

УДК 621.313.3

**РЕАЛИЗАЦИЯ АЛГОРИТМОВ УПРАВЛЕНИЯ  
ДЛЯ ЧАСТОТНО-РЕГУЛИРУЕМОГО  
АСИНХРОННОГО ЭЛЕКТРОПРИВОДА СО  
СКАЛЯРНОЙ РАЗОМКНУТОЙ СИСТЕМОЙ НА  
БАЗЕ СИГНАЛЬНОГО ПРОЦЕССОРА  
TMS320F28335**

**IMPLEMENTATION OF CONTROL ALGORITHMS  
FOR FREQUENCY-CONTROLLED ELECTRIC  
DRIVE WITH OPEN-LOOP SCALAR SYSTEM  
BASED ON SIGNAL PROCESSOR TMS320F28335**

**Плотников Юрий Валерьевич**, канд. техн. наук, доцент каф. «Электропривод и автоматизация промышленных установок» Уральского федерального университета имени первого Президента России Б.Н. Ельцина, Россия, 620002, г. Екатеринбург, ул. Мира, 19.. E-mail: yu.v.plotnikov@urfu.ru. Тел.: 375-46-46

**Голубев Андрей Эдуардович**, магистрант каф. «Электропривод и автоматизация промышленных установок» Уральского федерального университета имени первого Президента России Б.Н. Ельцина, Россия, 620002, г. Екатеринбург, ул. Мира, 19. E-mail: a.golubev@uer.ru, Тел.: +79049818443

**Iurii V. Plotnikov**, Cand Sc., Ural Federal University named after the first President of Russia B.N. Yeltsin, 620002, Mira street, 19, Ekaterinburg, Russia. E-mail: yu.v.plotnikov@urfu.ru. Ph.: 375-46-46

**Andrey E. Golubev**, magister, Ural Federal University named after the first President of Russia B.N. Yeltsin, 620002, Mira street, 19, Ekaterinburg, Russia. E-mail: a.golubev@uer.ru. Ph.: +79049818443

**Аннотация:** рассматривается начальный этап освоения программирования сигнальных процессоров TMS320F28335, а именно реализация разомкнутой скалярной системы управления асинхронным электроприводом на основе сигнального процессора TMS320F28335. В работе приведено краткое описание системы управления и особенности ее работы, а также приведены осциллограммы настройки ШИМ-сигналов с выходов платы.

**Abstract:** The initial stage of alarm processors TMS320F28335 programming development, namely realization of electric drive opened scalar control system on the basis of the alarm processor TMS320F28335 is considered. The short description of a control system and feature of her work is provided, and also oscillograph trace of PWM-signals control from processor exits are provided.

**Ключевые слова:** скалярная система управления; широтно-импульсная модуляция; сигнальный процессор TMS320F28335; частотно-регулируемый электропривод.

**Key words:** scalar control system; pulse-width modulation; signal processor TMS320F28335; frequency-controlled electric drive.

## ВВЕДЕНИЕ

В промышленности широко используются системы управления двигателями на базе микроконтроллеров и цифровых сигнальных процессоров, которые обеспечивают построение гибкой и высокопроизводительной системы. Ранее для реализации систем управления в России использовались платы исключительно зарубежного производства, что можно сказать и о применяемом программном обеспечении для этих плат. Ввиду недавних событий в современном

мире, стала актуальной задача импортозамещения программируемых плат в промышленности. В настоящее время в России есть несколько компаний, занимающихся выпуском печатных плат на базе импортных процессоров (отечественное производство программируемых процессоров, отвечающих современным требованиям, пока далеко от необходимого уровня) [2]. И для управления такими платами необходима разработка отечественного программного обеспечения.

В данной статье рассматривается начальный этап освоения программирования сигнальных процессоров TMS320F28335, а именно вопрос реализации разомкнутой скалярной системы управления асинхронным электроприводом на основе сигнального процессора TMS320F28335. В работе приводятся осциллограммы процедуры наладки алгоритмов широтно-импульсной модуляции. Вторым этапом планируется проведение экспериментальных исследований на лабораторном стенде кафедры, который состоит из частотного преобразователя, управляющего асинхронным двигателем и регулируемой нагрузочной машиной, представленной в качестве двигателя постоянного тока с тиристорным преобразователем.

В качестве программного обеспечения использовалась программная среда разработки и моделирования встроенного программного обеспечения систем управления Code Composer. Выбор среды программирования продиктован производителем процессоров и наиболее широкими функциональными возможностями по сравнению с аналогичными решениями. Если ее сравнить с другими известными программными оболочками, то можно с уверенностью сказать, что Code Composer, в которой вся программа описывается языками C, C++ и Assembler, позволяет достаточно глубоко изучить и построить любую систему управления, которая необходима разработчику.

