Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана

Факультет «Информатика и системы управления»

Кафедра «Системы обработки информации и управления»



**Домашнее задание**

**по дисциплине «Элементы управления в АСОИУ»**

**по теме**

**«Обзор и Анализ архитектуры микроконтроллеров PIC24 фирмы Microchip Technology Inc.»**

ИСПОЛНИТЕЛЬ:

студент ИУ5-83

Алёшин Александр

ПРЕПОДАВАТЕЛЬ:

Нестеров Ю.Г.

# **Оглавление**

[**Оглавление** 2](#_Toc132578348)

[**PIC – контроллеры.** 3](#_Toc132578349)

[**Архитектура** 6](#_Toc132578350)

[**Организация памяти программ и памяти данных** 12](#_Toc132578351)

[**Конвейер команд.** 12](#_Toc132578352)

[**Характеристики** 20](#_Toc132578353)

[**Особенности микроконтроллеров PIC24** 21](#_Toc132578354)

[**Рынок** 24](#_Toc132578355)

[**Список источников:** 28](#_Toc132578356)

# **PIC – контроллеры.**

Микроконтроллеры PIC24F были разработаны как недорогое аппаратно-программное решение для перехода от 8-битных микроконтроллеров семейства PIC18 к 16-битной архитектуре, призванное обеспечить максимальную преемственность как уже разработанных приложений для PIC18, так и вновь создаваемых, более эффективных и недорогих 16-битных решений.

Прообразом контроллеров семейства PIC с RISC –архитектурой послужил периферийный контроллер (Peripheral Interface Controller — PIC), разработанный в 1975 году отделением компании General Instrument Microelectronics Inc. Он был предназначен для поддержки ввода-вывода 16-разрядного процессора. Однако, поскольку к контроллеру не предъявлялось высоких требований по обработке данных, он имел ограниченный набор команд, при этом почти все команды в нем выполнялись за один машинный цикл. [5]

Еще одной особенностью контроллера является использование Гарвардской архитектуры, основанной на разделении шин и областей памяти для данных и команд. Это позволяет более эффективно использовать ресурсы процессора и ускоряет работу устройства в целом.

Позже отделение компании General Instrument выделилось в самостоятельную фирму (Microchip Technology Ltd.), которая в конце 1980-х годов разработала и изготовила первые модели микроконтроллеров семейства Р1С16С5х. С тех пор развитие и совершенствование контроллеров шло по пути расширения состава периферийных устройств и набора команд, совершенствования технологии и улучшения характеристик.

За прошедшие годы фирмой выпущено несколько семейств PIC, каждое из которых постоянно пополняется новыми моделями (версиями). Это позволяет выбрать наиболее подходящий вариант для конкретной задачи и обеспечивает большой выбор функциональности и возможностей. Благодаря этому, микроконтроллеры PIC стали очень популярными и широко используются в различных областях, включая автомобильную промышленность, медицину, электронику и т.д. [2]

Одним из главных преимуществ микроконтроллеров PIC является их низкая стоимость и доступность. Это делает их привлекательными для использования в различных проектах, включая учебные и хобби-проекты. Кроме того, они отличаются высокой надежностью и долговечностью, что делает их идеальным выбором для промышленных приложений.

Выбор микроконтроллеров PIC24F оправдан в тех случаях, когда необходимо обеспечить среднюю производительность системы при относительно невысокой стоимости конечного продукта. Для приложений, требующих более высокой производительности (выше, чем 16 MIPS), можно использовать более дорогие микроконтроллеры семейства PIC24H.

Разработанные фирмой Microchip 16-битные микроконтроллеры являются очередным шагом на пути повышения производительности и эффективности встроенных и мобильных приложений. Эта 16-битная архитектура изначально разрабатывалась как альтернатива 8-битным решениям и призвана заменить в ближайшее время 8-битные микроконтроллеры в большинстве приложений. Разработанная фирмой Microchip 16битная платформа реализована в двух семействах 16-битных микроконтроллеров и в двух семействах цифровых сигнальных контроллеров. Все эти семейства объединяет ряд общих характеристик:

• совместимость по назначению выводов различных 16-битных устройств;

• возможность использования для всех устройств одних и тех же инструментальных средств разработки программного обеспечения;

• аппаратно-программная совместимость всех одноименных периферийных модулей микроконтроллеров;

• общая базовая система команд процессора, используемая во всех семействах.

Выбор той или иной модели микроконтроллера или сигнального контроллера зависит от требований к разрабатываемому приложению. Для большинства недорогих устройств средней производительности подходят микроконтроллеры PIC24F, максимальная производительность которых составляет 16 MIPS. Для устройств, требующих высокой производительности, можно использовать микроконтроллеры PIC24H с максимальным быстродействием 40 MIPS. Микроконтроллеры семейств PIC24F и PIC24H работают с одним и тем же набором инструкций процессора, включают одни и те же периферийные модули, имеют одну и ту же цоколевку, и для работы с ними используются одни и те же инструментальные средства для разработки программного обеспечения. Если требуются дополнительные возможности по обработке сигналов, то вместо микроконтроллеров семейств PIC24F/H можно применить цифровые сигнальные контроллеры семейства dsPIC30F, которые могут помимо всего прочего работать при напряжении питания 5 В, или высокопроизводительные (40 MIPS) контроллеры dsPIC33F, которые имеют большой объем памяти и используют низковольтное (3.3 В) питание. В качестве инструментального средства разработки программного обеспечения 16-битных микроконтроллеров и цифровых сигнальных контроллеров используется свободно распространяемая интегрированная среда разработки (ИСР) MPLAB IDE фирмы Microchip, которая позволяет разрабатывать и отлаживать 8-, 16- и 32-битные приложения. Программа MPLAB IDE работает под управлением операционных систем Windows 2000/XP/Vista и позволяет выполнить все этапы разработки и отладки программного обеспечения для целевой системы. Среда MPLAB IDE позволяет выполнять тестирование и отладку программ с использованием мощного программного симулятора MPLAB SIM. Кроме того, для разработки программного обеспечения для 16-битных систем в среде MPLAB IDE можно использовать следующие инструментальные средства:

