Новое поколение изделий компании Texas Instruments для управляемого электропривода

А.Лапин

В условиях сегодняшней популярности интеллектуального электропривода, применяемого в различных отраслях промышленности, бытовой технике и специальной аппаратуре, компания Texas Instruments проводит собственную техническую политику в этой области. Новые решения ведущей фирмы сейчас востребованы отечественным пользователем, поскольку в России происходит бурное развитие систем интеллектуального электропривода, обусловленное интересом к экономии энергоресурсов и внедрением мобильных систем.

РЕШЕНИЯ TEXAS INSTRUMENTS ДЛЯ УПРАВЛЯЕМОГО ЭЛЕКТРОПРИВОДА

Тенденции развития управляемого электропривода направлены на повышение КПД системы при снижении её себестоимости. Очередное продвижение в этом направлении возможно при внедрении нового поколения продукции Texas Instruments – аналоговых и цифровых решений, высокопроизводительных цифровых сигнальных контроллеров, микропроцессоров с ультранизким потреблением, специализированных АЦП и ЦАП, интерфейсов CAN, RS-232, RS-485, предназначенных для промышленного оборудования, станков, бортовой и автомобильной аппаратуры, бытовой техники. Аналогово-цифровые и цифроаналоговые решения Texas Instruments со стыковым интерфейсом к хост-компьютеру или к системе высшего уровня отличаются повышенной конкурентоспособностью и обеспечивают управление электродвигателями с высокими точностью и КПД. В комплекте с микросхемами и другими полупроводниковыми компонентами Texas Instruments поставляет соответствующее программное обеспечение и организует его техническую поддержку.

Табл. 1. Характеристики специализированных DSP-контроллеров

Серия	Формат данных	Описание
TMS320C24x DSP	16 бит, фикс. точка	SCI, SPI, CAN, 10-бит АЦП, менеджер событий, сторожевой таймер, flash-память, 20–40 MIPS
TMS320C28x DSP	32 бит, фикс. точка	SCI, SPI, CAN, 12-–бит АЦП, менеджер событий, сторожевой таймер, flash-–память, до 150 MIPS

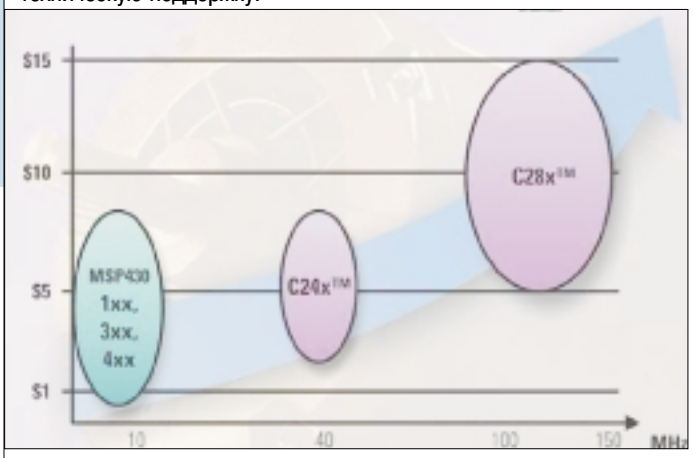

Рис.1. Цифровые сигнальные контроллеры для управляемого электропривода. C24x и C28x – серии приборов семейства TMS320C2000

К предлагаемым компанией изделиям для управляемого электропривода относятся цифровые сигнальные микроконтроллеры семейства TMS320C2000, сочетающие высокую эффективность, широкий спектр выполняемых функций и низкие цены (рис.1). Их применение позволяет оптимизировать реактивную мощность, потребляемую электроприводом переменного тока от сети. А семейство микроконтроллеров с ультранизким потреблением MSP430 идеально для применения в 16-бит системах управления электроприводом с высокими требованиями к энергетическим параметрам.

