

СОДЕРЖАНИЕ

Глава 1	
Принятые обозначения и сокращения	13
Глава 2	
Основные характеристики микроконтроллеров PICmicro®	15
Глава 3	
Корпуса PIC-микроконтроллеров и назначение выводов	19
Микроконтроллеры младшего подсемейства	20
Микроконтроллеры среднего подсемейства	22
Микроконтроллеры PIC 17Схх	25
Микроконтроллеры PIC 18Схх	26
Глава 4	
Система команд микроконтроллеров PICmicro®	37
Параметры	38
Системы команд PIC-микроконтроллеров младшего и среднего подсемейств	38
Система команд микроконтроллеров подсемейства PIC 17Схх	46
Система команд микроконтроллеров подсемейства PIC 18Схх	56
Мнемоника специальных команд	69
Ассемблер фирмы Parallax Inc. для PIC-микроконтроллеров	72
Глава 5	
Архитектура процессора микроконтроллеров PICmicro®	79
Арифметико-логическое устройство PIC-микроконтроллеров	80
Микроконтроллеры PICmicro® младшего подсемейства	80
Доступ к регистрам	83
Регистр состояния	84
Счетчик команд	84
Микроконтроллеры среднего подсемейства	86

Доступ к регистрам	87
Регистр состояния	88
Счетчик команд	88
Управление прерываниями	88
Основные компоненты программы обработки прерываний	90
Микроконтроллеры PIC 17Схх	90
Доступ к регистрам	92
Регистр состояния	93
Счетчик команд	93
Выполнение прерываний	94
Основные компоненты программы обработки прерываний	95
Микроконтроллеры PIC 18Схх	96
Доступ к регистрам	97
Регистры состояния	99
Счетчик команд	99
Выполнение прерываний	102
Общий вид программы обработки прерываний	102
 Глава 6	
Управляющие регистры PIC-микроконтроллеров	103
Микроконтроллеры младшего подсемейства	104
Микроконтроллеры среднего подсемейства	106
Микроконтроллеры PIC 17Схх	121
Микроконтроллеры PIC 18Схх	135
 Глава 7	
Функциональные узлы	149
Регистры конфигурации	150
Генераторы тактовых импульсов	151
Режим ожидания	155
Регистр OPTION	156
Порты ввода/вывода и регистры TRIS	158
Сторожевой таймер	161
Таймер TMR0	162
Прескалер	164
Таймер TMR1	164
Таймер TMR2	167

Модуль CCP	168
Модуль универсального синхронно-асинхронного приемопередатчика	172
Модуль SSP	178
Интерфейс SPI	178
Интерфейс I ² C	182
Встроенный аналого-цифровой преобразователь	188
Встроенные компараторы напряжения	194
Управляемый параллельный порт	197
Доступ к EEPROM данных	199
Доступ к программной памяти EPROM	204
Доступ к программной флэш-памяти	205
Внешняя память	207
Глава 8	
Взаимодействие PIC-микроконтроллеров с внешними устройствами	211
Схема для подключения микроконтроллеров к источнику питания	212
Схема перезапуска микроконтроллеров	215
Цифровые уровни	215
Использование параллельной шины	216
Взаимодействие с кнопками	217
Взаимодействие с матричной клавиатурой	219
Объединение входов и выходов	222
Схема эмуляции вывода с открытым коллектором/открытым стоком	223
Управление светодиодами индикаторами	224
Многосегментные светодиодные индикаторы	224
Управление жидкокристаллическим дисплеем	227
Интерфейс I ² C в режиме MASTER	258
Интерфейс RS-232	262
Интерфейсы RS-485/RS-422	267
Подпрограммы для последовательного асинхронного обмена	269
Однопроводный интерфейс фирмы Dallas Semiconductor	276

Измерение сопротивлений с помощью цифровых входов/выходов	281
Схемы для управления двигателями	283
Управление серводвигателями	287
Схема формирования звуковых сигналов	288
Управление мощностью нагрузки переменного тока	289
Схемы датчиков на основе эффекта Холла	290
Дистанционное управление телевизионными приемниками фирмы Sony	290
Глава 9	
Программирование PIC-микроконтроллеров	295
Hex-файлы	296
Программирование PIC-микроконтроллера младшего подсемейства	297
Последовательное программирование микроконтроллеров среднего подсемейства	300
Программирование PIC 17Cxx	308
Внутрисхемное программирование PIC 17Cxx	311
Программирование PIC 18Cxx	314
Разъем для внутрисхемного программирования	316
Глава 10	
Интерфейсы ПК	319
Распределение оперативной памяти	320
Пространство ввода/вывода	320
Функции прерываний	332
Шина ISA	332
Контакты и линии шины ISA	334
Прерывания	337
Порты клавиатуры и мыши	338
Разъемы	338
Временные диаграммы интерфейса клавиатуры	339
Скан-коды клавиатуры	340
Команды контроллера клавиатуры	343
Интерфейсы BIOS	344
Команды клавиатуры	344

