

МИКРОКОНТРОЛЛЕРЫ КОМПАНИИ FREESCALE/MOTOROLA ДЛЯ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ ЭЛЕКТРОПРИВОДОМ

Татьяна Ремизевич, к.т.н., доцент МЭИ; Алексей Архипов, аспирант МЭИ

В статье приведен обзор новых моделей специализированных 8- и 16-разрядных микроконтроллеров для управления электроприводом и устройствами электропитания.

Специализированные микроконтроллеры (МК), предназначенные для управления электроприводом (Motor control) и системами электропитания, составляют значительную часть новинок 2004 года, представленных отделением полупроводниковых компонентов фирмы Motorola — ныне компанией Freescale Semiconductor.

В соответствие с установившейся терминологией, класс Motor control объединяет МК с интегрированным модулем ШИМ-генератора, который используется для управления силовыми полупроводниковыми коммутаторами [1]. Специализированный модуль ШИМ-генератора — основная, но не единственная отличительная особенность МК данного класса. Каждый МК Motor Control содержит определенные узлы:

- процессорное ядро с блоками памяти программ и данных;
- набор периферийных модулей, характерных для МК общего назначения, но обязательно содержащий многоканальный АЦП и многорежимный таймер;
- набор специализированных модулей, среди которых обязательно присутствует ШИМ-генератор с числом выходов от 6 до 12.

Крайне желательным является также наличие одного или нескольких модулей 32-разрядного (и более) квадратурного декодера для точного определения положения ротора двигателя или организации контура обратной связи в системах позиционирования.

Процессорное ядро приборов Motor Control в подавляющем большинстве моделей заимствовано у МК общего назначения. Поскольку основной классификационный признак МК — разрядность и архитектура процессорного ядра, то данные приборы также подразделяются на группы с 8-, 16- и 32-разрядными ЦП, а также сигнальные МК. Независимо от принадлежности к той или иной группе, процессорное ядро МК клас-

са Motor Control должно обладать следующими свойствами:

- обеспечивать самое высокое быстродействие в своей группе, иметь команды аппаратного умножения и деления, осуществлять быстрый поиск данных в таблицах;
- иметь эффективную многовекторную систему прерываний, позволяющую обработать запрос за доли микросекунды.
- быть устойчивым к электромагнитным помехам.

Компания Freescale Semiconductor выпускает МК класса Motor Control на основе трех процессорных ядер: 8-разрядного HC908, 16-разрядных HCS12 и 56800/800E [2]. Два первых процессорных ядра являются разновидностями классической CISC архитектуры, но при этом обладают расширенным набором команд. Ядро 56800/800E принято называть гибридным, поскольку оно совмещает в себе функции ЦПОС и высокопроизводительного МК [3].

Периферийные модули МК класса Motor Control можно разделить на две группы. Одна содержит модули, которые полностью идентичны модулям МК общего назначения: порты ввода/вывода и контроллеры последовательных интерфейсов. Поскольку основной областью применения регулируемого электропривода являются средства промышленной автоматизации, то крайне важно, чтобы МК класса Motor Control были снабжены контроллерами последовательного ввода/вывода, соответствующими современным стандартам промышленных информационных сетей. Именно поэтому маловыводные МК, предназначенные для использования в простейших электроприводах, оснащены контроллером асинхронного приемопередатчика SCI (стандарт RS-485), а более высокопроизводительные модели с большим объемом памяти обязательно содержат контроллер CAN (см. табл. 1, 2 и 3).

Группа специализированной периферии МК класса Motor Control со-

держит модули, оптимизированные для реализации алгоритмов управления различными типами двигателей. Это, в первую очередь, быстродействующий многоканальный АЦП, а также универсальный таймер с несколькими каналами входного захвата и выходного сравнения (желательно 6—8, но не менее 3). Таймер часто имеет дополнительный режим «квадратурного» декодера, который обеспечивает автоматическое преобразование двух, сдвинутых на 90 градусов, последовательностей импульсов датчика в счетные импульсы, и выдачу сигнала направления счета. При этом идентификация положения ротора двигателя производится без затрат ресурсов центрального процессора, за исключением необходимости обращения к таймеру для считывания кода текущего механического положения ротора и его программного преобразования в код электрического положения ротора внутри полюсного деления машины. В некоторых МК квадратурный декодер реализован в виде отдельного модуля.