Табл. 2. Специализированные программные решения [4]

Система	Двигатель	Датчики	Описание	C24x	C28x
ACI1-–1	Однофазный переменного тока	Да	Тахогенератор, VHz/SinePWM/Closed Loop Speed PID	Да	Нет
ACI3-1	Трехфазный переменного тока	Да	Тахогенератор, VHz/SinePWM/Closed Loop Speed PID	Да	Да
ACI3-2	Трехфазный переменного тока	Нет	MRAS (Датчик скорости), VHz/SinePWM/Closed Loop Speed PID	Да	Да
ACI3-3	Трехфазный переменного тока	Да	Тахогенератор, FOS/SinePWM/Closed Loop Current PID for D, Q/Closed Loop Speed PID	Да	Да
ACI3-–4	переменного тока	Нет	Датчик скорости, FOC/Sine PWM/Closed Loop Current PID for D, Q/losed Loop Speed PID	Да	Да
PMSM3-1	Трехфазный Синхронизированный	Да	QEP, FOC/Sine PWM/Closed Loop Current PID for D, Q/Closed Loop Speed PID	Да	Да
PMSM3-2	Трехфазный Синхронизированный	Нет	Sliding Mode Observer, Датчик положения, FOC/Sine PWM/Closed Loop Current PID for D, Q/Closed Loop Speed PID	Да	Да
PMSM3-3	Трехфазный Синхронизированный	Да	Резольвер, FOC/Sine PWM/Closed Loop Current PID for D, Q/Closed Loop Speed PID	Нет	Да
PMSM3-4	Трехфазный Синхронизированный.	Да	QEP, FOC, управление положением	Нет	Да
BLDC3-1	Трехфазный Синхронизированный.	Да	Датчики Холла, Closed Loop Current PID for D, Q/Closed Loop Speed PID	Да	Да
BLDC3-2	Трехфазный Синхронизированный.	Нет	Датчик нулевого положения, Closed Loop Current PID for D, Q/Closed Loop Speed PID	Да	Да
DCmotor	DC, щёточный	Да	Управление скоростью и положением	Нет	Да

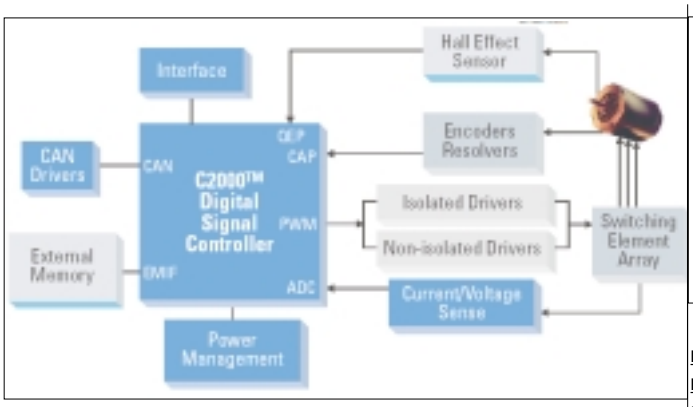

Рис.2. Программное обеспечение управляемого электропривода: нижний уровень – монитор реального времени и BIOS; верхний уровень - целевая программа пользователя; реализация – модульная библиотека функций, драйвера периферии и прочего

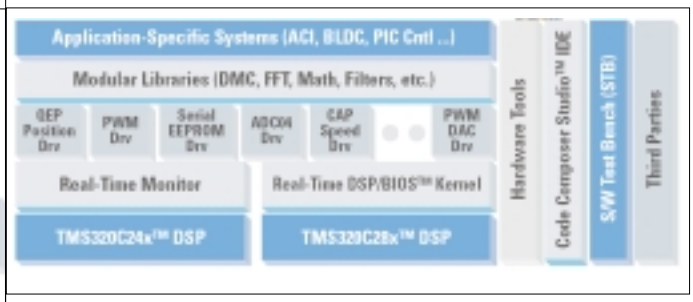

Рис.3. Управляемый электропривод. Ядро систем - цифровой сигнальный контроллер семейства TMS320C2000, работающий под управлением пользовательской программы через CAN-интерфейс. Управление электродвигателем осуществляется через гальваноразвязанную или негальваноразвязанную силовую часть. В цепь обратной связи от двигателя к контроллеру входит схема на основе датчика Холла, энкодера и цепи контроля напряжения питания двигателя. Узел Power Management контролирует питание системы для отработки аварийных ситуаций (запоминание текущего состояния, приведение механической части в безопасное состояние)

ПОЛНОФУНКЦИОНАЛЬНЫЕ АППАРАТНО-ПРОГРАММНЫЕ РЕШЕНИЯ

Texas Instruments предлагает полнофункциональные решения для всех типов двигателей: синхронных с постоянным током (Permanent Magnet Synchronous Motors – PMSM), асинхронных переменного тока (AC Induction – ACI), бесщёточных постоянного тока (DC Brushless – BLDC), коммутируемых реактивных (Switched Reluctance – SR) и других.

