

## ОСОБЕННОСТИ РАЗРАБОТКИ И ИСПОЛЬЗОВАНИЯ МНОГОФУНКЦИОНАЛЬНОГО ПРОГРАММИРУЕМОГО ОБОРУДОВАНИЯ ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКИХ СИСТЕМ

*Прус В.В., к.т.н., доц., Кушпиль А.А., асп., Некрасов А.В., к.т.н., доц.  
Кременчугский национальный университет имени Михаила Остроградского  
ул. Первомайская, 20, 39600, г. Кременчуг, Украина  
E-mail: prus@kdu.edu.ua*

Выполнен анализ типовых структур, предложен подход к разработке и рассмотрены возможности использования многофункционального технологического компьютеризированного и микропроцессорного оборудования электромеханических систем.

**Ключевые слова:** микроконтроллер, система управления, интерфейс связи, программируемая логическая интегральная схема, драйвер.

**Введение.** В настоящее время наблюдается устойчивая тенденция к внедрению в промышленности программируемых модулей прямого цифрового управления электромеханических систем.

Принцип такого управления предусматривает возможность непосредственной коммутации элементов силового преобразователя микроконтроллером или промышленным компьютером с использованием необходимых сигналов обратных связей. В идеале подобный модуль представляет собой одноплатную схему управления, силовой преобразователь и исполнительный механизм, выполненные в одном конструктивном блоке, а наличие дополнительных интерфейсных плат не предусматривается.

**Анализ предыдущих исследований.** Рассмотрим структуру и состав типовой системы управления электроприводом переменного тока ПЧ-АД.

На уровне внутренней структуры принципы построения и элементная база других систем управления электроприводом во многом аналогичны, и отличаются, в основном, типами используемых силовых преобразователей [1].

Современные системы ПЧ-АД преимущественно обеспечивают векторное управление, которое реализуется на основе математической модели двигателя, что требует значительных вычислений в реальном времени – решения дифференциальных уравнений, преобразования координат и т.п. Поэтому в качестве вычислительного устройства обычно используют высокопроизводительный процессор цифровой обработки сигналов. Ряд фирм выпустили на рынок новые микросхемы серии Motor Control для управления двигателями на базе DSP силовых микроконтроллеров. Они не только обеспечивают требуемую производительность центрального процессора, но и содержат ряд встроенных периферийных устройств, предназначенных для оптимального сопряжения контроллера с инверторами и датчиками обратных связей.

Силовая схема чаще всего реализуется в виде системы выпрямитель-инвертор. Преобразователи могут быть построены на базе дискретных элементов, в качестве которых для токов до 500А используются IGBT- и MOSFET-транзисторы, а также низковольтные и высокочастотные тиристоры.

Возможна реализация силовой схемы на основе силовых интеллектуальных модулей – транзисторных и диодно-транзисторных модулей, выполненных по интегральной технологии на основе транзисторов типа IGBT.

Варианты однопроцессорной системы управления характерны для систем невысокой сложности. Более функциональные преобразователи реализуются по двухпроцессорной схеме. При этом один из контроллеров выполняет задачи непосредственно управления. Он управляет IGBT транзисторами схемы преобразователя через микросхемы сопряжения (драйверы) посредством встроенного модуля ШИМ либо силовыми интеллектуальными модулями (IPM) через интерфейсы. В состав периферии этого микроконтроллера должен входить многоканальный модуль АЦП для преобразования сигналов обратной связи по скорости и току фаз.

Второй процессор служит для организации интерфейса с периферийными устройствами – управление с пульта, связь с другими устройствами через стандартные интерфейсы, организация аналогового и цифрового ввода/вывода для подключения датчиков и других устройств. Таким образом, преобразователи строятся по модульному принципу, что позволяет вводить их в существующие системы автоматизации и строить сложные системы управления.

Несмотря на кажущуюся многофункциональность, подобные устройства характеризуются двумя существенными недостатками. Во-первых, они имеют достаточно сложную систему взаимосвязи внутренних модулей, а функции, открытые пользователю, существенно ограничены, что приводит к невозможности их полнофункционального использования в составе промышленного оборудования. Во-вторых, внутренняя структура модулей сама ограничена по функциональности и не может быть перепрограммирована по желанию пользователя, что существенно снижает возможность совместимости устройств от различных производителей.