Компания Freescale Semiconductor разработала собственный внутренний стандарт модуля специализированного ШИМ-генератора. Его структура и основные функции одинаковы для всех МК класса Motor Control, производимых компанией, независимо от типа процессорного ядра конкретной модели МК. Нагрузочная способность каждого из шести каналов ШИМ равна 20 мА, что обеспечивает непосредственное подключение к оптопаре драйвера управления ключом.

Универсальный модуль ШИМ-генератора [4] выполняет следующие функции:

- генерирует шесть независимых или три комплементарных пары ШИМ-сигналов. В приборах семейства HCS12 и 56F800/800E допускается произвольное сочетание комплементарного и независимого режимов работы; например, два выхода формируют комплементарные сигналы управления, остальные четыре выхода работают в независимом режиме;
- позволяет реализовать два способа формирования ШИМ-сигналов:

одностороннюю «фронтую» или двухстороннюю «центрированную» ШИМ;

- обеспечивает независимый выбор полярности сигналов ШИМ для верхней и нижней группы ключей;

- в комплементарном режиме работы реализует вставку программируемого «мертвого времени»;

- обеспечивает автоматическую коррекцию ширины импульса управления верхним и нижним ключами одной фазы для компенсации влияния «мертвого времени»;

- имеет до 4 аппаратных входов защиты с программируемым отключением выходов управления ключами, благодаря чему режим ограничения тока в обмотке двигателя может

быть реализован аппаратными средствами модуля.

Различия между модулями ШИМ-генераторов МК различных семейств заключаются в разрядности счетчика опорного кода (12 разрядов для HC908 и 15 разрядов для HCS12 и 56F800/800E), тактовой частоте этого счетчика, которая не может превышать частоту межмодульной шины МК (8 МГц для HC908, 25 МГц для HCS12 и 40 или 60 МГц для 56F800/800E), программно-логической модели модуля (одноименные биты управления режимами работы модуля расположены в разных регистрах специальных функций). Все рассматриваемые 8- и 16- разрядные МК включают в себя один модуль ШИМ-

генератора, в то время как часть моделей семейства 56F800/800E содержит два модуля и, следовательно, может быть использована для прямого цифрового управления двумя мостами силовых ключей (управляемый выпрямитель и трехфазный АИН или два АИН). Рассмотрим более подробно конкретные модели МК.

Приборы HC908MR32/16/8/4/MP3PHAS/908E625 (см. табл. 1), являясь 8-разрядными, снабжены периферией среднего по быстродействию 16-разрядного МК. Частота межмодульной магистрали HC908 составляет 8 МГц. Система команд HC908 включает операции быстрого умножения однобайтовых чисел и деления двухбайтовых чисел на одно-