Управление осуществляется с использованием обратной связи от двигателя к контроллеру. Для реализации алгоритма управления предназначен программный пакет DMCLib, в который заложена поддержка ультрабыстрых прерываний и выполнение операций чтения – модификации – записи за один цикл. Удобство работы с пакетом и его многофункциональность обеспечивают высокую скорость разработки пользовательского ПО и системы в целом, а также их модификацию, что очень важно для современных рыночных условий (рис.2) [1].

Производительность, низкое энергопотребление, гибкость в применении – основные свойства 16/32-бит сигнальных микроконтроллеров семейства TMS320C2000 (табл.1), делающие их идеальным вариантом для реализации автоматизированных управляемых электроприводов распределённых систем управления промышленного и специального назначения (рис.2,3). Микросхемы контроллеров компании Texas Instruments для управляемого электропривода базируются на запатентованной технологии цифровых сигнальных контроллеров C2000, отвечающих критериям микросхем класса система на кристалле с высокой степенью интеграции периферийных устройств и памяти, что позволяет уменьшить число используемых компонентов и площадь микросхемы при одновременном снижении ее стоимости. Их применение облегчает наличие встроенных АЦП и специализированной периферии. Основные области применения микроконтроллеров семейства TMS320C2000 – промышленное и высокоответственное специальное оборудование.

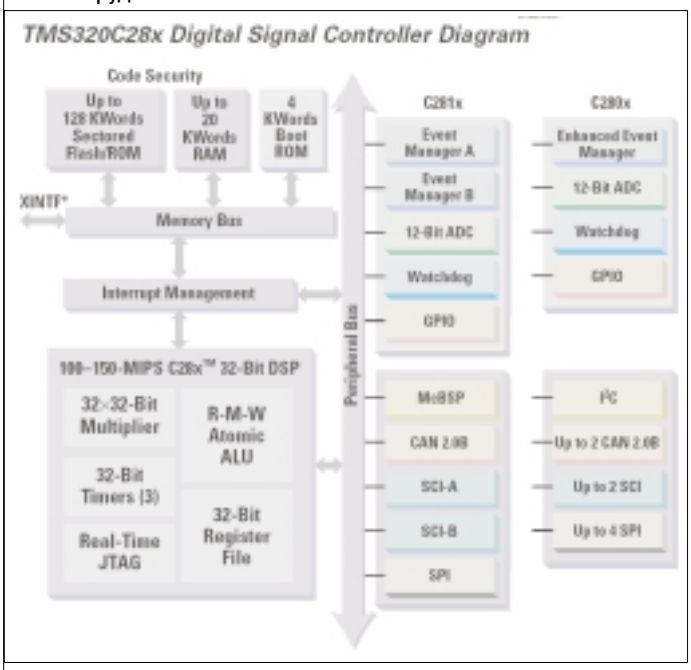

Рис.4. Структурная схема цифровых сигнальных контроллеров TMS320C28x.

Табл. 3. Инструменты разработчика [4]

Наименование	Обозначение	Описание
LF240A eZdsp	TMDSEZD2401/TMDSEZD2401-0E	Code Composer Studio™ v2.21 DSK version
LF2407A EVM Development Bundle	TMDS3P70106A/TMDS3P70106AE	Code Composer Studio (CCStudio) v2.2, XDS510PP+
LF2407 eZdsp	TMDSEZD2407/TMDSEZD2407-0E	CCStudio v2.21 DSK version
F2812 eZdsp	TMDSEZD2812/TMDXEZD2812-E	CCStudio v2.12 DSK version
F2812 eZdsp (DSP in Socket)	TMDSEZS2812/TMDXEZS2812-0E	CCStudio v2.12 DSK version
R2812 eZdsp Starter Kit	TMDXEZR2812/TMDXEZR2812-OE	CCStudio, USB cable, 256-Kbit socket EEPROM
DMC1500	Spectrum Digital 701228/9	Driver platform for AC induction/DC brushless, switch reluctance motors
DMC550	Spectrum Digital 701230	Driver platform for DC brushless motors
F2812 - комплект средств проектирования с эмулятором XDS510PP+	TMDSEVP2812/TMDXEVP2812-0E	F2812 eZdsp (DSP in socket), CCStudio v2.2, XDS510PP+
F2812 Комплект средств проектирования с USB-эмулятором	TMDSEVU2812/TMDXEVU2812-0E	F2812 eZdsp (DSP in socket), CCStudio v2.2, XDS510™ USB Emulator