• ассемблер ASM30 — полнофункциональный макроассемблер, в котором можно создавать пользовательские макросы и использовать условное ассемблирование. Многочисленные директивы языка делают макроассемблер очень мощным средством разработки программ;

• компилятор программ, написанных на языке Си, который называется MPLAB C для PIC24. Этот компилятор используется для компиляции и оптимизации программ, написанных для 16-битных микроконтроллеров PIC24F/H и цифровых сигнальных контроллеров dsPIC30/33. Он совместим со стандартом ANSI C и включает полную библиотеку стандартных функций ANSI C, в числе которых функции манипулирования строками, функции работы с динамической памятью, функции преобразования даты/времени и математические функции. В компиляторе MPLAB C для PIC24 имеется мощный оптимизатор, позволяющий почти в 1,5 раза уменьшить размер программного кода по сравнению с компиляторами других фирм-производителей;

• визуальный генератор кода инициализации MPLAB VDI, позволяющий значительно упростить процесс создания инициализационного кода программы. С помощью VDI можно в графическом виде сконфигурировать устройство и по завершении вставить сгенерированный программный код инициализации в программу на языке Си или ассемблере;

• библиотеку периферийных модулей, включающую более чем 270 функций для работы с различными периферийными модулями;

• библиотеку математических функций, совместимую со стандартом IEEE754, которая включает ряд функций для выполнения операций над обычными вещественными числами и вещественными числами с двойной точностью. Функции этой библиотеки могут использоваться как в программах на языке Си, так и на ассемблере. Кроме инструментальных средств разработки и отладки программного обеспечения фирмыпроизводителя на рынке присутствуют и программные средства, выпускаемые многими известными фирмами (Hi-Tech, CCS и т.д.). Из аппаратных средств разработки наиболее известна и популярна отладочная плата «Explorer 16 Development Board» фирмы Microchip, хотя другие фирмы также приступили к выпуску отладочных плат на базе 16-битных микроконтроллеров.[1]

# **Архитектура**

Ядро dsPIC/PIC24 является одним из самых передовых и инновационных продуктов компании Microchip. Оно построено по модифицированной Гарвардской архитектуре с расширенной системой команд, что позволяет значительно увеличить производительность и функциональность устройств, созданных на его основе.[3]

В отличие от привычных для разработчиков 8-битных ядер Microchip, таких как Baseline, Midrange и PIC18, архитектура dsPIC/PIC24 представляет собой абсолютно новую разработку. Она обладает рядом преимуществ, включая более быструю обработку данных, большую емкость памяти и возможность работы с более сложными алгоритмами.

Благодаря своей высокой производительности и функциональности, ядро dsPIC/PIC24 широко применяется в различных областях, включая автомобильную промышленность, медицинское оборудование, электронику потребительского рынка и телекоммуникации.

Микроконтроллеры PIC24F могут взаимодействовать с различными внешними периферийными устройствами посредством интерфейсов I2C, SPI и UART. Для этого в состав устройства включены соответствующие модули, которые могут настраиваться и работать независимо друг от друга. Функциональность подсистемы асинхронной последовательной передачи данных улучшена за счет включения в UART аппаратно-программного субмодуля IrDA. Существенно улучшает рабочие характеристики модулей интерфейсов SPI и UART сериализация данных в буфере FIFO, которая позволяет снизить непроизводительные траты процессорного времени на обработку передачи данных. В отличие от многих устройств семейства PIC18, в которых реализован порт параллельной передачи данных, работающий только в режиме «ведомого», в микроконтроллерах PIC24F имеется модуль параллельного обмена данными, который позволяет работать как в режиме «ведомого», так и в режиме «ведущего». Это существенно расширяет возможности PIC24F при обмене данными с периферийными устройствами, имеющими параллельный интерфейс (принтеры, сканеры, устройства внешней памяти и т. д.).

Все устройства семейства PIC24F имеют один и тот же набор базовых периферийных модулей и отличаются объемом флэшпамяти. Обобщенная функциональная схема микроконтроллеров семейства PIC24F показана на Рис. 1. Периферийные модули микроконтроллеров PIC24F позволяют создавать системы обработки данных и управления для широкого класса задач, решаемых в промышленности и в лабораторных исследованиях. Мы будем детально рассматривать принципы функционирования большинства из этих периферийных модулей в последующих главах, а сейчас проведем краткий обзор и начнем с модуля аналого-цифрового преобразователя. [4]

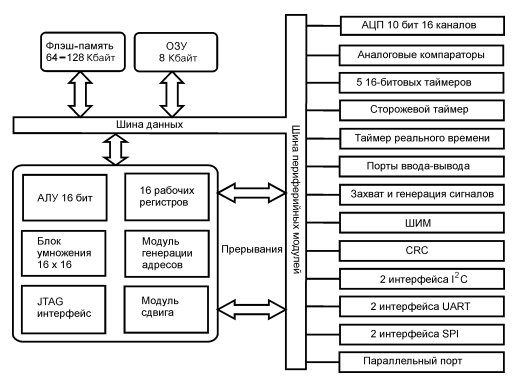


Рисунок 1. Обобщенная функциональная схема микроконтроллеров PIC24F

Периферийные модули микроконтроллеров PIC24F позволяют создавать системы обработки данных и управления для широкого класса задач, решаемых в промышленности и в лабораторных исследованиях. Мы будем детально рассматривать принципы функционирования большинства из этих периферийных модулей в последующих главах, а сейчас проведем краткий обзор и начнем с модуля аналого-цифрового преобразователя. В микроконтроллерах семейства Microchip используется 10-битный аналого-цифровой преобразователь последовательного приближения. Ниже приводятся отдельные характеристики этого преобразователя:

• скорость преобразования — до 500 тыс. выборок/с;

• количество каналов входных аналоговых сигналов — 16;

• источник опорного напряжения — внешний или внутренний.

