

# Контроллеры МК11.3 для высокопроизводительных систем прямого цифрового управления двигателями

Темирев А.П., Козаченко В.Ф., Обухов Н.А., Анучин А.С., Трофимов С.А.

## 1. Введение

Современный этап развития микропроцессорных средств управления двигателями, статическими преобразователями энергии, а также системами воспроизведения движений для робототехники и ЧПУ характеризуется небывало быстрым развитием этой сферы рынка и участием в борьбе за него ведущих мировых корпораций, занятых производством изделий микроэлектроники.

Объем рынка встраиваемых систем управления двигателями и преобразователями растет стремительными темпами за счет активного перехода от нерегулируемых систем привода к регулируемым во всех сферах экономики, начиная с коммунального хозяйства и энергетики и, заканчивая, добывающими отраслями, машиностроением, производством изделий бытовой техники. Этот переход обусловлен необходимостью развития энерго- и ресурсо-сберегающих технологий, миниатюризацией изделий, комплексной автоматизацией производства, и поддерживается достижениями в области современной силовой электроники, в частности, созданием силовых интеллектуальных модулей с прямым процессорным управлением. По самым скромным оценкам на одного жителя земли в ближайшее время будет приходиться более 10 электрических двигателей, из которых по крайней мере один потребует качественного регулирования скорости. Таким образом, рынок встраиваемых микроконтроллерных систем управления двигателями имеет устойчивые тенденции к росту и борьба за него обещает быть очень острой.

Лет пять назад лидерство в этой области принадлежало компаниям Intel, Siemens (Infineon), Motorola, предлагавшим на рынок специализированные микроконтроллеры с традиционной архитектурой и широким набором встроенных на кристалл и оптимизированных для управления двигателями периферийных устройств (серии микроконтроллеров типа Motor Control). Сейчас конкуренция обострилась: в борьбу активно включились корпорации, занятые производством процессоров и микроконтроллеров для целей цифровой обработки сигналов (DSP), прежде всего Texas Instruments и Analog Devices, предложившие на рынок свои серии специализированных сигнальных микроконтроллеров типа Motor Control.

Сигнальные микроконтроллеры имеют более быстродействующую модифицированную Гарвардскую архитектуру, ориентированную на эффективное решение в реальном времени задач цифровой фильтрации, цифрового регулирования, управления в реальном времени, а также весь набор встроенных периферийных устройств для интерфейсов с датчиками, силовыми ключами и системами управления верхнего уровня. Имея примерно 10-кратный выигрыш по производительности по сравнению с микроконтроллерами традиционной архитектуры, сигнальные микроконтроллеры позволяют эффективно решать сложные задачи векторного и бездатчикового управления двигателями, оставаясь в рамках однопроцессорной системы управления.

За последние 7 лет фирма Texas Instruments разработала и выпустила на рынок серию специализированных сигнальных микроконтроллеров для управления двигателями 'С24xx, в состав которой входит уже 18 устройств (см. [1,2,3]). Краткие технические данные микроконтроллеров этой серии представлены в таблице 1.

Таблица 1. Состав семейства сигнальных микроконтроллеров TMS320x24xx

Микроконтроллер	Производительность, Млн.оп./с	Встроенная память ОЗУ/ПЗУ/Флэш, слов	Интерфейс внешней памяти	Число каналов ШИМ/ Таймеров	Число каналов АЦП/время преобразования	CAN-интерфейс	Последовательные порты
TMS320C242	20	544/4К/-	-	8/2	8/900 нс	-	SCI
TMS320F240	20	544/-/16К	Есть	12/3	16/6,1 мкс	-	SCI, SPI
TMS320F241	20	544/-/8К	-	8/2	8/900 нс	Есть	SCI, SPI
TMS320F243	20	544/-/8К	Есть	8/2	8/900 нс	Есть	SCI, SPI
TMS320LC2401A	40	1 К/8К/-	-	7/2	5/500 нс	-	SCI
TMS320LC2402A	40	544/6К/-	-	8/2	8/425 нс	-	SCI
TMS320LC2404A	40	1,5К/16К/-	-	16/4	16/375 нс	-	SCI, SPI
TMS320LC2406A	40	2,5К/32К/-	-	16/4	16/375 нс	Есть	SCI, SPI
TMS320LF2401A	40	1К/-/8К	-	7/2	5/500 нс	-	SCI
TMS320LF2402	30	1К/-/8К	-	8/2	8/500 нс	-	SCI
TMS320LF2402A	40	1К/-/8К	-	8/2	8/500 нс	-	SCI
TMS320LF2403A	40	1К/-/16К	-	8/2	8/500 нс	Есть	SCI, SPI
TMS320LF2406	30	2,5К/-/32К	-	16/4	16/500 нс	Есть	SCI, SPI
TMS320LF2406A	40	2,5К/-/32К	-	16/4	16/500 нс	Есть	SCI, SPI
TMS320LF2407	30	2,5К/-/32К	Есть	16/4	16/500 нс	Есть	SCI, SPI
TMS320LF2407A	40	2,5К/-/32К	Есть	16/4	16/500 нс	Есть	SCI, SPI
SM320F240	20	544/-/16К	Есть	12/3	2/6,1 мкс	-	SCI, SPI
SMJ320F240	20	544/-/16К	Есть	12/3	2/6,1 мкс	-	SCI, SPI