Таблица 1. Технические характеристики 8- и 16-разрядных МК класса Motor Control

Основные параметры	Тип МК							
	8-разрядные						16-разрядные	
	HC908MR32	HC908MR16	HC908MR8	HC08MR4	MC3PHAS*	908E625**	MC9S12E64	MC9S12E128
Тактовая частота, МГц	32						50	
Частота ядра, МГц	8						25	
Объем встроенного ПЗУ программ, кбайт/тип памяти	32/FLASH	16/FLASH	8/FLASH	4/mask (на заказ)	8/mask*	16/FLASH	64/FLASH	128/FLASH
Объем встроенного ОЗУ данных, байт	512		256	192	256	512	4К	8К
Линии ввода/вывода: число, свойства	46, 13 не мультиплексированы		16, все мультиплексированы			16	58 для корпуса 80LQFP, 90 для корпуса 112LQFP, 16, не мультиплексированы	
Последовательные порты: количество, тип интерфейса	2, SCI, SPI	2, SCI, SPI	1, SCI			2, LIN, SPI	5, 3 SCI, SPI, I ² C	
Модули таймеров: – количество таймеров/счетчиков; – разрядность, бит; – число каналов захвата/сравнения.	2; 16; 6 IC/OC.		2; 16; 2 IC/OC.			3; 16; 12 IC/OC, 3 счетчика событий		
Модуль АЦП: – число каналов; – разрядность, бит; – время преобразования, мкс.	8; 10; 8.		4; 10; 8.			8; 10; 17.	16; 10; 7.	
Модуль ЦАП: – число каналов; – разрядность, бит.	нет						2 8	
Модуль ШИМ общего назначения: – название модуля; – число каналов; – разрядность, бит; – максимальная тактовая частота, МГц.	Реализуется средствами модуля таймера						PWM 6/3 8/16 25 1 вход аппаратной защиты	
Модуль ШИМ: – название модуля; – число каналов; – разрядность, бит; – максимальная тактовая частота, МГц.	PWM08; 6; 12; 8.					нет	PMF; 6; 15; 25.	
Режимы работы	– фронтальная/центрированная ШИМ; – программируемое «мертвое время»; – четыре (1 для MR8 и MP3PHAS) входа аппаратной защиты с программируемой логикой отключения каналов ШИМ; – режим аппаратной коррекции «мертвого времени».						– фронтальная/центрированная ШИМ; – программируемое «мертвое время»; – четыре входа аппаратной защиты с программируемой логикой отключения каналов ШИМ; – режим аппаратной коррекции «мертвого времени».	
Тип корпуса	64QFP		32QFP, 28DIP			54SOIC	80LQFP, 112LQFP	

* МК с программным обеспечением для частотно-регулируемого асинхронного электропривода;

** гибридная ИС – контроллер управления группой шаговых двигателей.

байтовые [2]. Особый интерес представляют две последних модели МК в таблице 1.

Микроконтроллер МСЗРНАС имеет законченное программное обеспечение, оптимизированное для систем управления асинхронным частотно-регулируемым электроприводом, установленная мощность которого не превышает 1 кВт [2]. Адаптация алгоритма управления к конкретному типу электропривода осуществляется изменением числовых констант. Задание констант возможно двумя способами: потенциометрами на плате контроллера проектируемого блока управления, или от ПК верхнего уровня, связанного с платой управления по последовательному интерфейсу.

Алгоритм управления, реализованный в МСЗРНАС, выполняет следующие задачи:

- формирует шесть ШИМ-сигналов управления драйверами силовых ключей трехфазного автономного инвертора напряжения (АИН). Форма выходного напряжения синусоидальная, частота коммутации 5,291...21,164 кГц. В алгоритме управления ключами предусмотрена возможность регулировки мертвого времени в пределах 0,5...32 мкс. Имеется вход аппаратной защиты силовых ключей;

- автоматически восстанавливает сигналы управления ключами инвертора после снятия сигнала защиты;

- реализует закон управления $U/F = \text{const}$ с программируемой пользователем вольтодобавкой при нулевой частоте. Предельное значение частоты F составляет 50 или 60 Гц. Скорость разгона или торможения можно задавать в пределах 0,5...128 Гц/с. Соответствующий вход

может быть использован для организации системы управления, замкнутой по скорости или по иному технологическому параметру. Однако функциональные преобразования, соответствующие передаточной функции контура обратной связи, должны быть выполнены внешними устройствами. С целью подавления шумов аналоговый сигнал на входе текущего задания по скорости обрабатывается с использованием алгоритма цифровой фильтрации, реализованного на основе 24-разрядного представления данных;

- осуществляет управление режимами работы электропривода по логическим сигналам «пуск/останов» и «направление вращения».

