

позиционных систем, могут успешно применяться в таких системах на базе комплектных электроприводов. Выбор оптимального управления на очередном шаге выполняется путем расчета пробных шагов и последующих переводов системы в установившиеся состояния, что позволяет ликвидировать рассогласования между заданием и реальным положением объекта за минимальное время при строгом выполнении технологических требований и ограничений координат. Непрерывно вычисляется рассогласование по положению между эталонной и действительной траекториями движения. В функции рассогласования производится синтез закона управления приводом с ограничениями рывка, ускорения и скорости, по аналогии с позиционной системой. Находятся максимальная скорость отработки этого рассогласования и путь торможения с нее до останова. Найденная максимальная скорость отработки рассогласования алгебраически суммируется с заданной скоростью движения, привод разгоняется до нее с предельными возможностями за минимальное время без перерегулирования. Если сумма скоростей окажется больше допустимого значения для данной системы, то ее следует ограничить. Движение привода на суммарной скорости продолжается до тех пор, пока отклонение эталонной от действительной траектории движения не станет меньше ранее определенного пути торможения. Далее изменение скорости привода выполняется с учетом ограничения на рывок и ускорение как в позиционной системе на участке торможения в функции рассогласования. Задание по скорости на привод на участке торможения определяется суммой двух составляющих от эталонной траектории движения и от алгоритма изменения скорости отработки рассогласования в функции уменьшающейся ошибки по положению.

Заключение

Методика последовательного многошагового синтеза позволяет реализовывать предельные динамические возможности и автоматизировать сложные производственные процессы, проектировать системы управления и тренажерные системы, обеспечивать операторов в реальном масштабе времени «советами» по управлению высокоскоростными подвижными объектам.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Беллман Р. Динамическое программирование. – М.: Изд-во “Иностранная лит-ра”, 1960. – 400 с.
2. Мясников В.А., Игнатьев М.Б., Покровский А.М. Программное управление оборудованием. – Л.: Машиностроение, Ленингр. отд., 1974. – 243 с.
3. Дорри М.Х. Импульсное управление глубиной погружения подводного аппарата // Сборник трудов XXXIV Всероссийской конференции «Управление движением морскими судами и специальными аппаратами». – М.: ИПУ РАН, 2007. – С. 20–25.

УДК: 519.6

С.В. Киор, А.М. Романов

ЦИФРОВОЙ МНОГОФУНКЦИОНАЛЬНЫЙ КОНТРОЛЛЕР ЭЛЕКТРОПРИВОДА ЦМКП-В2

Современное развитие микроэлектроники, в том числе наличие высокопроизводительных вычислителей и быстродействующих цифро-аналоговых (ЦАП) и аналогово-цифровых преобразователей (АЦП), позволяет построить высокопроиз-

водительный многофункциональный контроллер электропривода для нужд робототехники и мехатроники. К такому контроллеру предъявляются следующие требования:

- ◆ Работа со всеми основными типами электродвигателей, применяемыми в робототехнике, а именно с двигателями постоянного тока, асинхронными, синхронными и шаговыми.
- ◆ Обработка нескольких датчиков разных типов (тока, момента, скорости, положения) имеющих различные как цифровые, так и аналоговые интерфейсы.
- ◆ Использование современных алгоритмов управления, в том числе на интеллектуальных технологиях, таких как ассоциативная память, искусственные нейронные сети, нечеткая логика [1].
- ◆ Возможность управления несколькими двигателями при помощи одного контроллера.
- ◆ Наличие высокоскоростных интерфейсов, обеспечивающих взаимодействие между несколькими контроллерами.
- ◆ Наличие стандартизированных интерфейсов, обеспечивающих быструю интеграцию как в новые разработки, так и в уже существующие системы.
- ◆ Наличие выделенного высокоскоростного технологического интерфейса для отладки программного обеспечения и диагностики контроллера.