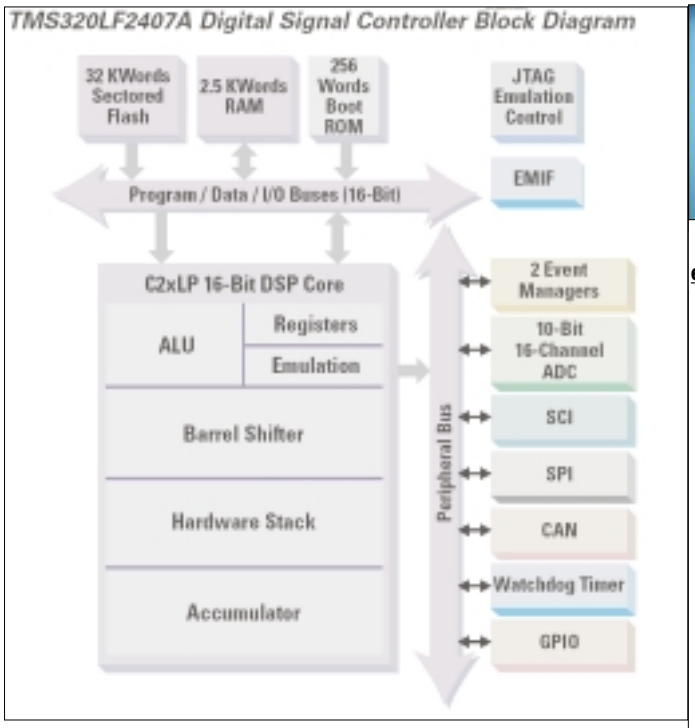

Рис.5. Блок-схема цифрового сигнального контроллера TMS320LF2407A, входящего в серию TMS320C24

Недорогие сигнальные контроллеры производительностью до 150 MIPS именно для вашего приложения

TMS320F2810, TMS320F2811 и TMS320F2812 (рис.4) – первые промышленные 32-бит микроконтроллеры с возможностью использования внешней flash-памяти и с производительностью до 150 MIPS. Серия C28x – мировой лидер на рынке изделий для высококачественных сложных управляемых электроприводов. Характеристики микроконтроллеров серии оптимизированы именно для этого приложения. Предусмотрена поддержка обратной связи через датчики в условиях работы электропривода в распределённой системе управления (см. рис.3). Учитываются современные требования к регулированию фактора мощности. Программирование выполняется на языке C/C++, обеспечивающем генерацию высокоэффективного кода прикладной программы.

Рис.6. Стартовый комплект eZdsp DSP Starter Kit

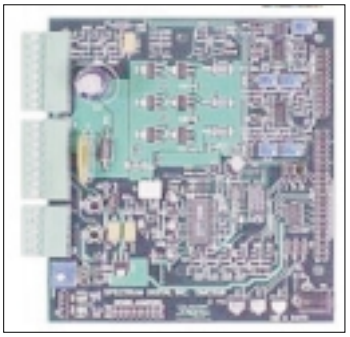

Рис.7. Плата контроллера электродвигателя DMC550

Микросхемы серии TMS320C24x (рис.5) – 16-бит микроконтроллеры, предназначенные для недорогих систем высокоэффективного управляемого электропривода с отличными массогабаритными характеристиками. Производительность 20–40 MIPS наряду с встроенной flash-памятью позволяет реализовывать сложные алгоритмы управления. Благодаря этому разработчики могут использовать более эффективные двигатели меньших габаритов, предоставляя заказчикам высокопроизводительные, энергосберегающие, "тихие" системы. Микросхемы серии – лидеры на рынке по соотношению цена-качество.