Микросхема 908E625 объединяет 8-разрядный МК типа HC908EY16 [5] со свободно загружаемой при-

Таблица 2. Структура и технические характеристики микроконтроллеров DSP56F8xx

Характеристика	Модель МК				
	DSP56F801/ 56F801FA60	DSP56F802/ 56F802TA60	DSP56F803	DSP56F805	DSP56F807
Тип процессорного ядра	56800				
Производительность, млн. оп./с	40/30		40		
Резидентная память					
Флэш-ПЗУ программ (16-битовых слов)	8К		32К		63К
Флэш-ПЗУ загрузочное (16-битовых слов)	2К				
ОЗУ программ (16-битовых слов)	1К		512		2К
Флэш-ПЗУ данных (16-битовых слов)	2К		4К		8К
ОЗУ данных (16-битовых слов)	1К		2К		4К
Интерфейс внешней памяти	нет		есть		
Системные модули					
Способ синхронизации встроенного генератора*	(XTAL или ICG)+PLL		XTAL+PLL (кварцевый резонатор + ФАПЧ)		
Сторожевой таймер	1				
Контроллер прерываний	1				
Число внешних прерываний	2				
Отладочный интерфейс (JTAG) и модуль эмуляции на кристалле (OnCE)	1				
Периферийные модули					
Порты ввода/вывода, число линий	11		4	18	32
Модули последовательных интерфейсов	SCI, SPI		SCI, нет	SCI, SPI, CAN 2.0A/B	2 SCI, SPI, CAN 2.0 A/B
Модули таймеров: – модуль Quad Timer – модуль квадратурного декодера	2; нет.		3; 1.	4; 2.	
Модуль ШИМ (PWM): – число каналов (всего); – число каналов в модуле; – разрядность; – число входов аппаратной защиты.	1; 6; 6; 15; 1.		1; 6; 6; 15; 4.	2; 12; 6; 15; 2 × 4.	
Модуль АЦП (ADC): – число каналов (всего); – число каналов в модуле; – разрядность; – время преобразования, мкс.	1; 8; 84 12; 1,1 или 0,33.		1; 5; 5; 12; 1,1 или 0,33.	1; 8; 8; 12; 1,1 или 0,33.	2; 16; 8; 12; 1,1 или 0,33.
Напряжение питания и тип корпуса					
Напряжение питания, В	3,3				
Корпус	48 LQFP		32 LQFP	100 LQFP	144 LQFP; 160 LQFP; 160 PBGA
Температурный диапазон, °С	–40...85				

* XTAL+PLL – внешний кварцевый резонатор и внутренний умножитель частоты; ICG – внутренний тактовый генератор без внешних времязадающих элементов.

кладной программой, набор интеллектуальных ключей, выполненных по технологии SmartMOS, и драйвер физического уровня интерфейса LIN. Микроконтроллер осуществляет управление ключами посредством внутреннего интерфейса SPI. Набор ключей представляет собой комбинацию силовой части схемы и схемы управления. Силовая часть схемы включает 6 МОП-транзисторов, собранных по полумостовой схеме (в результате получается три независимых полумоста инвертора), один верхний силовой МОП-транзистор, 3 входа датчи-

ков Холла и переключаемый источник напряжения 5 В. Все силовые транзисторы снабжены защитой от перегрузок по току, перегреву (общий датчик температуры) и повышенного/пониженного напряжения питания. Нижние транзисторы полумостов допускают программирование порога ограничения тока. Отдельный верхний транзистор, наряду с защитой от перегрузки по току, снабжен схемой защиты от кратковременных выбросов пускового тока. Контроллер 908E625 имеет встроенный модуль питания, который формирует все не-

обходимые напряжения для работы драйверов ключей и схем защиты.

Основные электрические характеристики аналоговой части SmartMOS в составе контроллера 908E625:

- напряжение питания 8...18 В;
- максимальное кратковременное напряжение питания ($t < 0,5$ с) 40 В;
- сопротивление сток–исток $R_{ds(on)}$ транзисторов инвертора 0,5 Ом;
- максимальный ток верхнего транзистора инвертора 5 А (при 25°C);
- диапазон программируемого уровня ограничения тока нижнего транзистора инвертора – 35...880 мА;