В серию входят микроконтроллеры с масочно-программируемым ПЗУ (на заводе изготовителе), ориентированные на массовое производство, а также с встроенной флэш-памятью (программируемой пользователем непосредственно в изделии), ориентированные на мелко- и средне-серийное производство. Первое поколение микроконтроллеров 'C ('F) имеет производительность 20 Млн. оп./с и тактовую частоту 20 МГц. Второе поколение 'LC ('LF) – в полтора, два раза более высокую производительность – 30 и 40 Млн. оп./с. Микроконтроллеры с закрытой архитектурой (без интерфейса с внешней памятью) предназначены, главным образом, для использования в дешевых изделиях массового спроса, а микроконтроллеры с открытой архитектурой – для построения сложных систем управления с расширенной памятью и расширенными интерфейсными возможностями.

Микроконтроллеры серии отличаются друг от друга не только быстродействием, объемами встроенной памяти программ и памяти данных, но и составом интегрированных на кристалл периферийных устройств, что позволяет оптимизировать выбор процессора под конкретное применение по критерию функциональные возможности за минимум цены. Изделия выпускаются в стандартном (0° С ÷ 70° С), промышленном (-40° С ÷ 85° С) и автомобильном (-40° С ÷ 125° С) температурном диапазоне. Микроконтроллеры SM320F240 и SMJ320F240 предназначены для использования в военной технике.

Предлагаемые вниманию читателя в настоящей статье системы встроенного управления МК11.3 двигателями и системами питания реализованы на самом функционально-полном изделии серии – микроконтроллере TMS320LF2407A.

## 2. Назначение контроллеров МК11.3

Контроллеры МК11.3 разработаны для применения в высокопроизводительных цифровых системах управления двигателями различных типов с использованием статических преобразователей частоты на биполярных транзисторах с изолированным затвором (IGBT) и интеллектуальных силовых модулях. Функциональные возможности и

интерфейсы допускают управление асинхронными, синхронными, шаговыми, гистерезисными, вентильными и вентильно-индукторными двигателями с различным числом фаз, вплоть до 6.

Уникальной особенностью контроллеров является одновременное управление сразу двумя мостовыми инверторами в режимах фронтовой, центрированной или векторной широтно-импульсной модуляции на частотах несущей до 20 кГц с общим количеством одновременно формируемых ШИМ-сигналов до 16. При этом дополнительно обеспечивается прием сигналов аппаратных аварий с автоматической блокировкой инверторов, а также сигналов аналоговых датчиков токов, напряжений и технологических переменных в нескольких стандартных форматах с общим числом аналоговых каналов 16.

На базе контроллеров МК11.3 возможно построение как разомкнутых, так и замкнутых систем регулирования момента, скорости и положения с прямой цифровой обработкой сигналов датчиков положения и скорости различных типов: импульсных фотоэлектрических, индуктивных, на элементах Холла и др. с числом каналов от трех до шести, как с дифференциальными так и недифференциальными выходами. Возможно применение контроллеров МК11.3 для реализации сложных алгоритмов векторного и бездатчикового управления двигателями, управления преобразователями частоты с активными выпрямителями и инверторами с рекуперацией энергии торможения в сеть, управления двух-двигательными и двух-инверторными электромеханическими системами.

Контроллеры могут применяться в системах вторичного, автономного и стабилизированного питания, в системах удаленного сбора и обработки информации. Они снабжены гальванически-развязанными интерфейсами RS-485 и CAN для сопряжения с системами управления верхнего уровня и предназначены для работы в составе локальных промышленных сетей распределенного микроконтроллерного управления оборудованием. Высокая производительность процессора позволяет дополнительно к функциям прямого цифрового управления ключами преобразователя реализовывать встроенное регулирование технологических переменных (давления, температуры и т.д.), а также функции дискретных управляющих автоматов. В последнем случае встроенная система управления может взять на себя задачи, решаемые обычно промышленным программируемым контроллером. Например, преобразователь частоты может управлять релейно-контакторным оборудованием станции группового управления насосными агрегатами, обеспечивая автоматическое подключение и отключение отдельных насосов к преобразователю частоты и промышленной сети с соответствующей синхронизацией и переводом агрегатов из состояния работы в состояние горячего/холодного резерва и обратно.

Универсальность контроллеров обеспечивается адаптацией программного обеспечения к конкретной области применения и унифицированными интерфейсами. Для уменьшения габаритных размеров контроллера применены особые «двухэтажные» разъемы, имеющие дополнительную защиту от электромагнитных помех встроенными ферритовыми кольцами.