К тому же, квалифицированная техническая поддержка таких устройств, а также обучение работе с ними обслуживающего персонала фирмами-производителями фактически не реализуются.

**Цель работы.** Обосновать принципы реализации гибких структур перепрограммируемых многофункциональных цифровых модулей управления электромеханическими системами и комплексами, а также перспективы их использования и изучения.

**Материал и результаты исследований.** Стремительный прогресс в области микроэлектроники и информационных технологий предоставляет современному разработчику систем управления огромный арсенал технических средств и инструментов для проектирования.

Обязательными требованиями, предъявляемыми к проектируемым системам управления, являются требования по устойчивости, предсказуемости, регламентированному времени выдачи управляющего воздействия.

Так как информация в цифровых системах с аналоговой частью, к которым можно отнести все электромеханические системы, проходит этапы квантования, на качество системы в целом существенно влияют такие его параметры, как время дискретизации и разрешающая способность. Они обосновывают требования к быстродействию и разрядности вычислительных средств, блоков АЦП, и ЦАП, т.е. количеству разрядов цифрового кода, с которым производятся операции. При этом, как правило, ограничиваются широко распространенными 10–12-разрядными преобразователями, которые обеспечивают достаточную точность преобразования.

Также выдвигаются дополнительные требования к наличию определенного количества цифровых и аналоговых каналов ввода/вывода в устройстве управления и регламентированному пределу времени обработки информации, что связано с необходимостью реализации режима реального времени.

Количество каналов аналогового ввода зависит от числа обратных связей в системе и в большинстве систем не превышает трех. Аналогично количество цифровых каналов ввода/вывода зависит от количества контролируемых сигналов и управляющих воздействий объектов дискретного действия.

Кроме обеспечения необходимой частоты опроса, производительность модуля управления системы должна обеспечивать минимально возможное запаздывание, вносимое в систему. Это зависит не только от собственного быстродействия модуля, но и от оптимальности алгоритмов вычислений. При проектировании цифровых управляющих устройств возможны аппаратная или программная реализация алгоритма управления.

При первом подходе управляющее воздействие формируется при помощи специально спроектированных цифровых схем, реализующих ряд стандартных алгоритмов. При этом можно достичь значительного быстродействия и параллельности выполнения отдельных операций, однако такая структура не позволяет существенно изменять алгоритмы управления.

Большой гибкости можно достичь при программной реализации, описав весь алгоритм управления при помощи программы, которая выполняется микропроцессором или промышленным компьютером. Однако при этом все действия выполняются строго последовательно, и при большом количестве контролируемых параметров или сложных алгоритмах возможна большая нагрузка на процессор. Это приводит к снижению качества управления, т.е. устройство просто не будет успевать вовремя обрабатывать поступающую информацию, нарушая принцип управления в режиме реального времени. Решить данную проблему можно введением дополнительных вычислительных мощностей, что приводит к существенному усложнению системы и появлению ряда дополнительных проблем, связанных с усложнением схемотехники устройства и взаимодействием между отдельными модулями программного обеспечения.

Таким образом, можно выделить основные особенности реализации современных многофункциональных цифровых систем управления электроприводом:

- сложность алгоритмов управления, которая приводит к необходимости повышения производительности центрального процессора и перехода к специализированным процессорам с системой команд, адаптированной к решению задач цифрового регулирования в реальном времени;

- кроме прямого цифрового управления силовым преобразователем в системах реализуются дополнительные функции поддержки интерфейса с пользователем и внешними устройствами, что требует наличия дополнительного процессора;

- появление распределенных систем управления, обеспечивающих согласованную работу нескольких приводов, предусматривает широкое применение стандартных промышленных интерфейсов передачи данных, чаще всего RS-485 и CAN;

- использование в качестве силовых преобразователей как элементов в дискретном исполнении, так и интегральных схем интеллектуальных силовых модулей, включающих схемы драйверов, защиты и непосредственно ключи, что, с одной стороны, значительно упрощает схемотехнику устройства, однако обходится в несколько раз дороже элементов в дискретном исполнении;

- основные усилия при проектировании систем управления направлены не на аппаратную часть, а на создание программного обеспечения, что, при использовании процессоров цифровой обработки сигналов, требует от разработчика большого опыта с подобными системами и высокой квалификации.

