

НЕКОТОРЫЕ ОСОБЕННОСТИ АРХИТЕКТУРЫ МИКРОКОНТРОЛЛЕРОВ ДЛЯ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ РЕАЛЬНОГО ВРЕМЕНИ

Карасев А.В., Таланов М. В., Таланов В.М., Егунов О.И.
ГОУВПО «Мордовский государственный университет им. Н. П. Огарева», г. Саранск
Тел. (834-2) 290602. tvm99@moris.ru

Аннотация. В статье рассматривается архитектура встраиваемых микроконтроллеров C2000 фирмы Texas Instruments для систем управления реального времени, а также особенности распределения памяти и организации связи с периферийными устройствами.

Ключевые слова: микроконтроллер, система управления, интерфейс, периферийное устройство, процессор, общая шина, микро-ЭВМ.

Фирма Texas Instruments разрабатывает и производит цифровые сигнальные процессоры (DSP), а так же полупроводниковые микроконтроллеры (MCU), которые эффективно используются в системах управления технологическими процессами и силовыми установками.

32-битные микроконтроллеры C2000 предназначены для работы в режиме реального времени и решают следующие задачи управления:

- Цифровое управление электрическими двигателями.
- Управление силовыми полупроводниковыми преобразователями энергии.
- Управление адаптивными системами освещения.
- Системы высокоточного измерения и управления.

Контроллер C2000 использует 32-разрядный центральный процессор (ЦП) под названием C28x, который объединен с высокопроизводительной периферийной шиной и шиной обработки прерываний. ЦП обладает следующими возможностями:

- Эффективная аппаратная поддержка вычислений с плавающей запятой, позволяющая компилятору C генерировать компактный код, результатом чего является высокая плотность кода.
- Реализуемые за один цикл команды чтения, модификации, записи, а также 32-разрядного умножения.
- Малое время обработки прерываний (до 9 циклов) с автоматическим сохранением контекста нуль-циклов.
- 96 выделенных векторов прерываний, не требующих программной обработки.
- 32-битный блок операций с плавающей точкой в контроллерах Delfino.
- В контроллерах Piccolo имеется независимый встроенный ускоритель алгоритмов управления (CLA), который обрабатывает операции с плавающей точкой, освобождая центральный процессор для других целей.
- Три 32-битных таймера центрального процессора обеспечивают высокую точность и гибкость в любых приложениях.
- Модуль безопасности кода предотвращает несанкционированное копирование устройства и тем самым защищает интеллектуальную собственность разработчика.

Контроллеры C2000 включают в себя улучшенные модули периферийных устройств, увеличивающие функциональные возможности системы:

- Улучшенные ШИМ-модули с высоким разрешением (до 65 пс) и управляемым рабочим циклом, периодом и фазой. Кроме того, полностью программируемое обнаружение «мертвых» зон и генераторы задержек гарантирует полную защиту системы от сбоев и всплесков питания.
- До 16 аналоговых входных каналов 12-битного АЦП производительностью до 12,5 MSPS (млн выборок в секунду). Интегрированный в C2000 АЦП был разработан специально для обеспечения максимальной скорости и гибкости преобразования. АЦП поддерживает автоматическое формирование последовательностей, сокращая простой центрального

процессора.

- Улучшенные модули захвата на основе 32-разрядных таймеров обеспечивают высокоточное считывание сигналов и большую гибкость.
- Модуль импульсного датчика (QEP) на некоторых контроллерах аппаратно декодирует позиционные сигналы.
- Модули интерфейсов SPI, UART/SCI, CAN, I2C и LIN соединяют контроллеры C2000 с остальной системой.

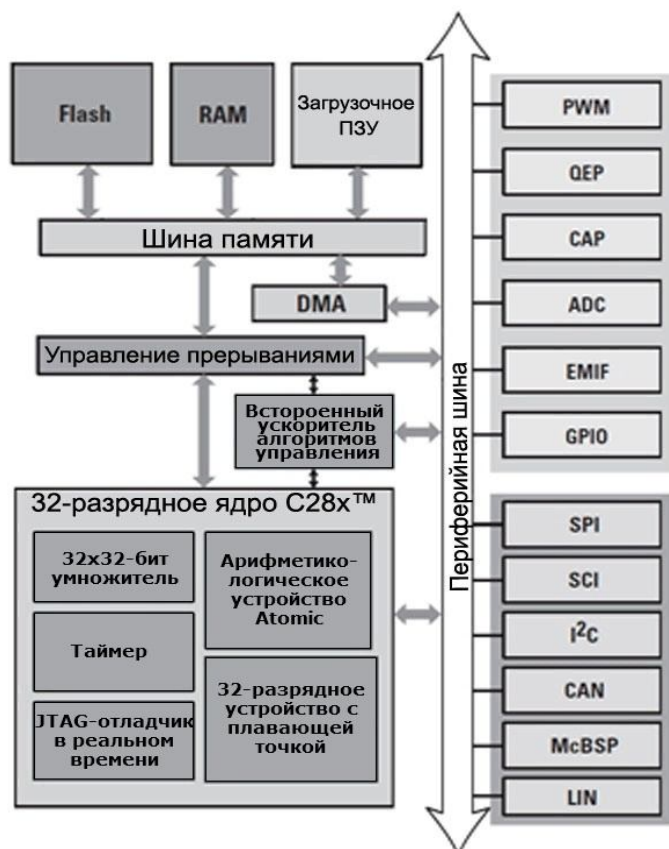


Рис. 1. Архитектура и периферийные устройства C2000

На рис. 1 изображена архитектура контроллера и способ подключения периферийных устройств к общей шине микроконтроллера C2000.