Аппаратные и программные инструменты разработчика. Расширения

Texas Instruments предлагает полнофункциональные инструменты для разработчиков автоматизированного электропривода (табл.2,3) [2]. К ним относятся следующие:

- плата контроллера электродвигателя DM1500, совместимая с комплектом разработчика LF2407 и F2812eZdsp Starter Kit (рис.6). Предусмотрен цифровой ввод/вывод с гальваноразвязкой. Силовые цепи постоянного тока рассчитаны на номинальное напряжение 350 В и номинальный ток 5 А (1 А в импульсе). Поддерживает двигатели ACI, BLDC, SR;
- плата контроллера электродвигателя DMC550 (рис.7), совместимая с комплектом разработчика LF2407 и F2812eZdsp Starter Kit.

Табл. 4. Некоторые совместимые с TMS320C24x/C28x продукты независимых производителей [5]

Фирма	Категория продукта	Продукт
Softronics	Инструментальные платы и эмуляторы	Эмуляторы, целевые платы, Flash-–комплект
Spectrum Digital	Инструментальные платы и эмуляторы	Эмуляторы, оценочные платы, макетные платы
Technosoft	Инструментальные платы и алгоритмы	Разработчик цифровых систем управления электродвигателями, комплект проектирования
International Rectifier	Инструментальные платы	Система проектирования iNTERO
NFO Control AB	Инструментальные платы	Услуги по разработке аппаратных и программных средств
Hyperception	Графическая среда разработки	RIDE, VAB
MathWorks	Графическая среда разработки	MATLAB, SIMULINK, комплекты проектировщика
Visual Solutions	Графическая среда разработки	VisSim™ – Высокоскоростная программа созДания опытного образца на базе DSP-микроконтроллеров C2000 компанииTI
ML Electronics	Инженерный сервис	Разработка аппаратных и программных средств
Aria Controls	Инженерный сервис	Разработка аппаратных и программных средств
Wiley Electronics	Инженерный сервис	Библиотеки и платы управления двигателями
d3 Engineering	Инженерный сервис	Разработка аппаратных и программных средств
Port GmbH	CAN-драйвера	ANSI-C пакет драйвера CANopen
Schmidhauser AG	CAN-драйвера	Dynamic Transverse Controller, ACS Servo Controller
Vector CANtech	CAN-драйвера	Комплекты программ для изготовителей сложного автомобильного оборудования
ETAS	Операционные системы	OSEK-compliant
Pumpkin	Операционные системы	Salvo
Windmill Innovations	Инструментальные платы и Ethernet	TCP/IP Stack
National Instruments	Графическая среДа разработки	LabVIEW
Data I/O	Программирование Flash-памяти	Программаторы
BP Microsystems	Программирование Flash-памяти	Программаторы