Вместе с контроллером могут поставляться платы дискретного ввода/вывода и пульты оперативного управления с SPI- или CAN-интерфейсом, как для встраивания в переднюю панель силового преобразователя, так и выносные - пульты дистанционного управления. Возможна поставка заказных интерфейсных плат ввода/вывода, подключаемых к контроллеру МК11.3 по синхронному периферийному интерфейсу SPI, по CAN-интерфейсу, а также «плат-наездников», устанавливаемых на разъемы расширения микроконтроллера.

Таким образом, основное назначение контроллеров МК11.3 – встраиваемые высокопроизводительные микроконтроллерные системы распределенного управления двигателями и статическими преобразователями энергии с полномасштабными

функциями прямого цифрового управления силовыми ключами и цифровой обработкой сигналов датчиков.

### **3. Архитектура контроллеров МК11.3**

На рис. 1 показана фотография контроллера МК11.3, реализованного на одной четырех-слойной печатной плате с двухсторонним монтажом планарных компонентов и габаритами 142\*162\*32 мм.

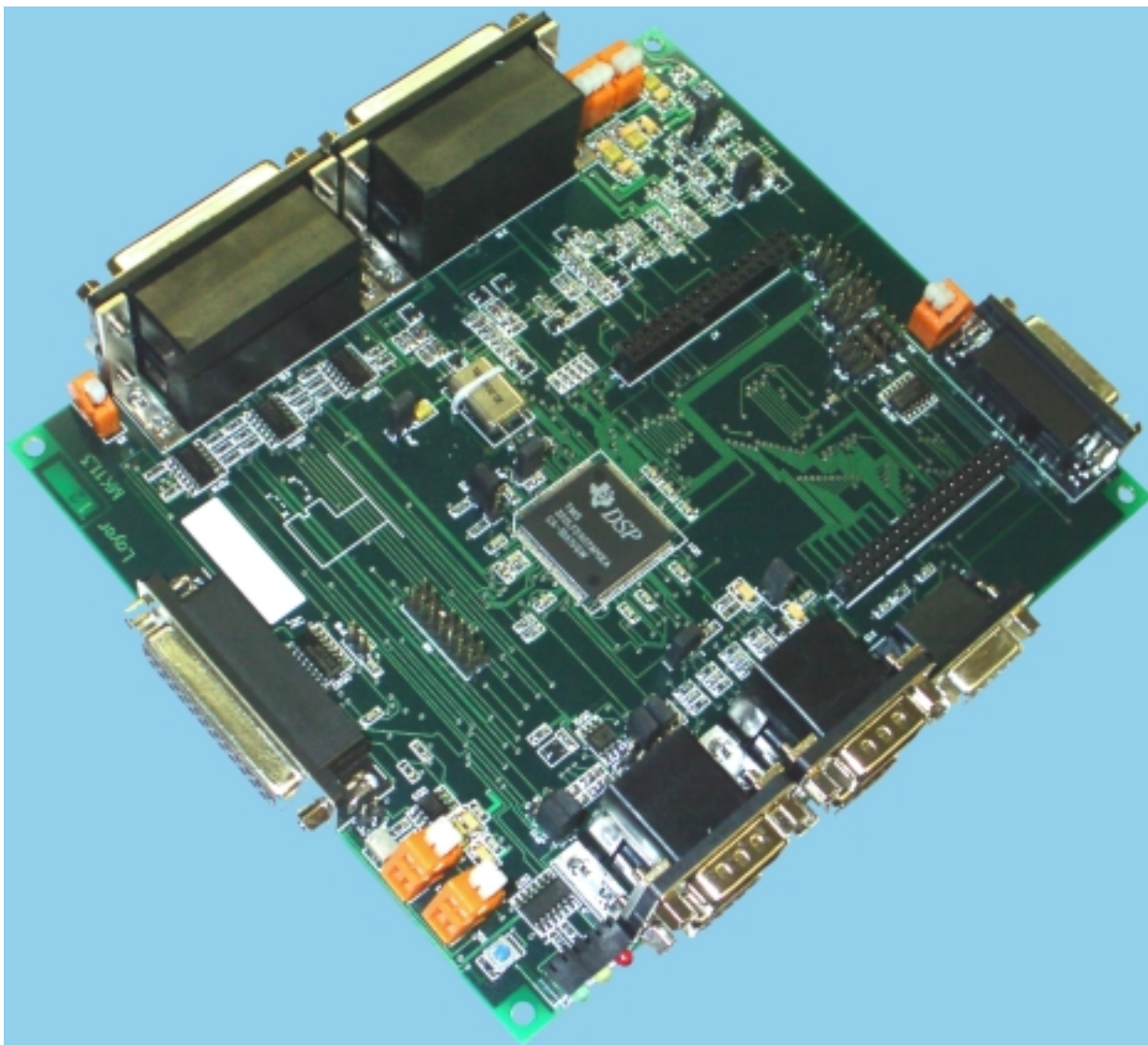


Рис. 1. Контроллер МК11.3

На рис. 2 представлена функциональная блок-схема контроллера МК11.3, дающая представление о составе и назначении отдельных узлов, а также о типах интерфейсов контроллера с внешним оборудованием.