ЦП C28x играет роль «миниатюрного компьютера». Кроме того, он включает в себя ядро цифрового обработчика сигналов. ЦП может взаимодействовать с внешними устройствами и генерировать ответные сигналы.

Микроконтроллеры C2000 имеют до 16 каналов быстрого 12-битного АЦП (ADC). Эти каналы АЦП используются для оценки уровня напряжения и тока. Также, оценивая уровень тока, АЦП выполняет функции безопасности.

Каналы ШИМ (PWM) вырабатывают импульсные сигналы с заданной длительностью, необходимые для систем управления двигателями и преобразователями электрической энергии. Каждый канал ШИМ имеет свой собственный таймер и регистр фазы, позволяющий вводить фазовую задержку. Все каналы ШИМ могут быть синхронизированы для управления несколькими каскадами на одной частоте. Благодаря наличию множества таймеров появляется возможность генерировать множество частот, быстрая обработка прерываний - это ключ к быстрой реакции системы управления на события. Коммуникационные порты различных стандартов, включая CAN, обеспечивают интерфейс с другими компонентами системы.

CAN (Control Area Network) - последовательная магистраль, обеспечивающая увязку в

сеть "интеллектуальных" устройств ввода/вывода, датчиков и исполнительных устройств некоторого механизма или даже предприятия. Характеризуется протоколом, обеспечивающим возможность нахождения на магистрали нескольких ведущих устройств и передачу данных в реальном масштабе времени, коррекцию ошибок, высокой помехоустойчивостью. Система CAN поддерживается большим набором микросхем, обеспечивающих работу подключенных к магистрали устройств, и в настоящее время широко используется в системах автоматизации.

- Program Memory - память, используемая для хранения программ, а также данных для алгоритмов обработки сигналов.

- Data Memory - память, используемая для хранения сообщений, результатов вычислений, входных и выходных данных.

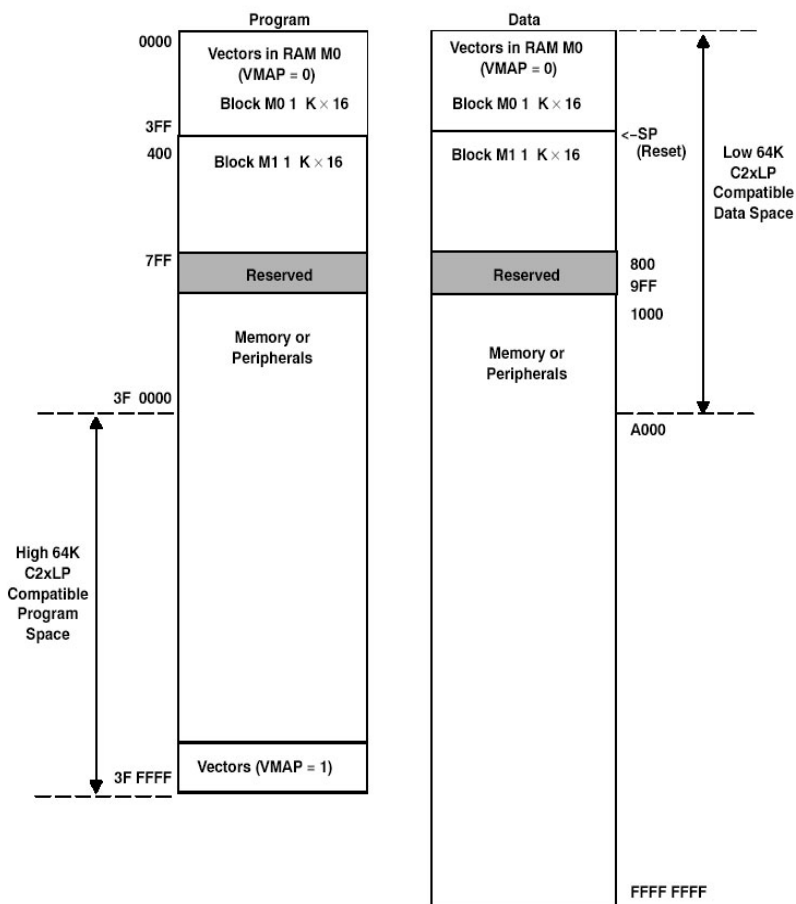


Рис. 2. Структура памяти C2000

- Загрузочная ПЗУ является энергонезависимой памятью и содержит:
 - математические таблицы
 - загрузочные данные.