Попытка объединить оба описанных выше подхода реализации алгоритма управления может быть реализована при совместном использовании микроконтроллеров и программируемых логических интегральных схем (ПЛИС). Так, в микроконтроллерах кроме процессорного блока (программный подход), реализована возможность параллельной работы встроенных периферийных модулей, типичных для систем управления. В ПЛИС же совокупность связей между стандартными аппаратными узлами может быть соответствующим образом сконфигурирована в процессе программирования.

При таком подходе могут быть существенно снижены требования к самому микроконтроллеру, т.е. нужная функциональность системы может быть обеспечена при использовании простых современных микроконтроллеров промышленных семейств, поддерживающих эффективную работу в режиме реального времени, например микросхем PIC фирмы Microchip – одного из лидеров на рынке микроконтроллеров. По сравнению с аналогами, такие микроконтроллеры привлекают своей невысокой стоимостью и наличием широкого спектра коммуникационных интерфейсов.

При этом, благодаря RISC системе команд и Гарвардской архитектуре, их быстродействие даже на низких частотах остается достаточно большим – требуется всего 4 такта на одну команду (8 для команд переходов), а благодаря малой длине команд существенно экономится память.

Практически все контроллеры этого производителя имеют счетчик-таймер, который может использоваться для счета внешних импульсов, генерации

периодических прерываний или отсчета временных интервалов.

Связь с внешними устройствами осуществляется при помощи портов ввода-вывода, при этом каждый вывод может быть индивидуально запрограммирован пользователем, так как большинство линий порта мультиплексированы с выводами соответствующих периферийных модулей.

Все входы контроллеров защищены от перенапряжения диодами и имеют высокую нагрузочную способность (20..25 мА), что позволяет непосредственно коммутировать переходную и часть силовой аппаратуры модулей управления.

Для работы с аналоговыми сигналами определенные типы контроллеров имеют встроенные АЦП или компараторы. Существуют контроллеры со встроенным управлением ЖКИ-индикаторами, выходами ШИМ, разнообразными последовательными интерфейсами (USART, I2C, SPI, CAN, USB), имеющие встроенную энергонезависимую память данных. Для работы вместе с более мощными микропроцессорными системами ряд контроллеров имеют PSP (Parallel Slave Port). Реализована серия со встроенным приемопередатчиком радиоканала, предусматривающая генерацию прерываний от каждого из модулей и по изменению состояния отдельного входа.

Запись программы может осуществляться в установленную в плате микросхему (ISP – внутрисхемное программирование), что позволяет легко перепрограммировать основные режимы работы системы.

В результате анализа характеристик данных микроконтроллеров были выделены преимущества, обеспечивающие перспективы их использования в системах управления реального времени:

- простота проектирования и обслуживания (небольшое количество выводов, простая система команд, наличие большого количества доступных отладочных средств);
- возможность многократного перепрограммирования, в том числе внутрисхемного;
- высокое быстродействие благодаря RISC-архитектуре;
- наличие нужного числа каналов аналогового ввода;
- наличие специализированных периферийных модулей ШИМ, позволяющих реализовать непосредственное управление силовыми преобразователями;
- возможность реализации простой связи с устройствами верхнего уровня, другими микроконтроллерами и интерфейсными схемами благодаря наличию стандартных последовательных интерфейсов;
- пониженное энергопотребление, что особенно важно в автономных системах.

Таким образом, несмотря на то, что структура и состав периферии подобных микросхем фиксирована производителем, часть цифровых каналов ввода/вывода теряется при использовании периферийных модулей и практически отсутствуют встроенные микросхемы ЦАП высокой точности преобразования, использование их в составе модулей управ-

ления электромеханическими системами полностью оправдано. Недостающие функции могут быть реализованы на отдельной периферии и частично в составе ПЛИС.