Центральный процессор TMS320LF2407APGEA получает питание от встроенных блоков питания цифровых и аналоговых цепей, выходные напряжения которых контролируются схемой сброса процессора и мониторинга питающих напряжений. Для прецизионных систем векторного управления рекомендуется полное гальваническое разделение аналоговой части контроллера от цифровой части. Для традиционных

применений аналоговые и цифровые земли могут быть объединены. Поддерживаются оба варианта.

Блок тактового генератора допускает использование в качестве центрального процессора микроконтроллеров с тактовыми частотами 30 МГц и 40 МГц.

Блок управления режимами работы позволяет выполнить загрузку программного обеспечения от персонального компьютера во встроенную флэш-память микроконтроллера по последовательному каналу связи RS-232, приступить к выполнению ранее загруженной программы пользователя, а также задать режим работы центрального процессора: микроконтроллер/микропроцессор. В первом режиме в качестве памяти программ используется встроенная флэш-память микроконтроллера объемом 32 К слова, а во втором – внешнее быстродействующее кодовое ОЗУ объемом 32 К слова, что позволяет загружать и отлаживать пользовательские программы без программирования флэш-памяти, точно так же, как это делается в стандартных оценочных платах, например EVM2407.

### Блок-схема контроллера МК11.3

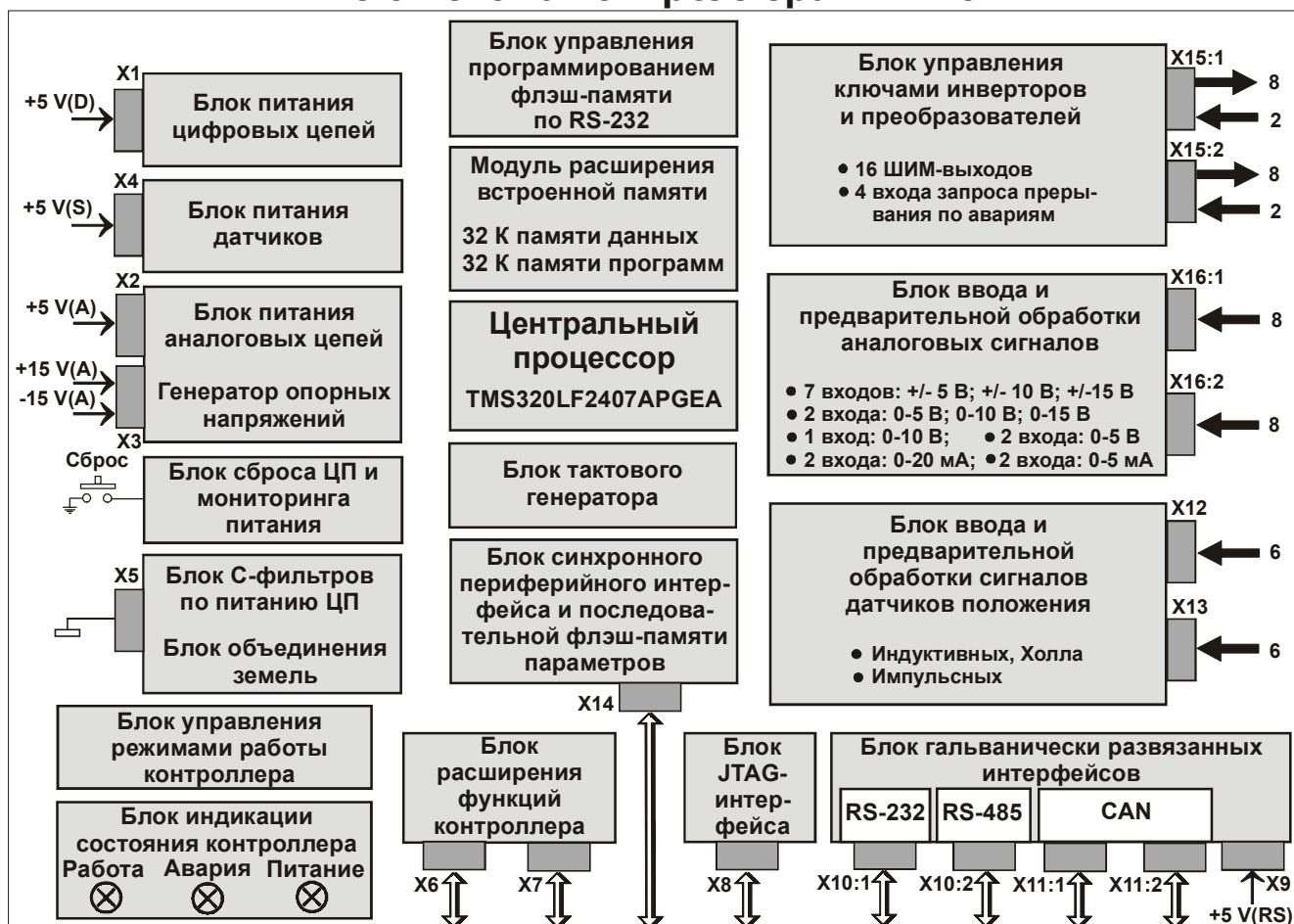


Рис. 1. Функциональная блок-схема контроллера МК11.3

Сдвоенные разъемы X15, X16 в верхней части контроллера обеспечивают подключение драйверов силовых ключей преобразователей, а также ввод внутренних и внешних сигналов с аналоговых датчиков. Поддерживается выдача до 16 ШИМ-сигналов управления ключами инверторов, ключами преобразователей постоянного напряжения в постоянное (DC/DC), ключами цепей приема энергии рекуперативного торможения в балластные резисторы, ключами управления дополнительным оборудованием, таким как