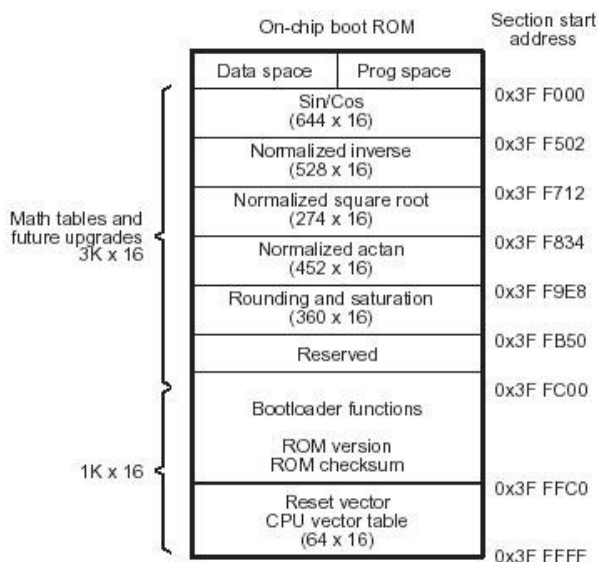


Рис. 3. Структура загрузочной ПЗУ

- ЦП С28х взаимодействует с другими частями устройства с помощью нескольких шин данных и адресных шин.
- Арифметико-логическое устройство (АЛУ) выполняет математические операции.
- Устройство циклического сдвига используется для деления и дополнения чисел.

На рис. 4 изображена структура внутренних шин процессора С28х и организация доступа к памяти.

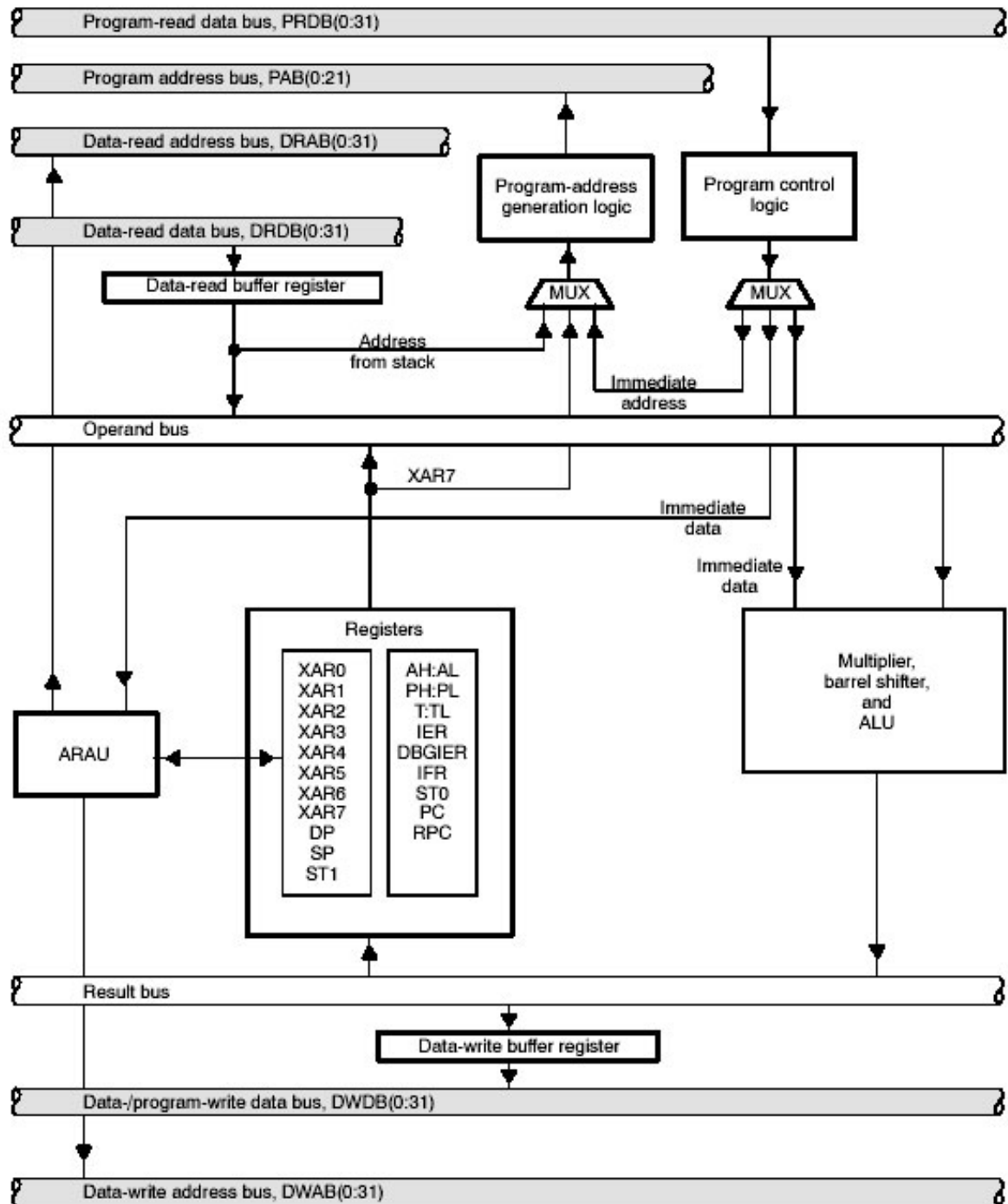


Рис. 4. Структура внутренних шин ЦП С28х и организация доступа к памяти

Контроллер прямого доступа в память (DMA) обеспечивает аппаратную передачу данных между периферией и памятью, а также между различными областями памяти без участия центрального процессора, разгружая его от выполнения ряда важных, но рутинных функций. Высвободившееся процессорное время используется для реализации системных функций. В процессе передачи данных возможна их ортогональная перестановка для последующего ускорения обработки данных центральным процессором. В состав контроллера ПДП входит специальный дискретный управляющий автомат, обеспечивающий автоматическую генерацию адресов приемников и источников данных в соответствии с заданными величинами приращений.