В рамках поставленной задачи на кафедре «Проблемы управления» МИРЭА был разработан цифровой многофункциональный контроллер привода (ЦМКП-В2).

Архитектура контроллера представлена на рис. 1. Ядром ЦМКП-В2 является программируемая логическая интегральная схема (ПЛИС) Spartan 3E [2] с частотой тактового генератора 50 МГц.

Программно-аппаратное обеспечение (ПАО) ПЛИС основано на модульной архитектуре с открытой шиной Wishbone. Модульная структура подразумевает наличие отдельных стандартных модулей, которые автоматизировано компонуются в требуемую конфигурацию. Структурная схема программно-аппаратного обеспечения ПЛИС представлена на рис. 2.

Выбранная архитектура позволяет реализовать многоконтурную систему автоматического управления (САУ), в том числе построенную на нескольких процессорах или с использованием специализированных вычислителей, что увеличивает производительность и устойчивость к сбоям. Так, например, формирование управляющих сигналов отдельными двигателями становится аппаратно-независимым. Межпроцессорное взаимодействие может быть реализовано: при помощи общей шины, с использованием общих массивов памяти либо выделенных портов обмена данными. В качестве основного процессора общего назначения для системы реализован модуль процессора C16. Это стековый 16-разрядный процессор адаптированный для работы с кодом, написанным на языке С. Помимо процессоров общего назначения есть возможность использовать для реализации функций управления процессоров цифровую обработку сигналов (ЦОС). На данный момент в качестве модуля процессора ЦОС реализована модификация процессора DSPu16. По сравнению с оригинальной версией этого процессора была добавлена возможность проведения 24-битных вычислений с фиксированной точкой и системой прерываний.