Аналого-цифровой преобразователь может работать в режиме автоматического сканирования входов и поддерживает различные режимы синхронизации. Модуль АЦП допускает автономную работу при переходе процессора в «спящий» режим или режим «холостого хода». Аналого-цифровой преобразователь может производить несколько последовательных выборок, накапливая результат в 16-уровневом буфере данных, и сохранять результат в одном из четырех форматов. Следующий периферийный модуль — модуль аналоговых компараторов. Это устройство включает в себя два компаратора, которые используются при реализации широкого класса функциональных узлов, например детектора перехода через ноль в схеме синхронизации по переменному току 50 Гц, или при создании более сложных устройств, таких, как 16-битный сигма-дельта аналого-цифровой преобразователь. Микроконтроллеры PIC24F включают 5 модулей таймеров общего назначения разрядностью 16 бит. Все пять таймеров обладают общими базовыми функциональными возможностями. Регистры периода всех таймеров могут использоваться для генерации прерывания при совпадении содержимого такого регистра с текущим содержимым регистра таймера. Во всех таймерах предусмотрены режим запуска/останова по внешнему сигналу и генерация прерывания по спаду внешнего сигнала. Четыре из пяти таймеров могут объединяться попарно для формирования 32-битных таймеров. С модулями таймеров тесно связан 5-канальный модуль захвата входных сигналов и 5-канальный модуль генерации цифровых сигналов. Модуль захвата входных сигналов используется для измерения интервалов между событиями. Минимальная разрешающая способность при таком измерении равна длительности одного машинного цикла. Для синхронизации временных меток модуль захвата входных сигналов использует в качестве базовых Таймеры 2 и 3.

Модуль генерации цифровых сигналов используется для генерации одиночных импульсов и импульсных последовательностей и имеет пять каналов. Для отсчета интервалов времени при формировании таких сигналов модуль генерации цифровых сигналов использует в качестве базовых Таймер 2 и Таймер 3. Выходные сигналы этого модуля могут использоваться для управления обычными (термоэлементы) и индуктивными (электродвигатели) нагрузками, а также для синтеза голосовых сигналов. В микроконтроллерах семейства PIC24F имеется два модуля универсального асинхронного приемопередатчика (UART), которые позволяют реализовать обмен данными в соответствии со стандартами RS-232 и RS-485. Приемопередатчик обеспечивает обмен 8 или 9-битными данными с контролем четности или без такового с одним или двумя стоповыми битами. Устройство поддерживает функцию аппаратного контроля обмена данными, что обеспечивает высокий уровень надежности и производительности, позволяя подключать к микроконтроллеру различные периферийные устройства, например модемы. Скорость передачи данных может изменяться от 15 бод до 1 Мбод. Повышение производительности операций обмена данными и разгрузка процессора обеспечиваются за счет использования 4-уровневых буферов входных и выходных данных и прерываний. Кроме того, модуль UART поддерживает передачу информации по протоколам IrDA и LIN.

Для обмена данными между различными устройствам в настоящее время очень часто используются протоколы I2C и SPI. Микроконтроллеры PIC24F имеют интегрированные периферийные модули для поддержки этих протоколов. В модуле I2C применяется аппаратно-программный алгоритм, позволяющий выбрать режим «ведущего» или «ведомого». Модуль поддерживает как 7, так и 10-битную адресацию устройств на шине I2C, при этом тактовая частота шины I2C может быть задана равной 100 или 400 кГц.

Модули SPI микроконтроллеров PIC24F можно сконфигурировать для работы с двумя, тремя или четырьмя сигнальными линиями. В режиме с двумя линиями (синхронизации и данных) интерфейс SPI можно использовать для приема сигналов датчиков. Для работы с аналого-цифровыми преобразователями, сдвиговыми регистрами и микросхемами памяти EEPROM используется, как правило, 3-проводной интерфейс. Еще один периферийный модуль — модуль часов реального времени с календарем (RTCC) — предназначен для точного отсчета времени в течение длительных интервалов и оперирует с датами и временем. Он может выполнять функцию будильника, включая внешнее устройство в определенный момент времени в будущем. Модуль RTCC синхронизируется непосредственно от внешнего источника тактового сигнала частотой 32 кГц. Из этого сигнала посредством предделителя формируется внутренний сигнал с периодом 0.5 с, который используется для синхронизации регистров модуля, содержащих элементы даты (год, месяц, день; день недели, часы, минуты и секунды). Данные хранятся в регистрах в удобном BCD-формате. Функция будильника может быть запрограммирована на определенный месяц, день; день недели, час, минуту и секунду. Кроме того, поскольку регистры модуля часов реального времени работают на очень низкой частоте, это позволяет минимизировать энергопотребление устройства. Часы реального времени могут функционировать и в том случае, если процессор находится в «спящем» режиме. Для управления внешними устройствами можно использовать выходной сигнал модуля частотой 1 Гц или сигнал, формируемый при срабатывании будильника.