На рис. 5 изображена регистровая модель процессора C28x.

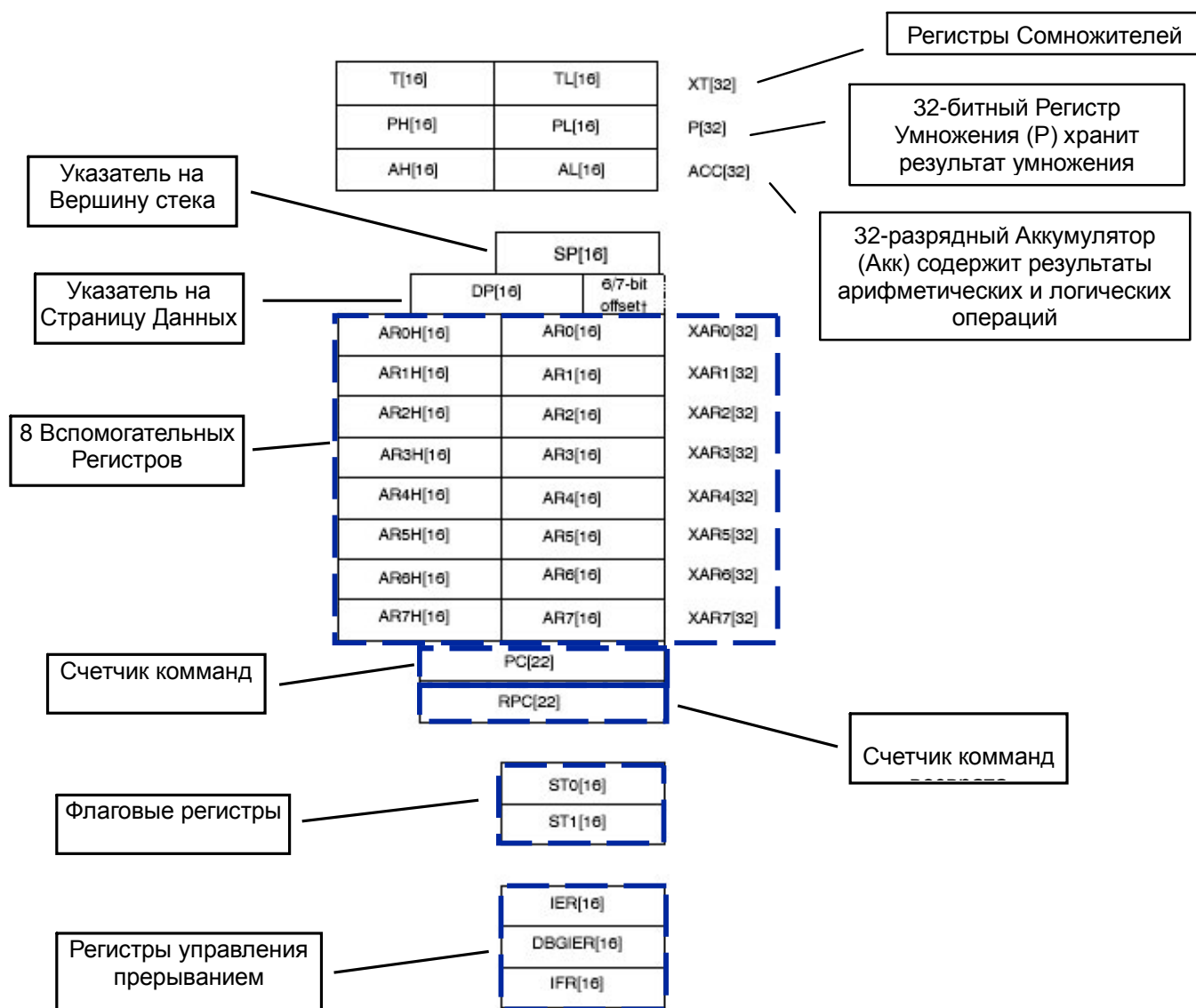


Рис. 5. Регистры ЦП C28x

Регистровая организация процессора позволяет построить эффективный компилятор с языка C/C++ с высокой плотностью кода.

Для организации взаимодействия микроконтроллера с внешними периферийными устройствами используется механизм прерываний. Особенностью процессора является

доступность значительного числа прерываний. Прерывания — это сигналы, которые генерируются аппаратным или программным обеспечением, и заставляют ЦП приостановить выполнение текущей операции и обработать подпрограмму, вызвавшую прерывание.

Как правило, прерывания генерируются периферийными устройствами и аппаратным обеспечением, которому необходимо передать или получить данные от ЦП - рис.6.