обмотки возбуждения двигателей, электромагнитные тормоза и пр. Все ШИМ-выходы буферированы схемами с открытым коллектором и обеспечивают непосредственное подключение к контроллеру входных цепей оптронов драйверов для обеспечения гальванической развязки системы управления от силовой части преобразователя.

Запросы прерываний по аппаратно-идентифицируемым авариям в силовой части преобразователей вводятся сигналами типа «открытый коллектор».

Блок ввода и предварительной обработки аналоговых сигналов обеспечивает подключение к контроллеру как встроенных в преобразователи датчиков аналоговых сигналов, так и внешних датчиков. В качестве внутренних датчиков наиболее часто применяются датчики токов фаз двигателей, датчики тока и напряжения в звене постоянного тока, датчики входного и выходного напряжения DC/DC-преобразователей. В качестве внешних датчиков используются датчики технологических переменных, значения которых поддерживаются средствами регулирования скорости двигателей – датчики давления, температуры, расхода. Могут подключаться также внешние задающие аналоговые устройства, например, задающие потенциометры.

Специально для повышения точности измерения токов фаз двигателей в системах векторного и бездатчикового управления предусмотрена возможность ввода сигналов одновременно по двум каналам в различных форматах ( $\pm 5\text{ В}$ ,  $\pm 10\text{ В}$ ), что повышает эффективное разрешение АЦП. Аналого-цифровой преобразователь имеет режим автоматического сканирования заданной последовательности каналов для уменьшения затрат процессорного времени на обслуживание АЦП. Кроме того, результаты преобразования по каждому из каналов находятся с отдельных регистров, отображенных на память данных. Дополнительной перезаписи содержимого этих регистров в память данных не требуется – результат преобразования всегда доступен для обработки.

Для замкнутых систем привода, реализации режимов автоматической коммутации вентильных и вентильно-индукторных двигателей предусмотрены интерфейсы с импульсными, индуктивными датчиками положения и датчиками положения на элементах Холла (разъемы X12 и X13 в правом нижнем углу контроллера на рис. 1). В блоке предварительной обработки выполняется преобразование уровней сигналов и реализуется защита от помех триггерами Шмитта. Допускается подключение к контроллеру импульсных датчиков положения, как с дифференциальными, так и с потенциальными выходами напряжением от 5 до 12 В. Через эти же разъемы к датчикам может подводиться питание. Центральный процессор имеет встроенный блок «квадратурной» обработки сигналов импульсных датчиков положения, позволяющий идентифицировать механическое и электрическое положение ротора двигателя, а также скорость ротора. В зависимости от разрешения используемого датчика положения диапазон регулирования скорости в замкнутых системах может достигать 10000:1.

Допускается подключение к контроллеру МК11.3 до двух различных датчиков положения, например: одного импульсного с дифференциальными выходами и одного импульсного с потенциальными выходами; импульсного с дифференциальными выходами и индуктивного трехканального. Интерфейс обеспечивает ввод сигналов с индуктивных датчиков и датчиков на элементах Холла с числом каналов от трех до шести, что достаточно для большинства применяемых сегодня и разрабатываемых вентильных и вентильно-индукторных двигателей.

Блок гальванически развязанных интерфейсов RS-232, RS-485 и CAN (сдвоенные разъемы в нижней части контроллера на рис. 1) обеспечивает загрузку программного кода в контроллер и возможности объединения устройств с установленными в них контроллерами МК11.3 в локальные промышленные сети. Особенно перспективным является использование для этой цели CAN-интерфейса с надежным и помехоустойчивым протоколом 2.0В, так как два нижних уровня протокола обмена, физический и канальный, реализуются встроенным на кристалл TMS320LF2407 контроллером CAN-сети. Используемые в контроллерах МК11.3 новейшие драйверы CAN-сети производства

Texas Instruments, обеспечивают высокие скорости обмена до 1 Мбит/с и позволяют выполнять горячее подключение к сети новых узлов даже при отключенном питании узла (переконфигурирование сети). Выходные линии CAN-драйвера разведены на два разъема X11:1 и X11:2, что позволяет существенно упростить кабельные соединения при большом числе узлов в сети. Все разъемы имеют встроенную защиту от помех ферритовыми кольцами.

Для подключения дополнительных плат расширения ввода/вывода, пультов оперативного управления, часов реального времени и т.д. предусмотрен быстродействующий синхронный периферийный интерфейс SPI (разъем X14 на левой стороне контроллера). Встроенный селектор каналов обеспечивает обращение к шести внешним платам расширения ввода/вывода.