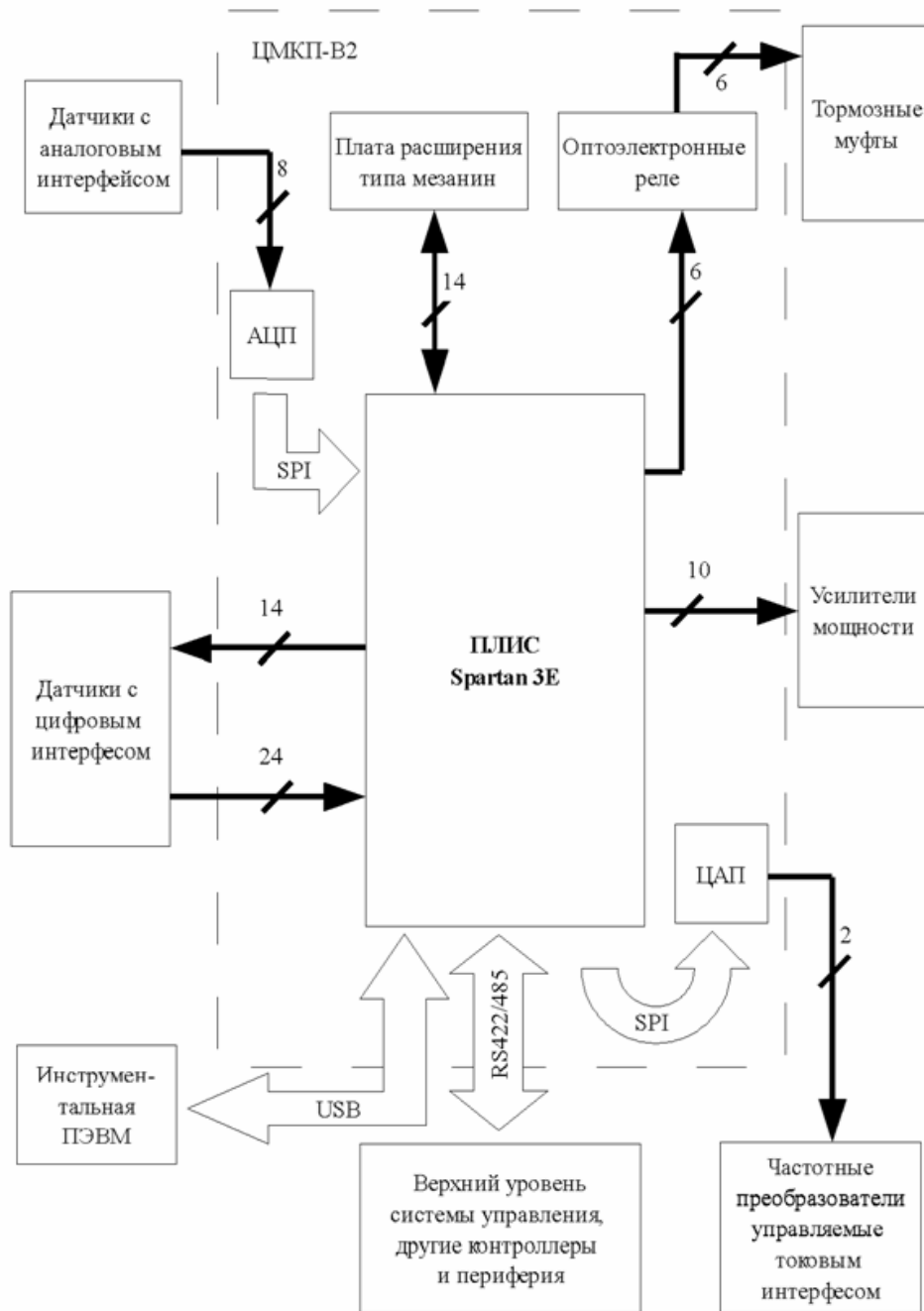


Рис. 1. Архитектура контроллера ЦМКП-В2

Для увеличения производительности контроллера в контуре цифровой САУ использованы отдельные модули реализующие быстрое вычисление тригонометрических функций по алгоритму CORDIC.

Для решения задач управления на базе разработанного контроллера могут быть аппаратно реализованы технологии нейронных сетей [3] и ассоциативной

памяти. Модули реализующие нейронные сети генерируются автоматически при помощи специализированной САПР.