Таблица 3. Структура и технические характеристики микроконтроллеров DSP56F83x

Характеристика	DSP56F822	DSP56F823	DSP56F845	DSP56F8846	DSP56F847	DSP56F855	DSP56F856	DSP56F8857	
Тип процессорного ядра	56800E								
Производительность, млн. оп./с	60								
Резидентная память									
Флэш-ПЗУ программ (16-битовых слов)	32К	128К			256К				
Флэш-ПЗУ загрузочное (16-битовых слов)	8К			16К					
ОЗУ программ (16битовых слов)	4К								
Флэш-ПЗУ данных (16-битовых слов)	8К								
ОЗУ данных (16-битовых слов)	8К			16К					
Интерфейс внешней памяти	нет	есть, усеченный		есть		нет	есть		
Системные модули									
Способ синхронизации	XTAL+PLL								
Сторожевой таймер	1								
Контроллер прерываний	1								
Число внешних прерываний	2								
Отладочный интерфейс (JTAG) и модуль эмуляции на кристалле (OpCE)	1								
Периферийные модули									
Порты ввода/вывода, число линий	21	27	49	62	76	49	62	76	
Модули последовательных интерфейсов	2 SCI, 2 SPI, FlexCAN	2 SCI, 2 SPI, FlexCAN	2 SCI, 2 SPI, FlexCAN	2 SCI, 2 SPI, FlexCAN	2 SCI, 2 SPI, FlexCAN	2 SCI, 2 SPI, FlexCAN	2 SCI, 2 SPI, FlexCAN	2 SCI, 2 SPI, FlexCAN	
Модули таймеров: – модуль Quad Timer; – общее число таймеров; – модуль квадратурного декодера.	2; 8; 1.		4; 16; 2.						
Модуль ШИМ (PWM): – количество модулей; – число каналов (всего); – число каналов в модуле; – разрядность.	1; 6; 6; 15.		2; 12; 6; 15.						
Модуль АЦП (ADC): – количество модулей; – число каналов (всего); – число каналов в модуле; – разрядность; – время преобразования, мкс.	2; 6; 3; 12; 1,1 или 0,33.	1; 8; 8; 12; 1,1 или 0,33.	2; 16; 8; 12; 1,1 или 0,33.						
Напряжение питания и тип корпуса									
Напряжение питания, В	3,3								
Корпус	48 LQFP	64 LQFP	128 LQFP	144 LQFP	160 LQFP	128 LQFP	144 LQFP	160 LQFP	
Температурный диапазон, °С	–40...125								

- сопротивление $R_{ds(on)}$ отдельно от верхнего транзистора 0,7 Ом;
- максимальный ток отдельного верхнего транзистора 4 А;
- максимальная частота коммутации транзисторов 20 кГц.

Основные характеристики 8-разрядного МК HC908EY16 в составе контроллера 908E625:

- максимальная рабочая частота 8 МГц;
- объем флэш-памяти программ 16 кбайт;
- объем ОЗУ данных 512 байт;
- два 16-разрядных двухканальных таймера;
- интегрированный 10-разрядный АЦП;
- встроенный тактовый генератор;
- интерфейс SCI, драйвер LIN.

Контроллер 908E625 позиционируется в качестве высокоинтегрированного и экономически выгодного решения для автомобильной электроники, однако, может быть использован и в других устройствах промышленной автоматики.

Сегмент 16-разрядных микроконтроллеров Motor Control с архитектурой CISC представлен семейством E (модели HCS912E64/128, см. табл. 1). Особенности данных МК — большой объем ЭСПЗУ на кристалле (эмулируется на основе резидентной флэш-памяти), наличие модулей ШИМ и ЦАП общего применения, разнообразие контроллеров последовательных интерфейсов. Поэтому их можно рекомендовать к применению в установках регулируемого электропривода и источниках питания с большим объемом сервисных функций.

Наибольшее число новых моделей МК класса Motor Control компании Freescale Semiconductor представлено в 16-разрядном семействе 56800/800E (см. табл. 2 и 3) с высокопроизводительным гибридным процессорным ядром, которое реализует типовые функции ЦПОС: умножение с накоплением (MAC), округление, масштабирование, сдвиги, адресацию операндов с применением модульной арифметики, ускоренное выполнение программных циклов. Данное ядро также выполняет все микроконтроллерные функции: адресует периферию привычными для МК способами адресации, имеет неограниченный программный стек и векторную систему прерываний, выполняет битовые операции [3].