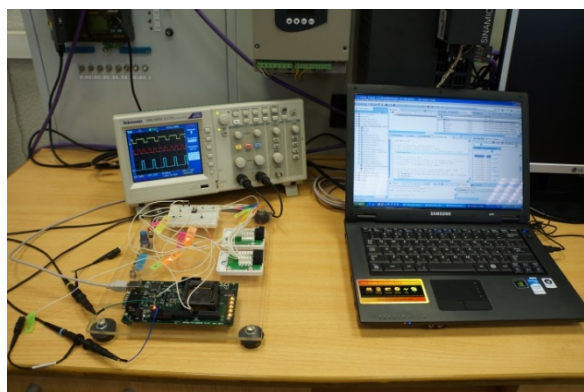


Рис 1. Фото отладочного стенда

В отладочную плату встроен процессор TMS320F28335, который относится к семейству TMS320C28x™/ Delfino™ DSC/MCU производства Texas Instrument. Он является высокопроизводительным решением для высоких требований к современным системам управления. Максимальная тактовая частота процессора 150 МГц.

#### ОПИСАНИЕ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ

Скорость асинхронного двигателя управляется с помощью регулируемой величины напряжения

статора и частоты таким образом, что магнитный поток в воздушном зазоре всегда поддерживается на требуемом уровне. Сопротивление статора ( $R_s$ ) принимается равным нулю, а индуктивность рассеяния статора ( $L_{ls}$ ) в сумме с индуктивностью рассеяния ротора ( $L_{lr}$ ) дает индуктивность намагничивания, которая представляет собой величину магнитного потока в воздушном зазоре, перемещается в передней части общей индуктивности рассеяния ( $L_l = L_{ls} + L_{lr}$ ). В результате, ток намагничивания, который генерирует магнитный поток в воздушном зазоре, может быть изменен соотношением напряжения статора и частоты [1].

Если отношение  $U/f$  остается постоянной для любого изменения  $f$ , то поток остается постоянным (при допущении, что активное сопротивление статора  $R_s=0$ ), а крутящий момент становится независимым от частоты питающего напряжения. Для того чтобы сохранить  $\Psi_m$  постоянным, отношение  $U_s/f$  также должно быть постоянным при различной скорости. По мере увеличения скорости, напряжение статора, следовательно, должно быть пропорционально увеличено для того, чтобы поддерживать постоянное отношение  $U_s/f$ . Тем не менее, частота (или синхронная скорость) не реальная скорость из-за скольжения, зависит от нагрузки двигателя. Без нагрузки крутящим моментом скольжение очень мало, а скорость почти равна синхронной скорости вращения. Таким образом, простым разомкнутым контуром  $U_s/f$  система не может точно контролировать скорость с наличием крутящего момента нагрузки.

Принцип постоянного соотношения может быть реализован открытым и замкнутым контуром управления скоростью асинхронного двигателя переменного тока. Разомкнутый контур управления используется, когда не требуется высокая точность в скорости, например, в отоплении, вентиляции и кондиционировании воздуха. В этом случае частота подаваемого воздуха определяется на основе желаемой скорости и предполагается, что двигатель будет примерно следовать его синхронной скорости. Ошибка в скорости в результате скольжения двигателя считается приемлемой.

Функциональная схема разомкнутой скалярной системы представлена на рис. 2. Асинхронный двигатель приводится в движение с помощью автономного инвертора напряжения, который получает питание от неуправляемого выпрямителя. TMS320F28335 используется для формирования сигналов управления IGBT транзисторами инвертора с использованием базового режима симметричной двухсторонней ШИМ.