Модуль параллельного порта позволяет легко реализовывать аппаратно-программный 8-битный интерфейс с внешними устройствами и модулями памяти. Модуль поддерживает мультиплексирование шин адреса/данных, позволяя передавать по 8-битной шине 16-битные данные. В модуле предусмотрена работа с 16 адресными линиями, что дает возможность адресовать до 64 Кбайт памяти, а при использовании дополнительных линий адреса, в качестве которых могут быть задействованы выводы портов общего назначения, — и большее пространство адресов. В модуле предусмотрена функция автоинкремента и автодекремента адреса, что позволяет оптимизировать передачу больших блоков данных. Последнее периферийное устройство, на котором мы остановимся, — мо дуль контроля достоверности данных с использованием циклического избыточ ного кода (CRC). Этот модуль находит применение при контроле ошибок обмена данными с периферийным оборудованием и памятью, особенно при работе с коммуникационным оборудованием по протоколам CAN, USB и Ethernet. Микроконтроллеры семейства PIC24F имеют 16разрядную шину данных, что существенно повышает их функциональные возможности по сравнению с устройствами семейства PIC18. Длина инструкции (команды) процессора в микроконтроллерах серии PIC24 равна 24 битам, а частота выполнения команд процессора в 2 раза меньше, чем частота синхронизации устройства. Если использовать принятые в документации фирмы Microchip обозначения, то это соотношение можно выразить формулой:

где FOSC — тактовая частота синхронизации микроконтроллера, а FCY — тактовая частота процессора.

### **Организация памяти программ и памяти данных**

Память данных и память программ функционирования. Особенностью микроконтроллеров PIC является то, что память программ и память данных разделены (Гарвадская архитектура). Эта архитектура – основа большинство других особенностей принципа функционирования.

Присутствует шина данных, которая во всех PIC микроконтроллерах имеет разрядность 8 бит и разделена с шиной адреса, которая соединяет центральный процессор с памятью программ. В результате процессор в состоянии одновременно выполнять доступ к данным и к словам команд.

Карта памяти программ всех контроллеров dsPIC/PIC24 имеет линейную и несегментированную структуру. Это означает, что все инструкции имеют фиксированную длину 24-бита, а счетчик инструкций – 23-битный, причем младший бит всегда равен 0 для обеспечения выравнивания данных при выборке инструкции.

Каждая команда имеет разрядность слова (за исключением PIC18). Гарвадская архитектура допускает, чтобы разрядность ячеек и памяти программ не зависела от разрядности ячеек в памяти данных. Вследствие этого возможно выбрать ячейки памяти программ такого размера, чтобы для каждой команды требовалось только одно обращение к шине адреса. В одном слове команды содержится совокупная информация о коде команды и аргументах.

Для этого необходим хорошо продуманный, сокращенный набор команд. В результате микроконтроллеры PIC становятся очень быстродействующими и простыми в обслуживании, хотя существуют также ограничения и недостатки.

### **Конвейер команд.**

Гарвадская архитектура, наряду с применением команд в одно слово, позволяет воспользоваться особым “трюком” под названием “конвейеризация”. Одновременно с выполнением команды центральный процессор выбирает из памяти программ следующую команду. Этим обработка ускоряется почти в два раза при той же тактовой частоте.

Только в том случае, когда обрабатываемая в данный момент команда является командой перехода, подготовленная команда отбрасывается и выбирается команда по новому адреса перехода. Таким образом, длительность команд перехода больше на один командный цикл (для команд условного перехода – только если переход выполняется).

Таким образом, эффективное количество адресуемых инструкций равно 222, что составляет примерно 4 млн инструкций. Это означает, что контроллеры dsPIC/PIC24 обладают достаточно большим объемом памяти для хранения программных инструкций и обеспечивают высокую производительность при выполнении задач.

Благодаря фиксированной длине инструкций и малому размеру счетчика инструкций, контроллеры dsPIC/PIC24 обеспечивают быстрое и эффективное выполнение программных задач. Это делает их идеальным выбором для широкого спектра приложений, включая автомобильную и промышленную автоматизацию, медицинское оборудование и другие высокопроизводительные системы.

В целом, контроллеры dsPIC/PIC24 представляют собой надежные устройства, которые обладают высокой производительностью и широкими возможностями для реализации различных задач. Их линейная и несегментированная карта памяти программ является одним из ключевых преимуществ, которые обеспечивают эффективную работу и оптимальную производительность. Семейство PIC24F/H не имеют интегрированной памяти EEPROM, что связано с изменением технологии изготовления кристаллов. Поэтому при необходимости наличия в системе энергонезависимой памяти малого объема с большим количеством циклов перепрограммирования рекомендуется использовать внешние микросхемы памяти EEPROM с последовательным интерфейсом.

В контроллерах dsPIC/PIC24 так называемое «конфигурационное пространство» занимает половину карты программной памяти, что составляет около 2 млн инструкций. Это пространство содержит не только слова конфигурации и идентификационный код кристалла, но также и другие параметры, которые могут быть настроены программно для оптимальной работы контроллера.

Кроме того, контроллеры dsPIC/PIC24 обладают большим количеством периферийных устройств, которые могут быть настроены для решения различных задач. Это включает в себя аналоговые и цифровые входы и выходы, интерфейсы для связи с другими устройствами, такие как UART, SPI и I2C, а также специализированные модули для обработки сигналов, такие как модули ШИМ и АЦП.

Благодаря этим возможностям контроллеры dsPIC/PIC24 могут быть использованы для реализации широкого спектра приложений, включая системы управления двигателями, системы автоматического управления, системы измерения и контроля, системы коммуникации и многое другое.

В целом, контроллеры dsPIC/PIC24 являются мощными и гибкими устройствами, которые обладают широкими возможностями для реализации различных задач. Их линейная и несегментированная карта памяти программ и большое количество периферийных устройств делают их идеальным выбором для высокопроизводительных приложений в различных отраслях промышленности.