Прерывания также отражают наступление какого-либо события (например, таймер закончил отсчет).

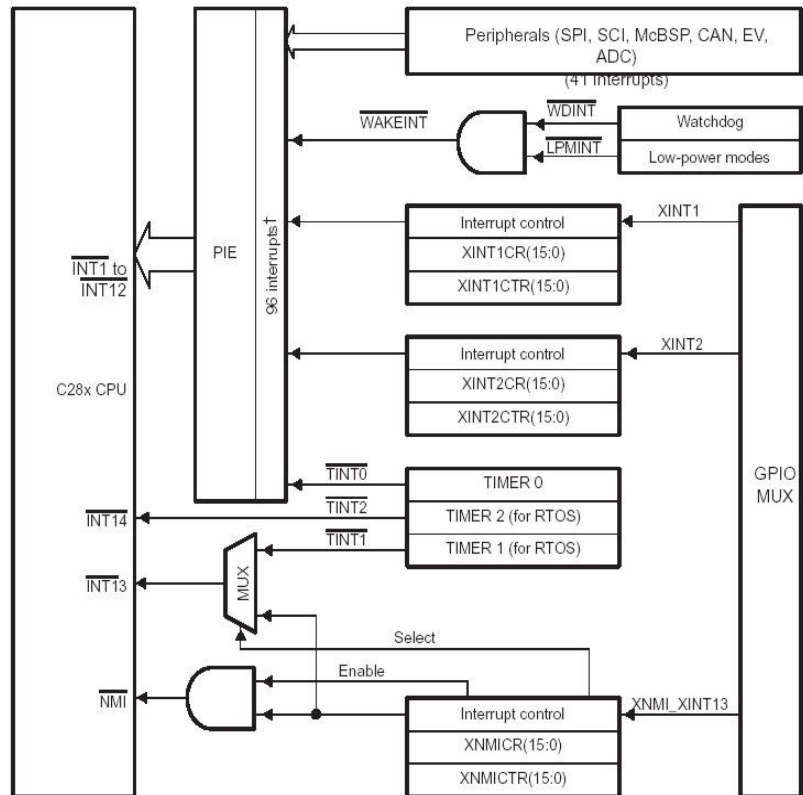


Рис. 6. Источники прерываний

Прерывания проходят через Систему периферийных прерываний (PIE), которая изображена на рис. 7.

При настройке прерываний, важно использовать правильную маршрутизацию.

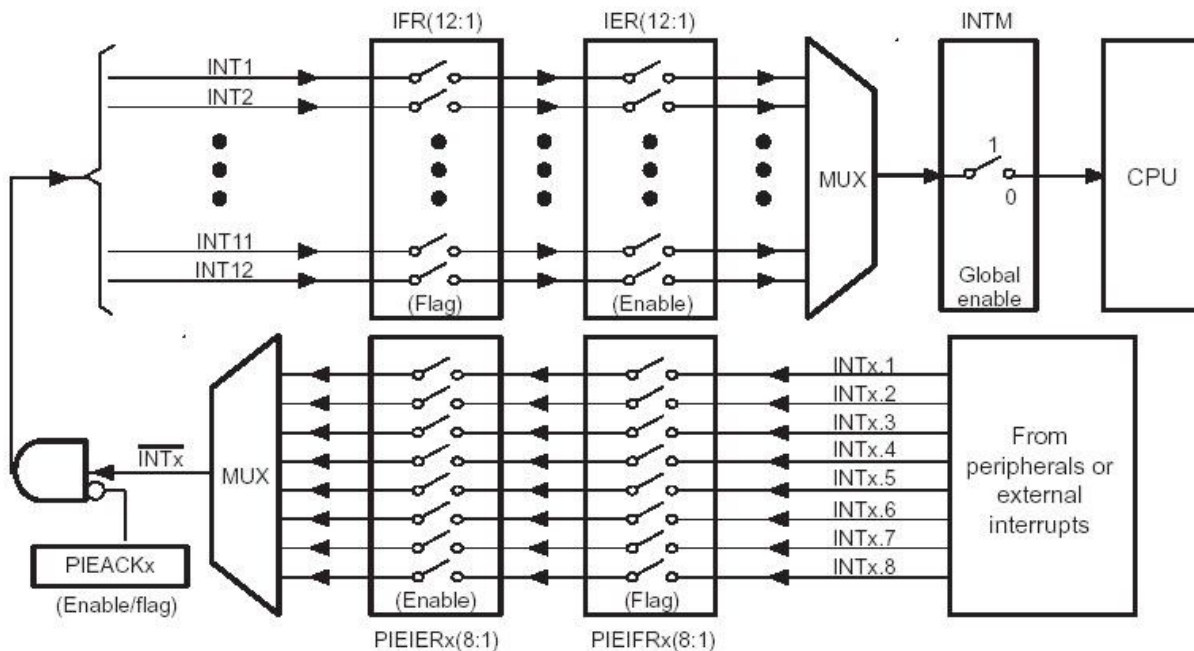


Рис. 7. Система периферийных прерываний

Номер прерывания выбирается из таблицы. Например, Таймер 1 имеет время прерывания (T1PINT) равное INT2.4 как показано на рис. 8.