Последовательный порт	346
Выводы разъема	346
Блок-схема УАПП 8250	347
Базовые адреса последовательного порта	348
Регистры УАПП 8250	348
Прерывания	351
Функции прерывания 14h BIOS интерфейса RS-232	352
Параллельный порт	354
Блок-схема и разъем параллельного порта	354
Базовые регистры	356
Регистры	356
Функции BIOS параллельного порта	358
Глава 11	
Полезные подпрограммы	359
Переход за пределы текущей страницы	360
Таблицы	360
Ветвление по условию	362
Временные задержки	362
Получение дополнительного кода содержимого регистра (изменение знака)	364
Инкрементирование/декрементирование содержимого регистра w	365
«Вращение на месте»	365
Копирование битов из одного регистра в другой	366
Преобразование полубайта в код ASCII	366
Преобразование байта кода ASCII в шестнадцатеричный полубайт	366
Использование входа T0CKI в качестве источника прерывания	367
Деление на три	367
Измерение длительности импульса с 16-разрядной точностью	368
Регистрация изменений	368
Проверка диапазона	369
Преобразование символов ASCII в верхний регистр	369
Перестановка содержимого регистра и рабочего регистра w	369
Перестановка содержимого двух регистров	370

Сравнение и перестановка, если $Y < X$	370
Подсчет числа 1 в байте	370
Генерация бита четности для байта	371
Удержание переменной внутри диапазона	371
Перестановка четных и нечетных битов	371
Побитовые операции	371
Умножение на константу	372
Деление на константу	373
Глава 12	
16-разрядные числа	375
Определение 16-разрядных чисел	376
Инкрементирование и декрементирование	376
Сложение/вычитание	377
Побитовые операции с константами и переменными	379
Сравнение 16-разрядных переменных	380
Умножение	382
Деление	384
Глава 13	
Рабочие характеристики PIC-микроконтроллеров	387
Токи нагрузок выходов и портов	388
Значения компонентов RC-генератора	388
Рабочие характеристики в режиме LP-генератора	391
Рабочие характеристики в режиме XT-генератора	391
Рабочие характеристики в режиме HS-генератора	392
Глава 14	
Возможные неисправности устройств с PIC-микроконтроллерами	393
Глава 15	
Средства разработки приложений	399
Функции клавиш текстового редактора	400
Файл MPSIM.INI	400

Среда разработки MPLAB	401
Файлы стимулов	406
Директивы ассемблера	406
Включаемые файлы	406
Компоновка приложений	414
Шаблон программы приложения	416
Язык Basic	416
Расширенная версия Basic	418
PicBasic	418
Visual Basic	442
Управление вводом/выводом с помощью MSComm	444
Язык C	449
Объявления	449
Операторы	451
Операции	453
Директивы	453
Управляющие последовательности	456
Функции C	457
Функции C для PIC-микроконтроллеров	460
Глава 16	
Постоянные и таблицы данных	461
Математические и физические постоянные	462
Код ASCII	462
Управляющие символы кода ASCII	462
Управляющие ANSI-последовательности	465
Расширенный набор символов кода ASCII	467
Символы кода ASCII для Windows	467
Код EBCDIC	470
Ноты	470
Частоты телефонов с тональным набором	470
AT-команды модема	471
Регистры модема	471
Код Морзе	477

Фонетический алфавит	478
Теп-радиокод	478
Глава 17	
Справочная информация по электронике	481
Цветовое кодирование резисторов	482
Электромагнитный спектр	482
Диапазоны радара	482
Цифровая логика	484
Вентили	484
Триггеры	484
Глава 18	
Формулы	487
Формулы постоянного тока	488
Формулы переменного тока	489
Физические формулы	490
Булева алгебра	490
Соответствия единиц измерения	491
Глава 19	
Библиография	493
Информация о компании Microchip	494
Web-сайты, посвященные PIC-микроконтроллерам	494
Периодические издания	496
Полезные Web-сайты	496
Seattle Robotics Society	496
List of Stamp Applications (L.O.S.A.)	496
Adobe PDF Viewers	497
PKZip и PKUnZip	497
Часто задаваемые вопросы по аппаратному обеспечению	497
Поставщики комплектующих	497
Предметный указатель	500

Г Л А В А 1

**ПРИНЯТЫЕ ОБОЗНАЧЕНИЯ
И СОКРАЩЕНИЯ**

В табл. 1.1 приводятся наиболее часто употребляемые в настоящем издании обозначения и сокращения, которые сопровождаются необходимыми пояснениями.