При работе с микроконтроллерами необходимо учитывать, что половина карты программной памяти занимает так называемое «конфигурационное пространство». Этот сектор включает в себя слова конфигурации, которые определяют режим работы контроллера после сброса, а также идентификационный код кристалла, предназначенный для определения контроллера аппаратными средствами разработки.

Однако, следует отметить, что во всех 16-битных микроконтроллерах физически реализована только небольшая часть этого сектора. Это может ограничить возможности программирования и конфигурации контроллера. Поэтому при разработке проектов на микроконтроллерах необходимо учитывать этот факт и подбирать соответствующее оборудование и программное обеспечение.

Кроме того, при работе с конфигурационным пространством необходимо учитывать его особенности и возможные ограничения. Например, изменение параметров конфигурации может привести к неправильной работе контроллера или даже к его повреждению. Поэтому необходимо тщательно изучать документацию и руководства по работе с конфигурационным пространством.

В целом, конфигурационное пространство является важной частью программной памяти микроконтроллера и может существенно влиять на его работу. При правильном использовании и настройке конфигурационного пространства можно добиться оптимальной производительности и стабильной работы контроллера. Физически программная память во всех контроллерах 16-битного семейства реализована в виде перепрограммируемой Flash-памяти. Все контроллеры поддерживают внутрисхемное программирование и программирование в ходе выполнения программы.

В ходе выполнения программы существует три способа доступа к программной памяти:

* Выборка инструкции в соответствии со значением командного счетчика – собственно само выполнение программы.
* Использование инструкций табличного чтения-записи, позволяющее получить доступ как к слову (16-бит), так и к байту программной памяти. Табличная запись осуществляется через буфер, не отображаемый в ОЗУ. Для контроллеров dsPIC30 минимальный объем записываемых данных равен 12 байтам (4 программных слова, 1/8 сектора Flash памяти), для контроллеров dsPIC33 и PIC24F/H – 192 байта (64 программных слова – один сектор Flash памяти).
* Чтение программной памяти с помощью механизма **PSV** (**P**rogram **S**pace **V**isibility) - отображения сектора памяти программ в область ОЗУ. Механизм PSV позволяет отобразить любую часть программной памяти объемом 32 кБайта в верхнюю, не реализованную физически область ОЗУ (рис. 2). PSV предоставляет уникальную возможность обращаться к младшим 16-битам программного слова как к динамическим данным - любые инструкции, осуществляющие чтение из ОЗУ, могут использовать программную память в качестве источника. Механизм PSV применяется, если алгоритм содержит большие массивы констант: текстовые строки, коэффициенты цифровых фильтров и т. п.

Существенное отличие DSC dsPIC30 и остальных 16-битных семейств (dsPIC33, PIC24F/H) заключается в технологии изготовления интегрированной Flash-памяти. Как следствие – различное количество циклов перепрограммирования. Для dsPIC30 оно составляет 100 тыс., для dsPIC33 и PIC24F/H – всего 1 тыс. Может показаться, что это серьезный недостаток новых контроллеров, однако как показывает практика 1 тысячи циклов перезаписи достаточно для большинства задач, в том числе и для реализации калибруемых устройств.

Современные технологии изготовления кристаллов позволяют значительно улучшить характеристики микроконтроллеров. Одним из важных параметров является спецификация программирования, которая зависит от конкретной технологии. Например, микроконтроллеры PIC24F/H не требуют подачи высокого напряжения (13 В) на кристалл во время программирования, что делает этот процесс более удобным и безопасным.

Кроме того, современные микроконтроллеры обладают высокой скоростью операций с памятью. Для контроллеров с объемом Flash 64 кБ полный цикл стирание-запись занимает менее 1 секунды. Это позволяет значительно повысить эффективность работы устройств.

Микроконтроллеры семейства PIC24F имеют 16 рабочих регистров, оперирующих данными размером в одно слово (16 бит). Каждый из этих регистров может выступать в роли регистра данных, адреса или смещения. Шестнадцатый по счету регистр (W15) используется в качестве указателя стека (SP, Stack Pointer) в операциях вызова процедур и обработчиков прерываний. В микроконтроллерах PIC24F предусмотрена возможность отображения верхних 32 Кбайт памяти данных на адресное пространство памяти программ с выравниванием по границе слова, для чего используется 8-битный регистр PSVPAG (Program Space Visibility Page).

Разработчики семейства PIC24F предусмотрели обратную совместимость инструкций и режимов адресации процессора с микроконтроллерами семейства PIC18 за счет прямого включения подмножества инструкций PIC18 в систему команд PIC24, а также посредством использования макросов. В микроконтроллерах семейства PIC24F реализована гарвардская архитектура, в которой память программ и память данных разделены, что позволяет осуществлять прямой доступ к памяти программ из памяти данных во время выполнения программного кода. Организация памяти программ одной из наиболее распространенных линеек микроконтроллеров семейства PIC24FJ128GAxxx со 128 Кбайт флэш-памяти показана на Рис. 2.



Рисунок 2. Схема организации памяти программ микроконтроллеров PIC24FJ128GA

Пользовательским программам доступна область памяти в диапазоне адресов 0x000000…0x7FFFFF, за исключением области конфигурации устройства, доступ к которой осуществляется посредством инструкций tblrd/tblwt. Память программ организована в виде блоков, адресуемых пословно. Хотя адрес памяти является 24битным, более удобно рассматривать любой адрес в виде младшего и старшего слова, при этом старший байт старшего слова не используется и равен 0. Младшее слово всегда располагается по четному адресу, а старшее — по нечетному. Следует сказать, что адреса памяти программ всегда выравниваются по границе слова и при выполнении программного кода всегда инкрементируются и декрементируются на 2. Область памяти программ между адресами 0х000000 и 0х000200 зарезервирована для векторов прерываний. По адресам 0x000000 и 0x000002 размещается команда перехода к фактическому началу программы, при этом по первому адресу располагается код операции инструкции goto, а по второму — собственно адрес точки входа в программу. Также в памяти программ размещаются две таблицы векторов прерываний. Одна из них располагается в диапазоне адресов 0x000004…0x0000FF, а вторая (альтернативная) — в диапазоне адресов 0x000100…0x0001FF. Адресное пространство памяти данных микроконтроллеров PIC24F представляет собой непрерывную область 16-битных адресов с линейной адресацией. Адрес для доступа к данным формируется двумя модулями генерации адресов, один из которых используется в операциях записи, а другой — в операциях чтения данных. Распределение памяти данных микроконтроллеров PIC24F1 показано на Рис. 3.