В большинстве промышленных применений требуются функции энергонезависимого сохранения текущих параметров и настроек системы управления. Так, в преобразователях частоты обычно сохраняются параметры регуляторов, задатчиков интенсивности, параметры текущей конфигурации системы управления и пр. С этой целью в состав МК11.3 включен блок последовательной энергонезависимой флэш-памяти параметров на 256/512 слов. Просмотр и модификация параметров возможны с пульта оперативного управления или по локальной промышленной сети.

Контроллер МК11.3 имеет все возможности по интерактивной отладке программного обеспечения с использованием современных интегрированных пакетов типа Code Composer. С ним можно работать точно так же, как с любой оценочной платой производства Texas Instruments: загружать код программы по последовательному каналу связи RS-232 с помощью последовательного загрузчика или через JTAG-интерфейс с помощью внутрисхемного эмулятора; выполнять программу в пошаговом режиме, с точками останова или в режиме прогона под управлением внутрисхемного эмулятора; выполнять программу в реальном времени. Отлаживаемая программа может находиться как во флэш-памяти микроконтроллера, так и во внешнем или внутреннем кодовом ОЗУ. Для облегчения отладки предусмотрен встроенный светодиодный блок индикации текущего состояния контроллера.

Таким образом, контроллеры МК11.3 являются функционально полными высокопроизводительными системами встроенного цифрового управления статическими преобразователями частоты и приводами с исполнительными двигателями различных типов.

#### **4. Технические характеристики контроллеров МК11.3**

В таблице 2 представлена сводка основных технических характеристик контроллеров МК11.3.

Таблица 2. Технические характеристики контроллеров МК11.3

<b>Питание</b>	
Цифровой части	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Внешний стабилизированный источник +5 В, не более 400 мА, разъем X1</li> <li>• Встроенный регулятор напряжения питания цифровой части +3,3 В</li> <li>• Встроенные индуктивно-емкостные фильтры по питанию ядра микроконтроллера, цифровой логики, тактового генератора</li> </ul>
Аналоговой части	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Внешний стабилизированный источник +5 В, не более 200 мА, разъем X2</li> <li>• Внешний стабилизированный источник <math>\pm 15</math> В, не более 50 мА, разъем X3</li> <li>• Встроенный регулятор напряжения питания аналоговой части +3,3 В</li> <li>• Встроенные индуктивно-емкостные фильтры по питанию АЦП и блока предварительной обработки аналоговых сигналов</li> <li>• Встроенный прецизионный генератор опорных напряжений +3,3 В и -3,3 В</li> </ul>



Датчиков	<ul style="list-style-type: none"> <li>Внешний источник питания от +5 В до +12 В, не более 200 мА, разъем Х4</li> <li>Ретрансляция напряжения питания на разъемы подключения датчиков Х12, Х13</li> </ul>
<b>Центральный процессор</b>	
Сигнальный микроконтроллер TMS320LF2407APGEA (40 МГц) или TMS320LF2407PGEA (30 МГц)	
<b>Память</b>	
Флэш-память встроенная	32 К слова, 4 сектора, коды секретности для защиты ПО от несанкционированного доступа.
ОЗУ двойного доступа, встроенное	544 слова: банк В0 (256 слов); банк В1 (256 слов); банк В2 (32 слова). Банк В0 конфигурируется как ОЗУ данных/кодовое ОЗУ
ОЗУ однократного доступа, встроенное	2 К слова. Конфигурируется как память данных, память программ или как память данных и программ одновременно.
Загрузочное ПЗУ	256 слов. Обеспечивает начальную загрузку флэш-памяти по последовательному каналу связи RS-232.
Внешнее ОЗУ	64 К слова быстродействующего статического ОЗУ без дополнительных тактов ожидания: <ul style="list-style-type: none"> <li>32 К слова памяти программ (0000h-7FFFh);</li> <li>32 К слова памяти данных (8000h-0FFFFh).</li> </ul>
<b>Режимы работы</b>	
Микроконтроллера/ Микропроцессора	Выполнение программы пользователя: во встроенной флэш-памяти/во внешнем кодовом ОЗУ
Загрузка/Выполнение	Загрузка флэш-памяти по интерфейсу RS-232 от персонального компьютера/Выполнение ранее загруженной программы пользователя
Разрешить/Запретить программирование	Разрешение/Запрет программирования флэш-памяти. При разрешении напряжение питания подается на встроенный программатор
RS232/RS485	Выбор активного последовательного асинхронного интерфейса
<b>Блок сброса центрального процессора и мониторинга питания</b>	
Сброс	При включении питания, от встроенной/внешней кнопки «Сброс»
Мониторинг	<ul style="list-style-type: none"> <li>Напряжений питания цифровой части процессора +5 В и +3,3 В;</li> <li>Раннее предупреждение недопустимого снижения и исчезновения напряжения питания с формированием запроса прерывания;</li> <li>Поддержка режимов автоматического самозапуска при исчезновении и восстановлении питания</li> </ul>
<b>Индикация состояния контроллера</b>	
Светодиодная	«Питание», «Работа», «Авария»,
<b>Интерфейс с инверторами и преобразователями напряжения</b>	
Число ШИМ-каналов	16: 12 каналов в режимах фронтальной/центрированной/векторной ШИМ, 4 канала в режимах только фронтальной/центрированной ШИМ
Частота несущей	До 20 кГц
Защита инвертора	<ul style="list-style-type: none"> <li>Установкой требуемого «мертвого времени»</li> <li>Блокировкой по одному из 4-х сигналов аппаратно-идентифицируемых аварий</li> </ul>
<b>Интерфейс с источниками аналоговых сигналов</b>	
16 каналов, из них:	<ul style="list-style-type: none"> <li>7 в формате <math>\pm 5</math> В или <math>\pm 10</math> В (выбирается пользователем) для подключения датчиков токов. Возможно переконфигурирование на заводе изготовителя для работы в формате <math>\pm 10</math> В или <math>\pm 15</math> В;</li> <li>2 в формате 0-5 В для подключения датчиков напряжения. Возможно переконфигурирование на заводе изготовителя для работы в формате 0-10 В или 0-15 В;</li> <li>1 в формате 0-10 В общего назначения;</li> <li>2 в формате 0-5 В или внешний резистор 10 кОм для подключения задающих потенциометров пультов оперативного и дистанционного управления;</li> <li>2 в формате 0-5 мА для подключения датчиков технологических переменных</li> <li>2 в формате 0-20 мА или 4-20 мА для подключения датчиков технологических переменных</li> </ul>
Входные фильтры	Встроенные, низкой частоты для защиты от электромагнитных помех на частотах коммутации силовых ключей (выше 5 кГц)
Защита входов	От перенапряжений и переполусовки
<b>Интерфейс с датчиками положения</b>	