Табл. 5. Характеристики микроконтроллеров семейства MSP430

Наименование*	Объем памяти, Кбайт		Дискретный ввод/вывод, бит	Драйвер ЖКД (число сегментов дисплея	Сторожевой таймер, 16 бит	Число каналов 16-–бит таймера, В	USART, число каналов	I²C	SVS	Сброс	MPY	Компаратор	АЦП	Число каналов 12-бит ЦАП	Корпус
	Flash-–память программ	Объем памяти, Кбайт													
MSP430F1101A	1	128	14	–	+	–	–	–	–	–	–	+	Slope	–	20DGV, DW, PW, 24RGE
MSP430C1101	1	128	14	–	+	–	–	–	–	–	–	+	Slope	–	20DGV, DW, PW, 24RGE
MSP430F1111A	2	128	14	–	+	–	–	–	–	–	–	+	Slope	–	20DGV, DW, PW, 24RGE
MSP430C1111	2	128	14	–	+	–	–	–	–	–	–	+	Slope	–	20DGV, DW, PW, 24RGE
MSP430F1121A	4	256	14	–	+	–	–	–	–	–	–	+	Slope	–	20DGV, DW, PW, 24RGE
MSP430C1121	4	256	14	–	+	–	–	–	–	–	–	+	Slope	–	20DGV, DW, PW, 24RGE
MSP430F1122	4	256	14	–	+	–	–	–	–	+	–	–	10-бит, 8 каналов	–	20DW, PW, 32RHB
MSP430C1122	4	256	14	–	+	–	–	–	–	+	–	–		–	20DW, PW
MSP430F1132	8	256	14	–	+	–	–	–	–	+	–	–		–	20DW, PW, 32RHB
MSP430C1132	8	256	14	–	+	–	–	–	–	+	–	–		–	20DW, PW
MSP430F122	4	256	22	–	+	–	1	–	–	–	–	+	Slope	–	28DW, PW, 32RHB
MSP430F123	8	256	22	–	+	–	1	–	–	–	–	+	Slope	–	28DW, PW, 32RHB
MSP430F1222	4	256	22	–	+	–	1	–	–	+	–	–	10-бит, 8 каналов	–	28DW, PW, 32RHB
MSP430F1232	8	256	22	–	+	–	1	–	–	+	–	–	10-бит, 8 каналов	–	28DW, PW, 32RHB
MSP430F133	8	256	48	–	+	3	1	–	–	–	–	+	12-бит, 8 каналов	–	64PM, RTD, PAG
MSP430C1331	8	256	48	–	+	3	1	–	–	–	–	+	slope	–	64PM, RTD
MSP430F135	16	512	48	–	+	3	1	–	–	–	–	+	12-бит, 8 каналов	–	64PM, RTD, PAG
MSP430C1351	16	512	48	–	+	3	1	–	–	–	–	+	Slope	–	64PM, RTD
MSP430F147	32	1024	48	–	+	7	2	–	–	–	+	+	12-бит, 8 каналов	–	64PM, RTD, PAG
MSP430F1471	32	1024	48	–	+	7	2	–	–	–	+	+	Slope	–	64PM, RTD
MSP430F148	48	2048	48	–	+	7	2	–	–	–	+	+	12-бит, 8 каналов	–	64PM, RTD, PAG
MSP430F1481	48	2048	48	–	+	7	2	–	–	–	+	+	Slope	–	64PM, RTD
MSP430F149	60	2048	48	–	+	7	2	–	–	–	+	+	12-бит, 8 каналов	–	64PM, RTD, PAG
MSP430F1491	60	2048	48	–	+	7	2	–	–	–	+	+	Slope	–	64PM, RTD
MSP430F155	16	512	48	–	+	3	1	+	+	+	–	+	12-бит, 8 каналов	2	64PM
MSP430F156	24	1024	48	–	+	3	1	+	+	+	–	+		2	64PM
MSP430F157	32	1024	48	–	+	3	1	+	+	+	–	+		2	64PM
MSP430F167	32	1024	48	–	+	7	2	+	+	+	+	+		2	64PM
MSP430F168	48	2048	48	–	+	7	2	+	+	+	+	+		2	64PM
MSP430F169	60	2048	48	–	+	7	2	+	+	+	+	+		2	64PM
MSP430F1610	32	5120	48	–	+	7	2	+	+	+	+	+		2	64PM
MSP430F1611	48	10240	48	–	+	7	2	+	+	+	+	+		2	64PM
MSP430F1612	55	5120	48	–	+	7	2	+	+	+	+	+		2	64PM
MSP430F412	4	256	48	+ (96)	+	–	–	–	+	+	–	+	Slope	–	64PM, RTD
MSP430C412	4	256	48	+ (96)	+	–	–	–	+	+	–	+		–	64PM, RTD
MSP430F413	8	256	48	+ (96)	+	–	–	–	+	+	–	+		–	64PM, RTD
MSP430C413	8	256	48	+ (96)	+	–	–	–	+	+	–	+		–	64PM, RTD
MSP430F423	8	256	14	+ (128)	+	–	1	–	+	+	–	–	16-бит, 3 канала**	–	64PM
MSP430F425	16	512	14	+ (128)	+	–	1	–	+	+	–	–		–	64PM
MSP430F427	32	1024	14	+ (128)	+	–	1	–	+	+	–	–		–	64PM
MSP430F435	16	512	48	+ (128/160)	+	3	1	–	+	+	–	+	12-бит,8 каналов	–	80PN, 100PZ
MSP430F436	24	1024	48	+ (128/160)	+	3	1	–	+	+	–	+		–	80PN, 100PZ
MSP430F437	32	1024	48	+ (128/160)	+	3	1	–	+	+	–	+		–	80PN, 100PZ
MSP430F447	32	1024	48	+ (160)	+	7	2	–	+	+	+	+		–	100PZ
MSP430F448	48	2048	48	+ (160)..	+	7	2	–	+	+	+	+		–	100PZ
MSP430F449	60	2048	48	+ (160)..	+	7	2	–	+	+	+	+		–	100PZ