Рисунок 3. Схема распределения памяти данных

Все действующие адреса памяти данных (Effective Addresses, EA) имеют размер 16 бит, что позволяет адресовать 64 Кбайт памяти. Нижняя половина адресов памяти данных, для которых старший бит действующего адреса равен 0, используется для адресации данных, а старшая половина адресов, для которых старший бит адреса равен 1, — для отображения памяти программ на память данных (Program Space Visibility Area, PSVA). Микроконтроллеры PIC24FJ128GA010 имеют объем памяти данных 8 Кбайт; при обращении к памяти данных по адресу, лежащему за пределами этой области, возвращается нулевой байт или слово. Данные в памяти выравниваются по границе слова, при этом младшие байты имеют четные, а старшие — нечетные адреса. Для обратной совместимости с 8-битными микроконтроллерами в систему команд PIC24F включены команды, поддерживающие операции как со словами, так и с отдельными байтами. При этом процессор распознает, когда выполняется операция над байтом, а когда – над словом, и генерирует соответствующий адрес. Например, если в команде используется косвенная адресация с постинкрементом, такая, как [W1++], то для байтовой команды генерируется адрес, равный W1+1, а для команды, работающей со словом, — W1+2. При любых операциях со словами данные должны иметь четный адрес, поэтому компилятор будет выдавать ошибку при сборке программ, если в программном коде происходит обращение к слову по нечетному адресу. Если такая ситуация возникает при выполнении программы, то генерируется ошибка адресации и вызывается обработчик этой исключительной ситуации. По этой причине следует соблюдать осторожность, если в программе одновременно присутствуют инструкции, работающие с байтами и со словами.

Для повышения эффективности работы программ в систему команд включен ряд инструкций, позволяющих преобразовывать байты данных в слова. Это инструкция расширения знака se (Sign-Extend), приводящая 8-битное число со знаком к 16-битному формату, и инструкция расширения нуля ze (Zero-Extend), заполняющая старший байт беззнакового целого нулями. Большинство инструкций процессора могут работать как с байтами, так и со словами, но некоторые инструкции оперируют только со словами. Первые два килобайта адресного пространства памяти данных (от 0x0000 до 0x7FF) выделяются для регистров специальных функций (Special Function Register, SFR), которые используются ядром и периферийными модулями микроконтроллера PIC24F для выполнения различных операций. Эти регистры распределены между модулями, с которыми они связаны, и, как правило, группируются по принадлежности к тому или иному периферийному модулю. Большинство адресов, выделяемых под регистры специальных функций, на данный момент не задействованы и читаются как 0. Мы продолжим изучение особенностей аппаратно-программной архитектуры микроконтроллеров PIC24F в следующей главе, в которой подробно рассмотрим особенности программирования этих устройств.

# **Характеристики**

Микроконтроллеры PIC24F обладают следующими характеристиками:

• высокая производительность (до 16 MIPS);

• векторная система прерываний с 16 уровнями приоритетов; • наличие 16 рабочих регистров;

• возможность выполнения 16-битных математических операций;

• возможность выполнения операций умножения с разрядностью 17 × 17 бит за один машинный цикл;

• возможность выполнения сдвига на произвольное количество бит (до 16) за один машинный цикл;

• аппаратно-программная архитектура, оптимизированная для разработки программ на языке Си;

• мощная система команд, которая включает инструкцию повторения repeat для циклического выполнения команд, что особенно полезно при использовании команд пересылки данных.

Микроконтроллеры семейства имеют ряд преимуществ перед другими типами микроконтроллеров. В частности, они обладают пятью 16-битными таймерами, четыре из которых можно каскадировать, получая два 32-битных таймера. Это позволяет увеличить точность измерения времени и расширить возможности контроля за процессом.

Кроме того, на кристалле микроконтроллера находится интегрированный 10-битный аналого-цифровой преобразователь последовательного приближения. Он может выполнять преобразование аналоговых сигналов со скоростью до 500 тыс. выборок в секунду. Это позволяет получать более точные данные о состоянии внешних устройств и обеспечивать более эффективное управление ими.

В микроконтроллерах семейства также реализован модуль JTAG, который позволяет выполнять тестирование и программирование микроконтроллера в системе. Это упрощает процесс разработки и отладки программного обеспечения для микроконтроллера.

В целом, микроконтроллеры семейства обладают широкими возможностями и могут быть использованы в различных приложениях, где требуется высокая точность измерений и управления внешними устройствами.

# **Особенности микроконтроллеров PIC24**

Одна из основных особенностей заключается в том, что они могут выполнять команды всего за два такта генератора. Кроме того, эти микроконтроллеры гарантируют время ответа в пять тактов команд при прерывании. Они также предоставляют доступ к памяти, включая команды чтения-изменения-записи, всего за один такт команды.

Еще одной отличительной чертой является встроенный аппаратный умножитель, который работает за один такт. Микроконтроллеры также поставляются с 32/16 и 16/16 аппаратными делителями чисел, которые занимают до 17 тактов команды. Диапазон напряжения питания составляет от 1,8 до 3,6 вольт, и требуется только один источник питания.