Вариант N1	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 4-х, 5-и, 6-и канальный индуктивный датчик или датчик на элементах Холла для вентиляльных и вентиляльно-индукторных приводов;</li> <li>• Два импульсных датчика положения с недифференциальными выходами для двухдвигательных систем привода</li> </ul>
Вариант N2	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Два импульсных датчика, один из которых с дифференциальными, а второй - с недифференциальными выходами. Для двухдвигательных систем привода;</li> <li>• 3-х канальный индуктивный датчик или датчик на элементах Холла и импульсный датчик с дифференциальными выходами. Для двухдвигательных систем с разнотипными датчиками.</li> </ul>
Вариант N3	Синусно-косинусный датчик положения или датчик положения типа «вращающийся трансформатор». Требуется подключение внешней платы расширения ввода/вывода к разъемам X6, X7
Драйверы	Недифференциальных и дифференциальных сигналов с защитой от помех триггерами Шмитта, с преобразователями уровня напряжения до 3,3 В
Ввод сигналов	Экранированными витыми парами: сигнал, земля
<b>Последовательная энергонезависимая флэш-память параметров</b>	
512 байт с аппаратным разрешением/запрещением программирования. Модификация параметров с пульта оперативного управления или по локальной сети. Автосохранение важных переменных в аварийных ситуациях.	
<b>Синхронный периферийный интерфейс</b>	
Скорость обмена	До 10 Мбит/с
Длина фрейма данных	От 1 до 16 бит
Дополнительные возможности	Дешифратор устройств ввода/вывода для подключения до 6 внешних плат расширения
<b>Гальванически развязанные, защищенные от электромагнитных помех интерфейсы</b>	
RS-232	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Последовательный асинхронный, полнодуплексный режим приема/передачи данных от 1 до 8 бит на скоростях до 1875 Кбод</li> <li>• Последовательная загрузка флэш-памяти от персонального компьютера непосредственно в изделии</li> </ul>
RS-485	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Последовательный асинхронный 3-х или 4-х проводный (по выбору пользователя) для работы в локальных промышленных сетях с числом узлов до 32</li> <li>• Полудуплексный режим приема/передачи с выбором направления передачи данных со стороны контроллера</li> <li>• Встроенные терминальные резисторы, подключаемые пользователем</li> </ul>
CAN	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Помехоустойчивый, высоко надежный интерфейс локальной промышленной сети микроконтроллеров с протоколом 2.0В, скоростью приема/передачи данных до 1 Мбит/с, возможностью горячего конфигурирования сети</li> <li>• Два разъема для упрощения подключения к сети стандартными кабелями</li> <li>• Внешний источник питания драйверов CAN-сети от +5 В до +12 В, встроенный в контроллер стабилизатор питания CAN-драйвера</li> <li>• Встроенные терминальные резисторы, подключаемые пользователем</li> </ul>
<b>Отладочный JTAG-интерфейс</b>	
Весь арсенал средств отладки от внутрисхемных эмуляторов типа XDS-510, включая загрузку программного обеспечения во флэш-память или ОЗУ. Поддержка интегрированных интерактивных средств разработки и отладки программного обеспечения типа Code Composer, включая средства цифрового осциллографирования и отладки в реальном времени.	
<b>Блок расширения функций контроллера</b>	
Два разъема с выведенными сигналами шин адреса, данных и управления, а также дополнительными сигналами (питания, опорных напряжений и др.). Для подключения плат расширения ввода/вывода: приема и обработки сигналов синусно-косинусных датчиков или датчиков типа «вращающийся трансформатор»; ретрансляции сигналов датчиков положения в систему ЧПУ; аналогового вывода внутренних переменных для целей осциллографирования и пр.	
<b>Установки пользователя (переключатели на плате МК11.3)</b>	
JP1	Режим работы микроконтроллера/микропроцессора
JP2	Режим загрузки флэш-памяти/выполнения программы пользователя
JP3	Программирование флэш-памяти разрешить/запретить
JP4	Цифровую и аналоговую земли объединить/не объединять
JP5 ÷ JP10	Типы используемых датчиков положения
JP11	Источник питания драйверов интерфейсов RS-232, RS-485 внутренний/внешний