Примечание: ** **C** – для приборов с памятью программ на ПЗУ, **F** – для приборов с flash-памятью программ. ** Сигма-дельта АЦП.*

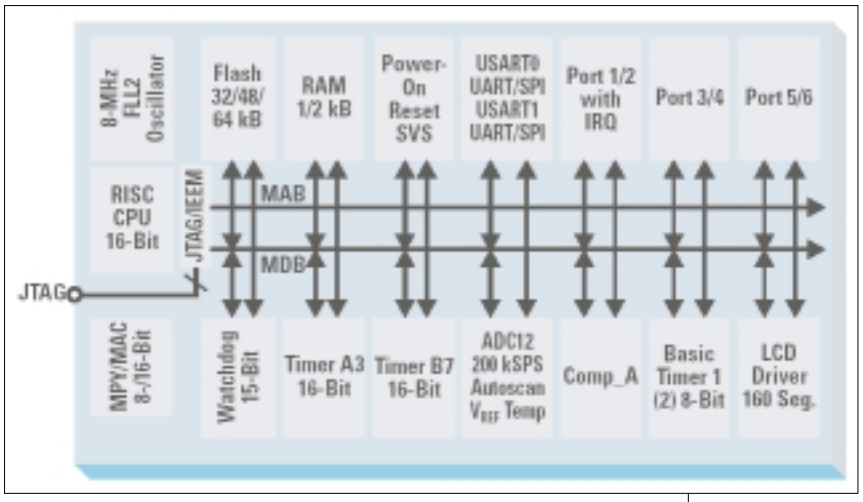

Рис.8. Структурная схема цифрового сигнального контроллера MSP430F449

Силовые цепи постоянного тока рассчитаны на напряжение 24 В и ток 2,5 А. Поддерживает двигатели BLDC.

Стартовые комплекты и платы-прототипы позволяют быстро внедрять системы управления на базе микроконтроллеров семейства C2000 в уникальное оборудование, надёжно и быстро разрабатывать серийное оборудование.

О стабильности и популярности продукции TI свидетельствуют представленные на рынке совместимые продукты независимых производителей (табл.4) [4].

СИГНАЛЬНЫЕ МИКРОКОНТРОЛЛЕРЫ С УЛЬТРАНИЗКОЙ ПОТРЕБЛЯЕМОЙ МОЩНОСТЬЮ СЕМЕЙСТВА MSP430

Микроконтроллеры с ультранизкой потребляемой мощностью семейства MSP430 содержат 16-бит RISC-процессорное ядро обработки смешанного сигнала и различные наборы периферийных устройств, обеспечивающих выполнение требований конкретных приложений. Микропроцессоры семейства представляют собой систему на кристалле, предназначенную для измерительных систем с батарейным питанием, их основное назначение – анализ аналоговых и дискретных сигналов и управление исполнительными устройствами. Гибкий генератор с цифровым управлением позволяет переходить из состояния ожидания в высокопроизводительный активный режим обработки сигнала менее чем за 6 мкс.

Самым высоким уровнем интеграции аналоговых устройств в сочетании с наименьшим в промышленности энергопотреблением отличаются микросхемы серий MSP430F43x/MSP430F44x, представляющие собой завершенную систему на кристалле со встроенной flash-памятью [5].