Микроконтроллеры PIC24F и PIC24H также поставляются с расширенным набором периферийных устройств, включая до трех SPI, трех I2C, четырех UART (с поддержкой IrDA и LIN), CAN (и улучшенной ECAN) и USB OTG. Они также имеют модуль измерения времени зарядки (CTMU), который применяется в основном для управления емкостными датчиками.

Порты ввода/вывода общего назначения могут обрабатывать до 18 мА тока, и они устойчивы к устройствам с питанием 5 В. Микроконтроллеры поддерживают до девяти 16-битных таймеров для общего использования и до восьми модулей захвата. Кроме того, они поддерживают несколько режимов энергосбережения.

Также есть до двух АЦП (32 канала) с настраиваемым разрешением и до восьми 16-битных модулей генерации/сравнения ШИМ. Микроконтроллеры поставляются с программным переключением пинов (PPS) и прямым доступом к памяти (DMA) для PIC24H.

Микроконтроллеры PIC24F и PIC24H имеют расширенный набор инструкций и 16 ортогональных регистров общего назначения. Они также имеют систему приоритета векторных прерываний и другие функции, такие как методы адресации и аппаратные циклы.

Микроконтроллеры PIC24F производятся с использованием более дешевой технологии (0,25 микрона) и работают на максимальной производительности ядра 16 MIPS при 32 МГц. С другой стороны, микроконтроллеры PIC24H производятся с использованием более сложной технологии, что позволяет им достигать более высоких скоростей до 40 MIPS при 80 МГц. Обе семьи микроконтроллеров поддерживают внутриконтурное последовательное программирование (ICSP) и самопрограммирование в реальном времени (RTSP).

К достоинствам микроконтроллеров PIC следует отнести:

* высокую производительность, которая позволяет реализовывать различные устройства, работающие в реальном времени с большими скоростями. Системы управления автомобильными и электрическими двигателями, видеоигры и другие устройства могут быть реализованы с использованием микроконтроллеров PIC. Высокая производительность достигается благодаря использованию RISC-процессора, большинство команд которого выполняется за один машинный цикл. Команды перехода и операции табличного чтения выполняются за два цикла. Кроме того, микроконтроллеры PIC используют двухступенчатый конвейер, который совмещает выполнение текущей команды с выборкой из памяти следующей команды, а также Гарвардскую архитектуру, обеспечивающую одновременное считывание команд и данных.
* малое энергопотребление, открывающее широкие возможности для создания устройств с батарейным питанием, питанием от телефонной линии, солнечных батарей и т.д. Например, микроконтроллеры PIC 17, имеющие широкий набор аппаратных средств, потребляют менее 5 мА при 5 В, 4 МГц, 100 мкА при 4,5 В, 32 кГц и менее 1 мкА при 5 В в режиме ожидания.

Наконец, стоит отметить мощную поддержку разработок, которую осуществляет фирма Microchip. Это позволяет разработчикам использовать микроконтроллеры PIC в различных проектах и получать необходимую помощь и поддержку со стороны производителя. В целом, микроконтроллеры PIC являются надежными и эффективными устройствами, которые широко используются в различных областях промышленности и электроники.

Одним из направлений развития PIC24 является улучшение интеграции с облачными сервисами. Компания Microchip работает над различными технологиями, которые позволяют легко и безопасно интегрировать PIC24 с облачными сервисами, такими как Amazon Web Services, Microsoft Azure и Google Cloud Platform. Это делает эти микроконтроллеры еще более привлекательными для использования в приложениях Интернета вещей (IoT).

PIC24 также имеют широкие возможности по управлению электромеханическими системами. Они могут использоваться для управления различными электромеханическими устройствами, такими как двигатели, клапаны, насосы и т.д. Кроме того, они могут использоваться для создания систем автоматического управления, которые позволяют повысить эффективность и точность работы электромеханических систем.

PIC24 также имеют высокую защищенность. Они могут использоваться в приложениях, где требуется высокий уровень безопасности, таких как системы безопасности и финансовые приложения. Кроме того, они поддерживают различные методы шифрования и аутентификации, что делает их более защищенными от взлома и кражи данных.

PIC24 также имеют широкие возможности по управлению энергосберегающими системами. Они могут использоваться для создания систем управления освещением, систем управления отоплением и вентиляцией, систем управления кондиционированием и т.д. Кроме того, они могут использоваться для создания систем управления энергопотреблением, которые позволяют снизить расход электроэнергии и повысить эффективность работы системы.

В целом, PIC24 являются очень привлекательными микроконтроллерами для использования в различных приложениях. Они имеют широкие возможности по управлению внешними устройствами, высокую точность измерений и управления, высокую надежность и долговечность, а также широкую поддержку со стороны сообщества разработчиков. Компания Microchip продолжает развивать и улучшать PIC24, чтобы они оставались конкурентоспособными на рынке микроконтроллеров.

# **Рынок**

По данным специалистов аналитической компании IC Insights, продажи микроконтроллеров в 2021 году резко возросли благодаря сильному росту во время восстановления экономики. Рост составил 23%, а объём рынка в денежном выражении достиг рекордно высокого значения 19,6 млрд долларов. Для сравнения: из-за пандемии в 2020 году этот рынок уменьшился на 2%.

Микроконтроллеры PIC24 — это одни из наиболее популярных микроконтроллеров на рынке. Они используются в различных приложениях, таких как автоматизация производства, медицинские устройства, автомобильная электроника, промышленные контроллеры и т.д. Эти микроконтроллеры обладают широкими возможностями, такими как высокая точность измерений и управления внешними устройствами, что делает их привлекательными для разработчиков.