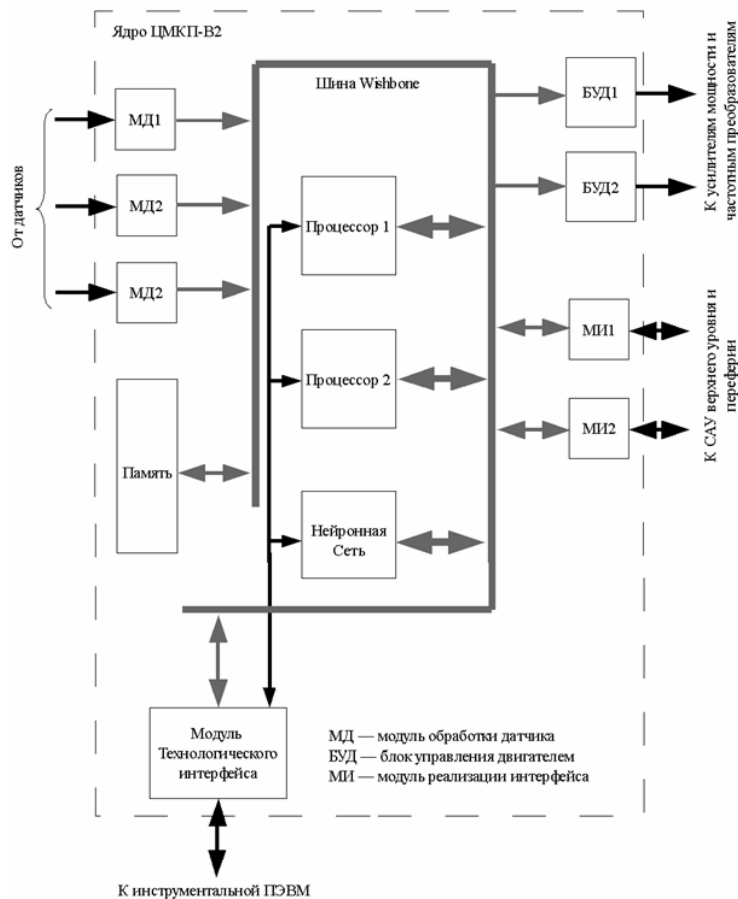


Рис. 2 Структурная схема ПОА ПЛИС ЦМКП-В2

Для отладки, настройки и последующей модернизации на контроллере ЦМКП-В2 реализован технологический интерфейс. Он позволяет оператору подключиться к контроллеру с помощью инструментальной ПЭВМ по интерфейсу USB. Технологический интерфейс обеспечивает доступ ко всем модулям системы по общей шине Wishbone, а также к микропроцессорам, модулям нейронной сети и ассоциативной памяти при помощи выделенного порта.

Подключение цифровых датчиков осуществляется при помощи дискретных входов/выходов. Плата ЦМКП-В2 имеет 24 дискретных входа 14 дискретных выходов, которые могут быть использованы для обработки датчиков. С точки зрения ПОА ПЛИС каждый датчик обрабатывается отдельным модулем, который подключает к остальной системе по общей шине данных. На данный момент реализованы модули обработки инкрементных квадратурных датчиков, датчиков с интерфейсами SSI, SPI, I2C, а также датчиков имеющих на выходе ШИМ- и ЧИМ-сигналы.

Для подключения аналоговых датчиков в контроллере реализован 8-канальный 12-разрядный АЦП с частотой дискретизации 250 кГц, который с точки зрения ПОА ПЛИС является цифровым датчиком с интерфейсом SPI. В том

случае, если для работы датчика требуется формирование задающего аналогового сигнала (например, датчики СКВТ), его можно сформировать при помощи одного из 2-х 10-разрядных ЦАП, которые также управляются по интерфейсу SPI.

Многофункциональный контроллер электропривода ЦМКП-В2 позволяет работать с двигателями постоянного тока, асинхронными, синхронными и шаговыми двигателями.

Типовые схемы подключения двигателей к контроллеру представлены на рис. 3. Совокупность интерфейсов системы подразумевает два основных подхода к их управлению:

- ◆ непосредственное формирование напряжения на обмотках двигателя при помощи ШИМ- или ЧИМ-сигналов, с использованием внешнего усилителя мощности;
- ◆ управление частотным преобразователем (контроллером шагового двигателя) при помощи аналогового токового интерфейса, сигналами дискретных выходов или цифрового интерфейса стандарта RS422/485.