CPU Interrupts	PIE Interrupts							
	INTx.8	INTx.7	INTx.6	INTx.5	INTx.4	INTx.3	INTx.2	INTx.1
INT1.y	WAKEINT (LPM/WD)	TINT0 (TIMER 0)	ADCINT (ADC)	XINT2	XINT1	Reserved	PDPINTB (EV-B)	PDPINTA (EV-A)
INT2.y	Reserved	T1OFINT (EV-A)	T1UFINT (EV-A)	T1CINT (EV-A)	T1PINT (EV-A)	CMP3INT (EV-A)	CMP2INT (EV-A)	CMP1INT (EV-A)
INT3.y	Reserved	CAPINT3 (EV-A)	CAPINT2 (EV-A)	CAPINT1 (EV-A)	T2OFINT (EV-A)	T2UFINT (EV-A)	T2CINT (EV-A)	T2PINT (EV-A)
INT4.y	Reserved	T3OFINT (EV-B)	T3UFINT (EV-B)	T3CINT (EV-B)	T3PINT (EV-B)	CMP6INT (EV-B)	CMP5INT (EV-B)	CMP4INT (EV-B)
INT5.y	Reserved	CAPINT6 (EV-B)	CAPINT5 (EV-B)	CAPINT4 (EV-B)	T4OFINT (EV-B)	T4UFINT (EV-B)	T4CINT (EV-B)	T4PINT (EV-B)
INT6.y	Reserved	Reserved	MXINT (McBSP)	MRINT (McBSP)	Reserved	Reserved	SPITXINTA (SPI)	SPIRXINTA (SPI)
INT7.y	Reserved	Reserved	Reserved	Reserved	Reserved	Reserved	Reserved	Reserved
INT8.y	Reserved	Reserved	Reserved	Reserved	Reserved	Reserved	Reserved	Reserved
INT9.y	Reserved	Reserved	ECAN1INT (CAN)	ECAN0INT (CAN)	SCITXINTB (SCI-B)	SCIRXINTB (SCI-B)	SCITXINTA (SCI-A)	SCIRXINTA (SCI-A)
INT10.y	Reserved	Reserved	Reserved	Reserved	Reserved	Reserved	Reserved	Reserved
INT11.y	Reserved	Reserved	Reserved	Reserved	Reserved	Reserved	Reserved	Reserved
INT12.y	Reserved	Reserved	Reserved	Reserved	Reserved	Reserved	Reserved	Reserved

† Out of the 96 possible interrupts, 45 interrupts are currently used. the remaining interrupts are reserved for future devices.

Рис. 8. Таблица периферийных прерываний

Микроконтроллер C2000 имеет несколько каналов для связи с периферийными устройствами. Это аналого-цифровые преобразователи (ADC), последовательные интерфейсы (SCI, SPI, CAN), широтно-импульсный модулятор или ШИМ (PWM), таймеры и прерывания. Управление всеми каналами осуществляется через интерфейс ввода-вывода

Register Bit	Peripheral Name GPAMUX Bit = 1	GPIO Name GPAMUX Bit = 0
EV-A Peripheral		
0	PWM1 (O)	GPIOA0
1	PWM2 (O)	GPIOA1
2	PWM3 (O)	GPIOA2
3	PWM4 (O)	GPIOA3
4	PWM5 (O)	GPIOA4
5	PWM6 (O)	GPIOA5
6	T1PWM_T1CMP (O)	GPIOA6
7	T2PWM_T2CMP (O)	GPIOA7
8	CAP1_QEP1 (I)	GPIOA8
9	CAP2_QEP2 (I)	GPIOA9
10	CAP3_QEP1 (I)	GPIOA10
11	TDIRA (I)	GPIOA11
12	TCLKINA (I)	GPIOA12
13	C1TRIP (I)	GPIOA13

Рис. 9. Интерфейс ввода-вывода общего назначения

общего назначения (GPIO) – рис.9, который принимает и обрабатывает внешние сигналы. Имеется возможность включения и отключения выходных сигналов. Выходные сигналы ШИМ-модуля также выводятся через GPIO. Обратите внимание на то, что Вы не можете передать сигнал на вход GPIOA0 в то время как ШИМ-модуль выводит сигнал.

Интерфейс SCI используется для последовательной передачи данных) – рис.10. Типичная скорость передачи 9600 бод.