PIC24 являются одними из наиболее востребованных микроконтроллеров на рынке. Они пользуются популярностью благодаря своим широким возможностям и высокой надежности. Компания Microchip, производитель этих микроконтроллеров, продолжает развивать и улучшать их, чтобы они оставались конкурентоспособными на рынке.

PIC24 — это серия 16-битных микроконтроллеров, которые были разработаны компанией Microchip Technology Inc. Они были представлены на рынке в 2007 году и с тех пор стали очень популярными среди разработчиков. Они имеют высокую производительность и низкое энергопотребление, что делает их идеальными для использования в различных приложениях.[7]

Одной из основных особенностей PIC24 является наличие интегрированного 10-битного аналого-цифрового преобразователя последовательного приближения на кристалле микроконтроллера. Это позволяет получать более точные данные о состоянии внешних устройств, что делает эти микроконтроллеры идеальными для использования в приложениях, где требуется высокая точность измерений.

Ещё одним преимуществом PIC24 является их способность управлять различными электромеханическими системами. Они могут использоваться для управления двигателями, клапанами, насосами и другими устройствами. Это делает их привлекательными для использования в промышленных приложениях, где требуется точное и надежное управление системами.

PIC24 также имеют широкие возможности по управлению энергосберегающими системами. Они могут использоваться для создания систем управления освещением, отоплением и вентиляцией, кондиционированием и другими подобными системами. Это делает их привлекательными для использования в зданиях, где требуется эффективное управление энергопотреблением.

PIC24 также обладают широкими возможностями по управлению внешними устройствами. Они поддерживают различные интерфейсы, такие как UART, SPI, I2C, USB и Ethernet, что позволяет легко интегрировать их в различные системы. Кроме того, они имеют большое количество периферийных устройств, таких как таймеры, счетчики, PWM-контроллеры и т.д., что делает их универсальными и готовыми к использованию в различных приложениях.[6]

Однако на рынке существует множество конкурентов, таких как микроконтроллеры от компаний Microchip, Texas Instruments, STMicroelectronics и других. Конкуренция на рынке микроконтроллеров довольно высока, поэтому PIC24 продолжает развиваться и улучшаться, чтобы оставаться конкурентоспособным.

Одним из главных преимуществ PIC24 является их широкая поддержка со стороны сообщества разработчиков. Существует множество ресурсов, таких как форумы, блоги, видеоуроки и т.д., которые помогают разработчикам быстро и эффективно освоить эти микроконтроллеры. Кроме того, компания Microchip предоставляет бесплатное программное обеспечение для разработки приложений на PIC24, что делает их еще более доступными для разработчиков.

PIC24 также имеют высокую надежность и долговечность. Они производятся с использованием современных технологий и материалов, что делает их устойчивыми к воздействию окружающей среды и повышает их долговечность. Это очень важно для приложений, где требуется высокая надежность и долговечность.

Одним из главных направлений развития PIC24 является улучшение энергопотребления. Компания Microchip работает над различными технологиями, которые позволяют снизить энергопотребление микроконтроллеров. Это делает их еще более привлекательными для использования в приложениях, где требуется низкое энергопотребление.

В целом, PIC24 — это очень популярные микроконтроллеры, которые имеют широкие возможности и привлекательные характеристики. Они используются в различных приложениях, таких как автоматизация производства, медицинские устройства, автомобильная электроника, промышленные контроллеры и т.д. Конкуренция на рынке микроконтроллеров довольно высока, поэтому PIC24 продолжает развиваться и улучшаться, чтобы оставаться конкурентоспособным.

PIC24 также имеют высокую защищенность, что делает их привлекательными для использования в приложениях, где требуется высокий уровень безопасности. Они поддерживают различные методы шифрования и аутентификации, что делает их более защищенными от взлома и кражи данных. Это делает их привлекательными для использования в финансовых приложениях, системах безопасности и других подобных приложениях.

PIC24 также имеют возможности по интеграции с облачными сервисами, что делает их привлекательными для использования в приложениях Интернета вещей (IoT). Они могут легко и безопасно интегрироваться с такими сервисами, как Amazon Web Services, Microsoft Azure и Google Cloud Platform. Это позволяет разработчикам создавать более эффективные и удобные приложения для управления различными устройствами.

В целом, PIC24 занимают лидирующую позицию на рынке микроконтроллеров благодаря своим широким возможностям и высокой надежности. Они пользуются популярностью в различных отраслях, таких как промышленность, финансы, здравоохранение и другие. Компания Microchip продолжает развивать и улучшать PIC24, чтобы они оставались на переднем крае технологического прогресса и оставались конкурентоспособными на рынке микроконтроллеров.

# **Список источников:**

1. <http://www.pic24.ru/doku.php/articles/mchp/16_bit_mcu>
2. <https://ru.wikipedia.org/wiki/PIC>
3. <https://electrica-1.ru/kabeli-i-pribory/pik-kontroller.html?ysclid=lgjlq7j5q2602406155>
4. <https://habr.com/ru/articles/405815/>
5. Магда Ю. С. Микроконтроллеры PIC: архитектура и программирование. – М.: ДМК Пресс, 2009. – 240 с.: ил.
6. <https://www.marketwatch.com/press-release/microcontroller-market-assessment-2023-2030-global-demand-industry-size-regional-share-and-competitive-landscape-2023-02-28?adobe_mc=MCMID%3D10069619052767004164608135311467611695%7CMCORGID%3DCB68E4BA55144CAA0A4C98A5%2540AdobeOrg%7CTS%3D1681673281>
7. <https://www.ixbt.com/news/2022/03/31/rost-srednej-ceny-mikrokontrollerov-v-proshlom-godu-okazalsja-naibolshim-za-25-let.html?ysclid=lgjsxe9dwn48457533>