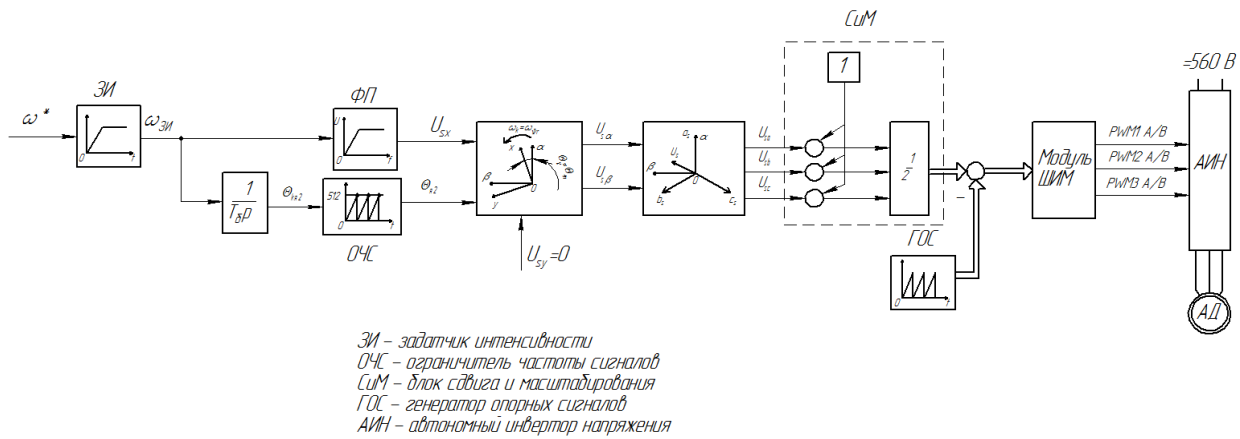


Рис. 2. Разомкнутая скалярная система управления

Внешним воздействием системы управления является сигнал задания на частоту вращения

Систему управления можно разделить на следующие основные составляющие:

- Задатчик интенсивности;
- Функциональный преобразователь;
- Ограничитель угла;
- Преобразователь координат  $xu/a\beta$ ;
- Преобразователь координат  $a\beta/ABC$ ;
- Блок сдвига и масштабирования;
- Генератор опорных сигналов;
- Модуль ШИМ.

Задатчик интенсивности осуществляет подачу сигналов на разгон и торможение с определенным темпом.

Функциональный преобразователь реализует пропорциональный закон частотного управления  $U/f=const$ .

Поскольку преобразование координат в микропроцессорных системах реализуется с помощью табличных функций (sin, cos) состоящих из 512 точек, то необходимо ограничить значение угла на этом уровне. Эту функцию и выполняет ограничитель угла.

Преобразователи координат осуществляют поэтапное прямое преобразование координат напряжения (из 2 в 3).

Блок сдвига и масштабирования реализует сдвиг на единицу вверх напряжение каждой фазы, масштабирует и записывает в регистры.

Модуль ШИМ представляет собой основной блок программы, в котором описывается работа счетчиков с регулировкой периода и частоты сигналов, а также реализация «мертвого» времени при переключении ключей на одной стойке.

ОТЛАДКА ПРОГРАММЫ

Для начала необходимо увидеть сигналы ШИМ, которые получаются на выходе контроллера и

затем используются для управления ключами. Подключаем осциллограф к PWM1, PWM2 ШИМ-выходам, выбираем постоянную скважность импульсов, равную 90 % и запускаем программу на исполнение. Результат эксперимента представлен на рис. 3.

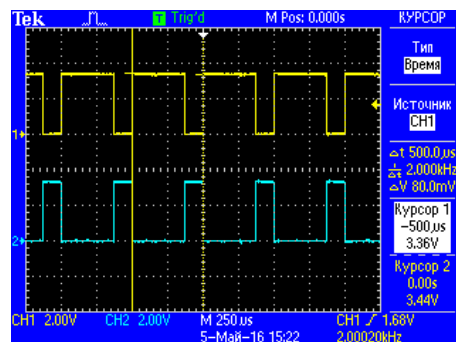


Рис. 3. Разнополярные сигналы 1А и 2А

На осциллограмме мы видим отчетливые прямоугольные импульсы с продолжительностью включения 90%. Также можно отметить, что сигналы для ключей инвертора в одной стойке 1А и 2А являются инверсными по отношению к друг другу.

На следующем этапе проверим наличие «мертвой зоны» в моменты переключения ключей на одной стойке. Для этого выведем на экран осциллографа сигнал, который суммирует напряжение с двух выходов ШИМ (рис. 4.). На осциллограмме по кривой функции «математика» отчетливо видно наличие «мертвого времени» в момент переключения ключей на одной стойке, которое составляет 2,8 мкс.

Однако, чтобы определить действительно ли мы подаем синусоидальное напряжение, нам необходимо подавить все высокочастотные сигналы на выходе процессора так, чтобы на осциллографе можно было увидеть синусоиду. Для этого в установке используется фильтр низких частот.

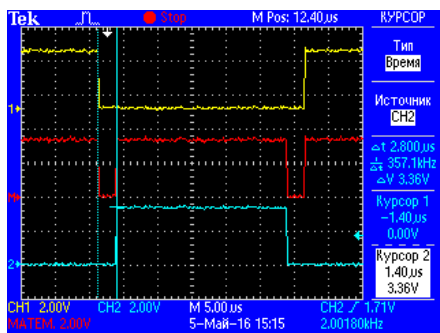


Рис. 4. «Мертвое время»

Частота среза фильтра должна быть как минимум в 2 раза меньше частоты ШИМ, но больше 100 Гц. Установка фильтра с параметрами сопротивления и емкости схематично представлена на рис. 5.