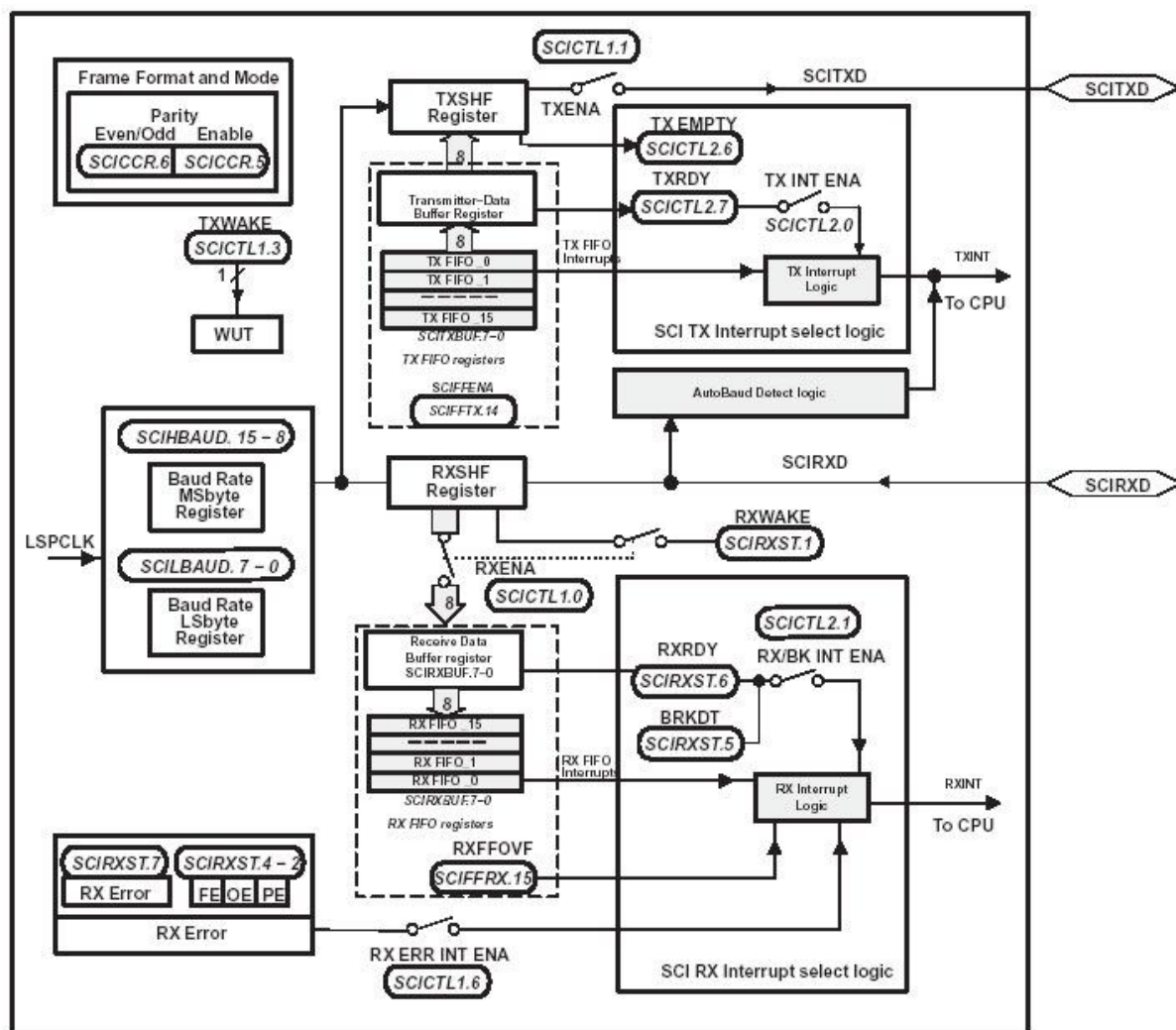


Рис. 10. Интерфейс SCI

Аналого-цифровой преобразователь (АЦП) (ADC) используется для дискретизации сигнала из диапазона от 0 до 3,3 В. Дискретизированный сигнал поступает на вход ЦП в диапазоне от 0 до 4095. Могут проводиться как одиночные, так и групповые измерения. Например, для трехфазного двигателя могут быть измерены ток и напряжение на каждой обмотке. Структура встроенного АЦП показана на рис.11. Результаты измерений хранятся в соответствующих регистрах – рис.12.

Блок внешнего интерфейса (GPIO) позволяет ЦП C28x обращаться к внешней памяти для сохранения кода программ или переменных в том случае, если встроенной памяти недостаточно для того или иного приложения – рис.6, рис.13.