Процессорное ядро 56800/800E имеет две модификации, различаю-

щихся числом регистров ЦП и устройства генерации адреса, разрядностью некоторых регистров адреса, а также тактовой частотой. Модификация процессорного ядра 56800 обеспечивает производительность 40 MIPS при тактовой частоте 80 МГц. Опорная частота, определяющая разрешающую способность счетчика ШИМ-генератора, составляет 40 МГц. Процессорное ядро 56800E в составе МК обладает производительностью 60 MIPS, шаг дискретизации ШИМ-сигнала равен 16,6 нс.

Все модели МК, представленные в таблице 3, обладают интегрированными модулями флэш-памяти программ и флэш-памяти данных. Структура модулей памяти позволяет организовать внутрисхемное программирование при единственном напряжении питания.

Остановимся более подробно на технических характеристиках встроенного АЦП [4]. Модуль объединяет два канала аналого-цифрового преобразования, каждый из которых включает аналоговый коммутатор, устройство выборки-хранения (УВХ), 12-разрядный АЦП, 8 ячеек двухпортового ОЗУ для хранения результатов оцифровки и схему управления.

Схема управления позволяет организовать следующие режимы измерения:

- однократную оцифровку сигнала программно выбранного канала. Время преобразования составляет 1,7 мкс;

- последовательную 8-кратную оцифровку выбранного канала. Время преобразования равно 10,1 мкс;

- одновременную аналоговую выборку с последующей одновременной оцифровкой двух программно назначенных аналоговых каналов (выборка одного и того же канала одновременно двумя УВХ невозможна). Время преобразования 1,7 мкс;

- последовательную оцифровку 8 различных каналов или 4 пар каналов в режиме одновременной выборки. Последовательность опроса каналов назначается программно. Этот режим называется измерительной сессией. Время преобразования сигналов 4 пар каналов составляет 5,3 мкс.

Тактовая частота ЦП не влияет на быстродействие АЦП, поэтому времена преобразования для МК 56800 и 56800E идентичны. Однако модуль АЦП в составе МК с ядром 56800E снабжен дополнительным режимом самокалибровки, который позволяет

снизить абсолютную погрешность преобразования [8].

После оцифровки любого из каналов, полученный код автоматически корректируется путем вычитания кода смещения нуля, предварительно записанного в одноименный регистр. Затем код размещается в ячейке двухпортовой памяти, адрес которой определяется номером аналогового канала. Представление результата возможно в формате со знаком и без него. После коррекции, код сравнивается с минимальным и максимальным допустимыми значениями, также занесенными в специальные регистры. В случае выхода кода за пределы заданного коридора, генерируется запрос на прерывание. Регистры кода смещения, минимального и максимального значений индивидуальны для каждого канала измерения.

Все модели МК с процессорным ядром 56800E имеют расширенный температурный диапазон и выпускаются в корпусах, сертифицированных для автомобильных применений. Планируется выпуск новых моделей более низкой стоимости, но той же производительности, в корпусах с 32 и 48 выводами.

ЛИТЕРАТУРА

1. Козаченко В., Ремизевич Т. Микроконтроллеры для встраиваемых систем управления электроприводом. Обзор спектра элементной базы. Восьмиразрядные «Motor Control». Электронные компоненты №7, 2002, с. 83–88.
2. Шагури И. Микроконтроллеры, интегрированные процессоры и гибридные DSP-процессоры компании FreeScale Semiconductors (SPS Motorola). Электронные компоненты №7, 2004.
3. Ремизевич Т., Столтник Д. Микроконтроллеры семейства DSP56F800 и DSP56F800E фирмы Motorola. Электронные компоненты №4, 2003, с. 41–46.
4. Ремизевич Т., Столтник Д. Периферийные модули МК семейства DSP56F800 и DSP56F800E фирмы Motorola. Электронные компоненты №8, 2003, с. 83–89.
5. Ремизевич Т. Новые модели микроконтроллеров семейства HC908 фирмы Motorola. CHIP NEWS. №5 (68), 2002, с. 5–13.
6. MP3PHAC- MP3PHAC/D
7. Integrated Quart Half H-Bridge with Power Supply, Embedded MCU, and LIN Serial Communication. MM908E625/D.
8. MC56F8300 Peripheral User Manual. MC56F8300UM/D, rev. 4.0.