Принимая во внимание возможность использования традиционных подходов при синтезе модулей управления в обычном и понятном виде, наличие САПР с удобным интерфейсом пользователя и технической поддержки производителя, предпочтительным в использовании при проектировании рассматриваемых устройств являются микросхем ПЛИС производства фирмы Altera архитектуры CPLD.

Они содержат многовходовую программируемую матрицу элементов «И», вырабатывающую конъюнктивные термы из поступающих на ее входы переменных, группу элементов «ИЛИ», между которыми распределяются выработанные термы, и некоторые другие элементы, обогащающие функциональные возможности проектируемых блоков. Функциональные блоки, в свою очередь, реализуют двухуровневую логику с вариантами формируемого результата.

Наиболее перспективными в плане соотношения цена-функциональность являются ПЛИС смешанной архитектуры. Учитывая наличие внутреннего ОЗУ конфигурирования, что обеспечивает теоретически бесконечное количество циклов перепрограммирования, а также стоимость и наличие в продаже микросхем, наиболее обоснованным выбором являются ПЛИС семейства FLEX10K, а именно микросхема EPF10K10, ресурсов которой более чем достаточно для решения поставленных задач.

Функциональная схема модуля управления системы ПЧ-АД, построенного в соответствии с предложенным подходом, представлена на рис. 1, где отражено распределение функций управления между микросхемами микроконтроллера и ПЛИС, характерное для всех подобных структур.

Изготовление подобного компьютеризированного лабораторного и исследовательского электромеханического оборудования позволяет, наряду с описанными выше преимуществами, характерными для самой структуры модуля управления, исследовать режимы работы оборудования и его составных частей в промышленных условиях, значительно повышая уровень подготовки обслуживающего персонала путем закрепления навыков работы с современной элементной базой, программным обеспечением и значительного снижения периода их адаптации к реальным промышленным условиям в процессе возможной переподготовки.

Кроме этого, комплексное использование таких систем позволяет изучить принципы построения и проектирования многофункциональных программируемых систем, ознакомиться с принципами взаимодействия основных блоков в составе модулей управления, расширяет возможности диагностики и контроля работы электромеханического оборудования, позволяет исследовать и компенсировать путем внутрисхемного перепрограммирования влияние некачественности напряжения питания, а также допустимых отклонений технологических условий эксплуатации и факторов окружающего среды.