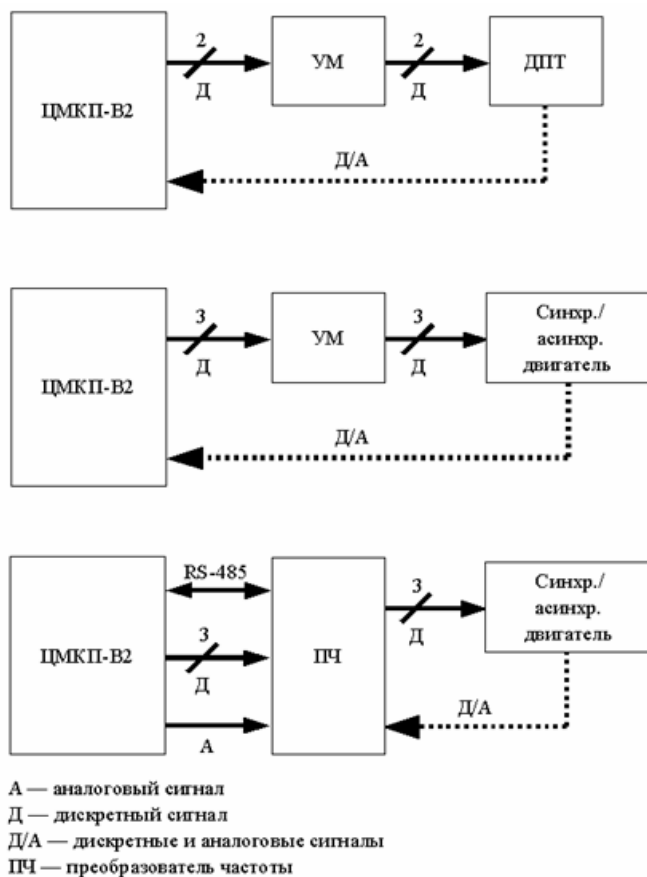


Рис. 3. Типовые схемы подключения двигателей к контроллеру

В первом случае для подключения к усилителю мощности (УМ) могут быть использованы 10 дискретных выходов типа открытый коллектор. Это позволяет при помощи одного контроллера управлять одним двигателем переменного тока или двумя двигателями постоянного тока. Для использования в ПАО ПЛИС разра-

ботаны модули управления высокомоментными бесколлекторными двигателями постоянного тока и векторного управления двигателями переменного тока.

Для управления двигателями переменного тока при помощи частотного преобразователя предпочтительнее использовать токовый интерфейс, так как он имеет более высокие быстродействие и помехозащищенность. Для формирования аналогового сигнала необходимо воспользоваться одним из 2-х расположенных на плате 10-разрядных ЦАП. Также возможно управление частотным преобразователем при помощи дискретного интерфейса RS422/485. Для считывания и записи специальных флагов частотного преобразователя (разрешение/запрет движения, наличие перегрузки по току) могут быть использованы дискретные входы/выходы ЦМКП-В2.

Для управления тормозными муфтами и электромагнитными пускателями на плате контроллера реализованы 6 сильноточных дискретных выходов на оптомисторах.

Разработанный цифровой многофункциональный контроллер электропривода имеет 8 высокоскоростных интерфейсов стандарта RS422/485 со скоростью передачи данных до 16 Мбит/с. Это позволяет реализовать оперативный обмен командной и телеметрической информацией между ЦМКП-В2 и системой управления верхнего уровня и между контроллерами в режиме группового электропривода.

Использование интерфейсов RS422/485 позволяет не только просто интегрировать контроллер с остальными частями системы управления при новых разработках, но и использовать его при модернизации устаревших систем.

Функционал ЦМКП-В2 можно расширить дополнительными интерфейсами, так как в конструктиве предусмотрен разъем подключения и места для закрепления мезонинного модуля. На данный момент в номенклатуру разработанных модулей входят платы интерфейсов: RS232, PS/2, USB1.1, VGA. Ведется разработка модуля интерфейса FastEthernet. Также существует мезонин высокопроизводительного контроллера ARM9 Cortex 3 с установленным Ethernet и CAN интерфейсами на борту.

Разработанный контроллер прошел комплексные испытания в составе системы управления промышленных транспортного робота «Электроника НЦТМ25м» и манипуляционного робота «РМ-01» [4]. Испытания показали высокое качество управления, удобство настройки и минимальные сроки внедрения.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Интеллектуальные системы автоматического управления / Под ред. И.М. Макарова, В.М. Лохина. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2001.
2. *Зотов В.Ю.* Проектирование цифровых устройств на основе ПЛИС фирмы Xilinx в САПР WebPack ISE. – М.: Горячая линия – Телеком, 2003.
3. *Еремин Д. М., Киор С. В.* Методы аппаратной реализации цифровых нейронных сетей на базе программируемых логических интегральных схем. / Труды XII международного научно-технического семинара «Современные технологии в задачах управления, автоматизации и обработки информации», Алушта, 2003.
4. *Черноусько Ф.Л., Болотник Н.Н., Градецкий В.Г.* Манипуляционные роботы. – М.: Наука, 1989.