Flash-микроконтроллер MSP430F449 (рис.8), входящий в серию, характеризуется самой низкой потребляемой энергией для решений система на кристалле и предназначен для реализации встроенных средств сбора и отображения данных в индустриальных приложениях. Микросхема MSP430F449 содержит высокопроизводительный микроконтроллер (200 Квыборок/с), 12-бит АЦП и драйвер ЖК-дисплея. 16-бит RISC-процессор позволяет реализовывать новые приложения с минимальным увеличением размера кода. В состав микросхемы входят также flash-память программ и данных емкостью 60 Кбайт и 256 байт, соответственно, и ОЗУ емкостью 2 Кбайт. Программируемая в системе flash-память программ позволяет вносить изменения в код "в последнюю минуту" и модернизировать устройство в условиях эксплуатации. Потребляемый ток микросхемы не превышает 1 мкА (в "спящем" режиме), что и обеспечивает экономию ресурса батарей [6].

Flash-микроконтроллер MSP430F169 – первая в промышленности микросхема на основе процессорного ядра с ультранизким энергопотреблением, позволяющим реализовать систему на кристалле, предназначенную для оборудования с батарейным питанием (рис.9). При напряжении питания 2,2 В ток, потребляемый в активном режиме, составляет 330 мкА, в режиме ожидания – 1,1 мкА, в нерабочем режиме – 0,2 мкА. В состав микросхемы входят 8-канальный 16-бит АЦП с производительностью 2000 Квыборок/с, компаратор, таймер, два порта UART-интерфейса, порт I2C-интерфейса, 16-бит аппаратный умножитель (удобный для спектрального анализа и других приложений), супервизор напряжения питания. Для вывода аналоговых данных в её состав включён двухканальный ЦАП. Объем flash-памяти программ и данных 60К и 256 байт, соответственно, ОЗУ - 2 Кбайт. Обмен массивами данных обеспечивает встроенный контроллер прямого доступа к памяти [7].

Рис.10. Внешний вид flash-эмулятора.

Микросхема идеально подходит для приложений с ограничениями по потребляемой мощности, массогабаритным характеристикам, себестоимости.

Контроллеры семейства MSP430 могут быть укомплектованы эмулятором flash-памяти MSP-FET430 Flash Emulation Tool, который содержит эмулятор памяти реального времени (через интерфейс JTAG), все необходимые кабели и переходники, а также программное обеспечение (ассемблер, линкер, симулятор, С-компилятор, рис. 10, табл. 5).

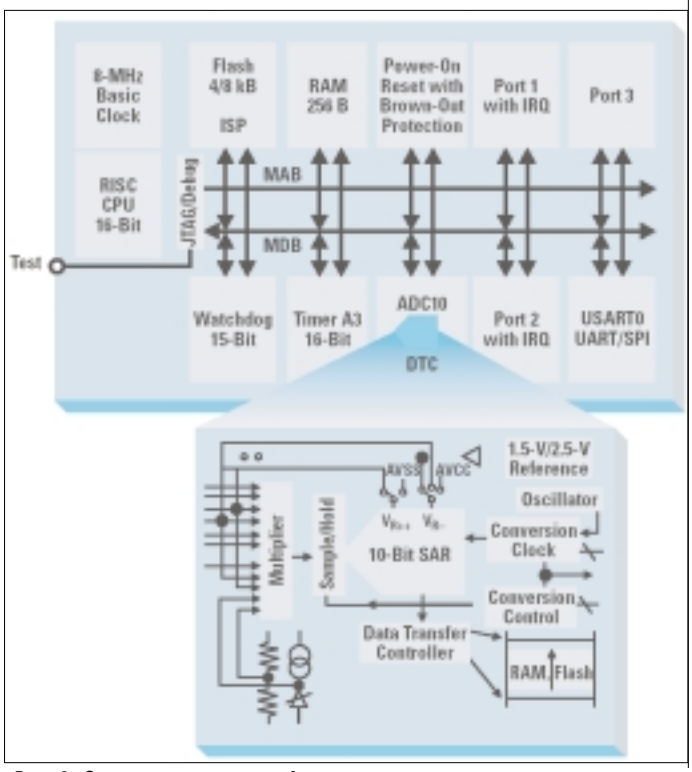

Рис. 9. Структурная схема цифрового сигнального контроллера MSP430F169

ЛИТЕРАТУРА

1. www.ti.com/2000dmclib
2. www.ti.com/c2000appsw
3. www.ti.com/mcdevboards
4. www.ti.com/3dparty
5. www.ti.com/sc/device/msp430
6. www.ti.com/sc/device/msp430f449
7. www.ti.com/sc/device/msp430f169