JP12, JP13	Активный последовательный интерфейс RS-232/RS-485
JP14	Начальный/Промежуточный узел сети на базе RS-485
JP15	Начальный/Промежуточный узел сети на базе CAN
JP16	Разрешение/запрещение программирования энергонезависимой флэш-памяти
JP17, JP18	Формат ввода аналоговых сигналов по каналам ADCIN1, ADCIN3: $\pm 10 \text{ В}/\pm 5 \text{ В}$
<b>Температурный диапазон работы контроллера</b>	
-40°C ÷ +85 °C	

## 5. Применения

Контроллеры МК11.3 в настоящее время используются в качестве систем встроенного управления пяти- и шестифазными вентильно-индукторными двигателями в блоках регулирования скорости насосов и компрессоров, построенных на основе силовых интеллектуальных IGBT-модулей. Привод имеет несколько особенностей, реализация которых стала возможной исключительно за счет высокой вычислительной мощности системы управления и наличия соответствующих интерфейсов:

- Реализовано одновременное управление повышающим/понижающим преобразователем постоянного напряжения в постоянное в звене постоянного тока и многофазным инвертором напряжения. Преобразователь напряжения выполняет функцию стабилизации и регулирования напряжения на входе инвертора при широком диапазоне изменения входного питающего напряжения. Инвертор, вместе с измерительной системой выполняет функцию автокоммутации двигателя, обеспечивая работу в режим бесколлекторного двигателя постоянного тока.
- Реализован цифровой наблюдатель положения ротора двигателя, разрешение которого на порядок выше разрешения по положению примененного индуктивного датчика положения, что позволяет при относительно дешевом датчике получить высокую точность идентификации положения ротора.
- Реализован перспективный метод автокоммутации вентильно-индукторных двигателей, приближающий алгоритм управления двигателем к алгоритму векторного управления с минимизацией пульсаций электромагнитного момента, высоким К.П.Д и коэффициентом мощности. Суть метода состоит в обеспечении 180-градусного интервала включения каждой фазы независимо от скорости двигателя при минимизации числа переключений ключей и динамических потерь в инверторе.
- Выполнена оптимизация периода квантования для групп типовых задач. С максимальной частотой 80 кГц решаются задачи прямого цифрового управления ключами и наблюдения за положением/скоростью ротора, реализуются защитные функции; с частотой 20 кГц работает большинство регуляторов (напряжения, скорости и др.); менее приоритетные задачи, например, обеспечения интерфейса с пользователем, решаются в фоновой программе.

Заложенные в контроллеры МК11.3 схемотехнические решения позволяют расширить сферу их применения в область систем векторного управления приводами с исполнительными двигателями различных типов. Контроллеры МК11.3 можно рассматривать как унифицированные решения для приводов с высоким уровнем функциональных требований.

### Литература

1. С. Грибачев, В. Козаченко. Новые микроконтроллеры фирмы Texas Instruments TMS320x24x для высокопроизводительных систем встроенного управления электроприводами. CHIP NEWS. Новости о микросхемах. N11-12(32-33), 1998г.

2. В. Козаченко. Основные тенденции развития встроенных систем управления двигателями и требования к микроконтроллерам. CHIP NEWS. Новости о микросхемах. N1 (34), 1999г.
3. В. Козаченко, С. Грибачев. Перспективная серия микроконтроллеров фирмы Texas Instruments '240х для систем цифрового управления двигателями. CHIP NEWS. Новости о микросхемах. N9(42), 1999г.
4. В. Козаченко, Н. Обухов, А. Анучин. Серия высокопроизводительных встраиваемых систем управления преобразователями частоты на базе сигнальных микроконтроллеров TMS320F241. Вестник национального технического университета «Харьковский политехнический институт», Выпуск 10, 2001г. Проблемы автоматизированного электропривода. Теория и практика.

С авторами можно связаться: тел. (095)-362-71-51, факс (095)-273-02-85, E-mail: kozachenko@aep.mpei.ac.ru