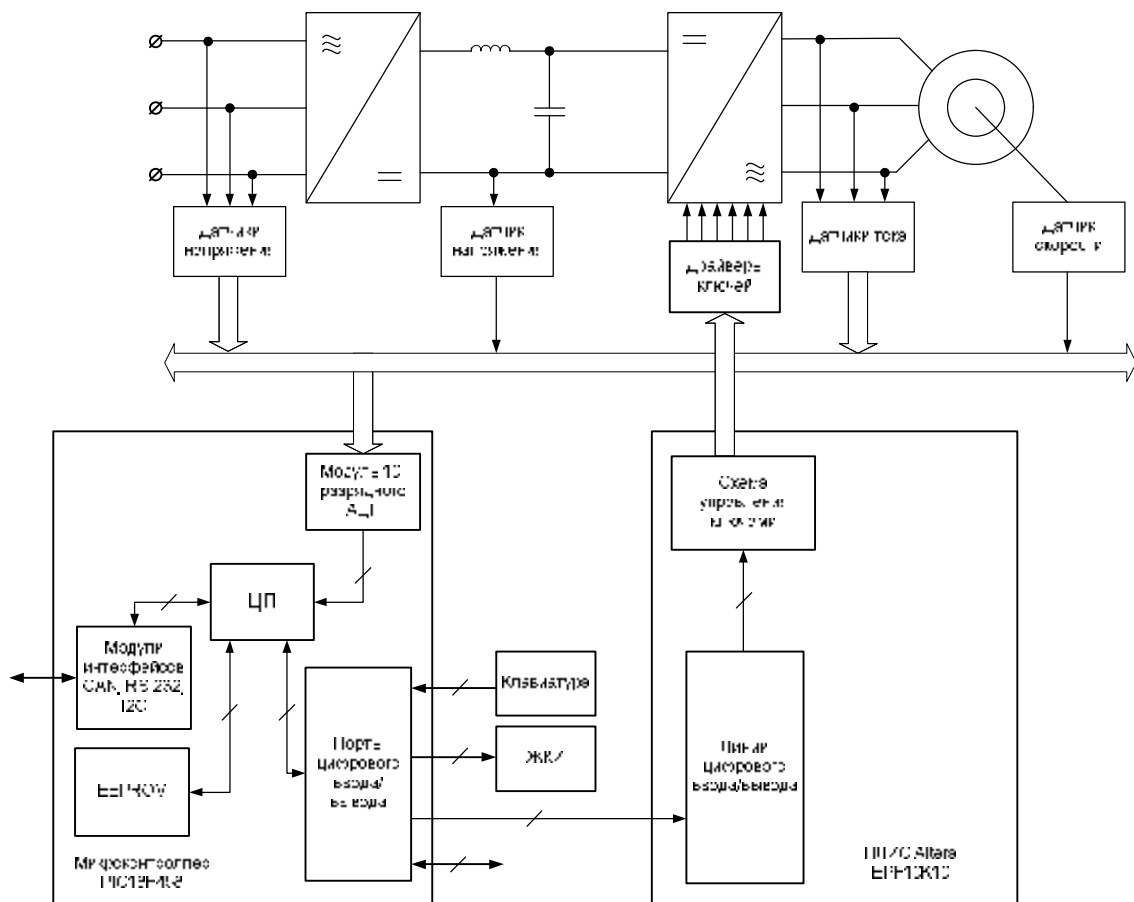


Рисунок 1 – Функціональна схема модуля управління системи ПЧ-АД

**Выводы.** В работе обоснован принцип реализации гибких структур перепрограммируемых многофункциональных цифровых модулей управления электромеханическими системами и комплексами на основе совместного использования микросхем промышленных микроконтроллеров и ПЛИС, а также предложены направления и перспективы использования, исследования и изучения таких модулей.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Козаченко В. Основные тенденции развития встроенных систем управления двигателями и требования к контроллерам // СНИП NEWS. – 2009. – № 1. – С. 29–34.

Стаття надійшла 15.02.2011 р.  
Рекомендовано до друку к.т.н., доц.  
Гладирем А.І.

## ОСОБЛИВОСТІ РОЗРОБКИ ТА ВИКОРИСТАННЯ БАГАТОФУНКЦІОНАЛЬНОГО ПРОГРАМОВАНОГО ОБЛАДНАННЯ ЕЛЕКТРОМЕХАНІЧНИХ СИСТЕМ

*Прус В.В., к.т.н., доц., Кушпиль А.А., аспірант, Некрасов А.В., к.т.н., доц.  
Кременчуцький національний університет імені Михайла Остроградського  
вул. Першотравнева, 20, 39600, м. Кременчук, Україна  
E-mail: prus@kdu.edu.ua*

Виконаний аналіз типових структур, запропонований підхід щодо розробки та розглянуті можливості використання багатофункціонального технологічного комп'ютеризованого та мікропроцесорного обладнання електромеханічних систем.

**Ключові слова:** мікроконтролер, система керування, інтерфейс зв'язку, програмована логічна інтегральна схема, драйвер.

## FEATURES OF WORKING OUT AND USE OF THE MULTIPURPOSE PROGRAMMED EQUIPMENT OF ELECTROMECHANICAL SYSTEMS

*Prus V., Cand. of Sc. (Tech.), Assoc. Prof., Kushpil A., post-grad., Nekrasov A., Cand. of Sc. (Tech.), Assoc. Prof.  
Kremenchuk Mykhailo Ostrohradskiy National University  
vul. Pershotravneva, 20, 39600, Kremenchuk, Ukraine  
E-mail: prus@kdu.edu.ua*

The analysis of typical structures is made, the approach to working out is offered and possibilities of use of the multipurpose technological computerised and microprocessor equipment of electromechanical systems are considered.

**Key words:** microcontroller, control system, communication interface, programmed logic integrated scheme, driver.