устойчивости широтно-импульсного регулирования при замкнутой петле обратной связи [3]–[5];
- блок широтно-импульсной модуляции ШИМ; формирует ШИМ-сигнал с заданной частотой дискретизации;
- блок поцикловой защиты (ПЗ); ограничивает ширину управляющего ШИМ-сигнала при поступлении сигнала от датчиков токовой перегрузки;
- блок распределения импульсов управления (РИУ); формирует сигналы переключения силовых ключей из ШИМ-сигнала; блок подключается к драйверам силовых ключей мостовой схемы;
- блоки АЦП U и АЦП I ; формируют цифровой код сигнала обратной связи выходного напряжения и тока преобразователя посредством аналого-цифрового преобразования;

– блок определения режима работы преобразователя ($U \cdot I$); анализирует фазы выходных токов и напряжений, на основе чего осуществляет прямое или рекуперирующее преобразование и выбор постоянных времени цифрового фильтра для этих режимов.

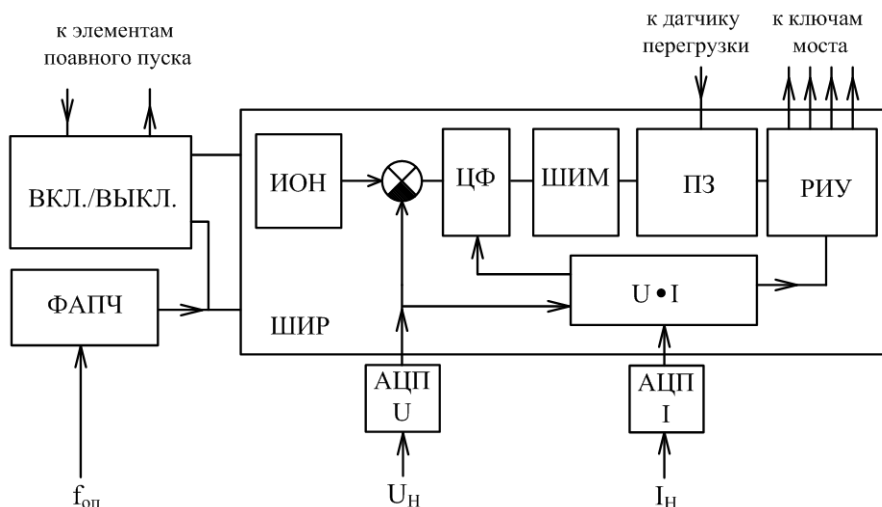


Рис. 3. Функциональная схема предлагаемой цифровой системы управления

Приведенная система осуществляет управление силовыми ключами мостовой схемы, в диагональ которой включен LC-фильтр. Реализация приведенной структуры выполнена на основе ПЛИС Cyclon 2 EP2C5T144C8 от производителя Altera. Описание всех блоков выполнено на языке Verilog.

Литература

1. Жежеленко, И. В. Высшие гармоники в системах электроснабжения промпредприятий / И. В. Жежеленко. – 2-е изд. – М. : Энергоатомиздат, 2000. – 331 с.
2. Чети, П. Проектирование ключевых источников электропитания : пер. с англ. / П. Чети. – М. : Энергоатомиздат, 1990. – 240 с. : ил.
3. Гоноровский, И. С. Радиотехнические цепи и сигналы : учеб. для вузов. – 4-е изд., перераб. и доп. – М. : Радио и связь, 1986. – 512 с. : ил.
4. Изерман, Р. Цифровые системы управления : пер. с англ. / Р. Изерман. – М. : Мир, 1984. – 541 с. : ил.
5. Айфичер, Э. Цифровая обработка сигналов: практический подход : пер. с англ. / Э. Айфичер, Б. Джервис. – 2-е изд. – М. : Вильямс, 2004. – 992 с. : ил.