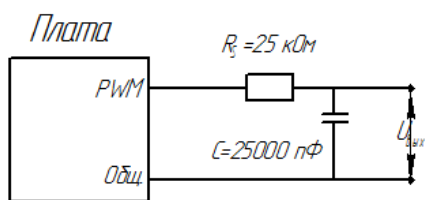


Рис. 5. Схема соединения ШИМ-выходов платы с фильтром

Оциллограммы работы программы при различных значениях задания на частоту и напряжение представлены на рис. 6-8. Важно отметить, что в каналах Pwm1 и Pwm2 используются фильтры с частотой среза порядка 250 Гц.

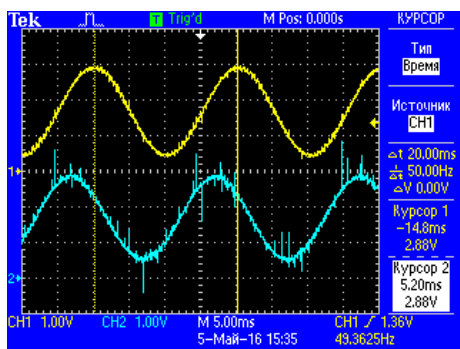


Рис. 6. Сигналы ШИМ-выходов при частоте 50 Гц и амплитуде 3 В (90%)

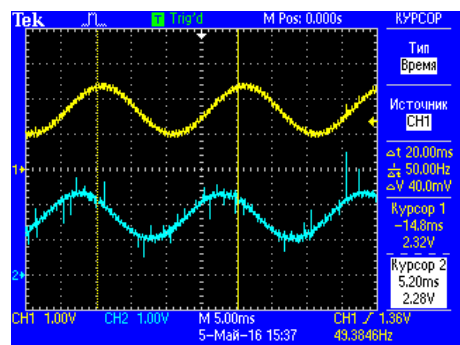


Рис. 7. Сигналы ШИМ-выходов при частоте 50 Гц и амплитуде 1,5 В (50%)

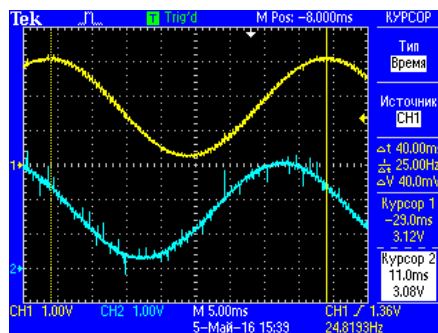


Рис. 8. Сигналы ШИМ-выходов при частоте 25 Гц и амплитуде 3 В (90%)

Из рис. 6-8 видно, что разработанная программа корректно обрабатывает задания на амплитуду и частоту, а также формирует необходимый фазовый сдвиг между каналами. Также на осциллограммах видно, что в системе управления используется модуль сдвига, поскольку синусоидальный сигнал находится не на нулевом уровне.

### ВЫВОДЫ

В данной статье был рассмотрен начальный этап освоения программирования сигнальных процессоров TMS320F28335, а именно реализация разомкнутой скалярной системы управления асинхронным электроприводом на основе сигнального процессора TMS320F28335. Разработанные алгоритмы позволяют работать при любых заданиях на амплитуду и частоту напряжения, что обеспечивает работоспособность платы для любых режимов работы электропривода. Дальнейшее развитие работы будет направлено на подключение разработанной микропроцессорной системы управления к силовой части автономного инвертора напряжения и исследование характеристик электропривода.

### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Браславский И.Я. Асинхронный полупроводниковый электропривод с параметрическим управлением. М.: Энергоатомиздат, 1988. 224 с.
2. Электромеханические и тепловые режимы асинхронных двигателей в системах частотного регулирования: учеб. пособие / Р.Т. Шрейнер, А.В. Костылев, В.К. Кривовяз, С.И. Шилин. Екатеринбург: ГОУ ВПО «Рос. гос. проф.-пед. ун-т», 2008. 361 с.
3. Texas Instruments. TMS320x2833x, 2823x Enhanced Pulse Width Modulator (ePWM) Module. Reference Guide. Literature Number: SPRUG04A October 2008–Revised July 2009. 115 p.
4. Berrezzek F., Omeiri A. A study of new techniques of controlled PWM inverters // European journal of scientific research. 2009. Vol.32 (1). p. 88.
5. Holtz J. Pulsewidth modulation for electronic power conversion // Proceedings of the IEEE. 1994. Vol.82, p. 1214.