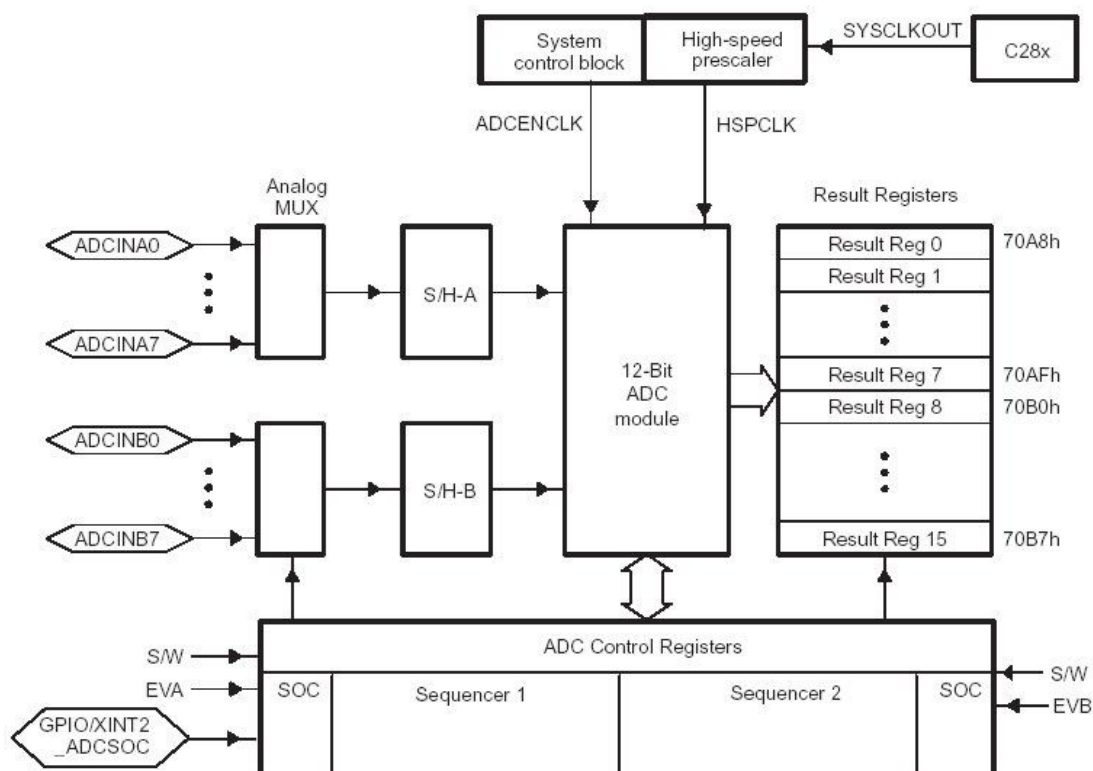


Рис. 11. Структура АЦП

Buffer Register	ADC conversion result buffer
ADCRESULT0	I_1
ADCRESULT1	I_2
ADCRESULT2	I_3
ADCRESULT3	V_1
ADCRESULT4	V_2
ADCRESULT5	V_3
ADCRESULT6	x
ADCRESULT7	x
ADCRESULT8	x
ADCRESULT9	x
ADCRESULT10	x
ADCRESULT11	x
ADCRESULT12	x
ADCRESULT13	x
ADCRESULT14	x
ADCRESULT15	x

Рис. 12. Несколько измерений, полученных с помощью АЦП

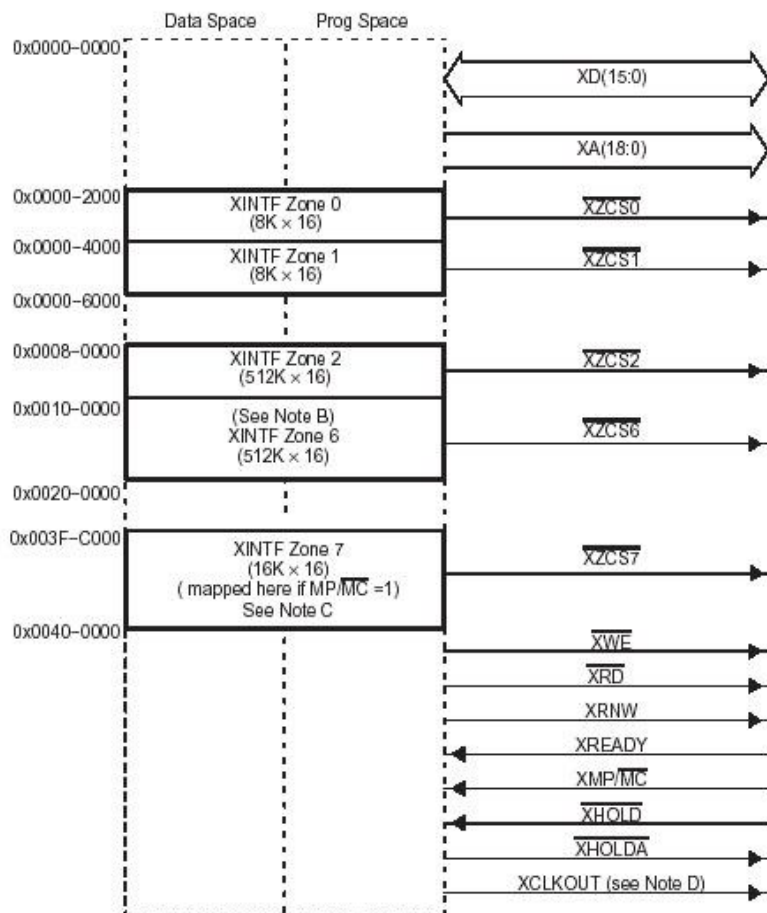


Рис. 13. Структурная организация внешнего интерфейса

Особенности организации микроконтроллера C2000 позволяет говорить о расширении области применения специализированных микроконтроллеров для решения задач управления. К новым областям применения микроконтроллеров можно отнести: 1) управление многоканальными силовыми источниками питания, где каждый канал должен работать на своей собственной несущей частоте, или на одной и той же частоте, но с заданным фазовым сдвигом; 2) цифро-фазовое управление ключами полупроводниковых преобразователей электрической энергии и регуляторов напряжения (устройств мягкого пуска); 3) управление многоуровневыми инверторами, в том числе высоковольтными, с синхронизацией значительного числа каналов.

Литература

1. В. Козаченко, Новые возможности семейства специализированных микроконтроллеров TMS 320F2833x. – Новости Электроники 14 (60), 2008г, с.7-14.