Таблица 1.1

Перечень принятых обозначений и сокращений

Гц	Герцы
КГц	Килогерцы
МГц	Мегагерцы
ГГц	Гигагерцы
б/с	Битов в секунду
Кб/с	Тысячи битов в секунду
Мб/с	Миллионы битов в секунду
Кб	1024 байта
Мб	1048576 байт
Гб	1073741824 байта
кΩ	1000 Ом
мкФ	Микрофарада
мс	Миллисекунда
0?0nn, \$nn, 0nnh и H'nn'	Шестнадцатиричное число
0b0nnn, %nnn, 0nnnb и B'nnn'	Двоичное число
Nnn, 0nnnd и .nnn	Десятичное число
AND и &	Поразрядное логическое И
OR и	Поразрядное логическое ИЛИ
XOR и ^	Поразрядное логическое Исключающее ИЛИ
_Label	Вывод, активируемый логическим нулем (0). В некоторых спецификациях фирм-изготовителей это обозначение эквивалентно идентификатору с предшествующим «!» или с верхней чертой
[параметр]	Произвольно задаваемый параметр
параметр параметр	Возможность использования одного или другого параметра

Г Л А В А 2

**ОСНОВНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ
МИКРОКОНТРОЛЛЕРОВ
PICMICRO®**

Основные характеристики микроконтроллеров PICmicro[®] представлены в табл. 2.1.

Таблица 2.1

Характеристики микроконтроллеров PICmicro[®]

Обозначение	Характеристики
PIC 12C5xx	Младшее подсемейство. Корпус с 8 выводами, 12-разрядное процессорное ядро*, внутренняя схема сброса, встроенный тактовый генератор
PIC 12C6xx	Среднее подсемейство. Корпус с 8 выводами, 14-разрядное процессорное ядро, восьмиразрядный аналого-цифровой преобразователь, внутренняя схема сброса, встроенный тактовый генератор, наличие EEPROM памяти данных
PIC 14C000	Среднее подсемейство. Корпус с 28 выводами, 14-разрядное процессорное ядро, усовершенствованный аналого-цифровой преобразователь, внутренний источник опорного напряжения, встроенный датчик температуры
PIC 16C5x	Младшее подсемейство. Корпус с 18/28 выводами, 12-разрядное процессорное ядро
PIC 16C505	Младшее подсемейство. Корпус с 14 выводами, 12-разрядное процессорное ядро, внутренняя схема сброса, встроенный тактовый генератор
PIC 16HV540	Младшее подсемейство. Корпус с 18 выводами, 12-разрядное процессорное ядро, расширенный диапазон напряжений питания Vdd, встроенный стабилизатор
PIC 16C55x	Среднее подсемейство. Корпус с 18 выводами, 14-разрядное процессорное ядро
PIC 16C6x	Среднее подсемейство. Корпус с 18/28/40 выводами, 14-разрядное процессорное ядро, два таймера (TMR1 и TMR2), варианты с интерфейсами SPI, USART и PSP
PIC 16C62x	Среднее подсемейство. Корпус с 18 выводами, 14-разрядное процессорное ядро, компараторы напряжения со встроенным источником опорного напряжения, варианты с EEPROM памятью данных
PIC 16F62x	Среднее подсемейство. Корпус с 18 выводами, 14-разрядное процессорное ядро, флэш-память программ, компараторы напряжения со встроенным источником опорного напряжения, внутренняя схема сброса, встроенный тактовый генератор
PIC 16C642	Среднее подсемейство. Корпус с 28 выводами, 14-разрядное процессорное ядро, компараторы напряжения со встроенным источником опорного напряжения
PIC 16C662	Среднее подсемейство. Корпус с 40 выводами, 14-разрядное процессорное ядро, компараторы напряжения со встроенным источником опорного напряжения
PIC 16C71x	Среднее подсемейство. Корпус с 18 выводами, 14-разрядное процессорное ядро, 8-разрядный аналого-цифровой преобразователь
PIC 16C7x	Среднее подсемейство. Корпуса с 18/28/40 выводами, 14-разрядное процессорное ядро, 8-разрядный АЦП, варианты с двумя таймерами (TMR1 и TMR2), варианты с интерфейсами SPI, USART и PSP
PIC 16C77x	Среднее подсемейство. Корпуса с 28/40 выводами, 14-разрядное процессорное ядро, 12-разрядный АЦП, два таймера (TMR1 и TMR2), USART, I ² C, SPI, варианты с PSP
PIC 16F8x	Среднее подсемейство. Корпус с 18 выводами, 14-разрядное процессорное ядро, флэш-память данных (EEPROM) и программ

Таблица 2.1

Характеристики микроконтроллеров PIC18Cxxx® (окончание)

Обозначение	Характеристики
PIC 16F87х	Среднее подсемейство. Корпуса с 28/40 выводами, 14-разрядное процессорное ядро, 10-разрядный АЦП (5–8 каналов), два таймера (TMR1 и TMR2), варианты с интерфейсами USART, I ² C, SPI и PSP
PIC 16C92х	Среднее подсемейство. Корпуса с 64 выводами, 14-разрядное процессорное ядро. Варианты с 8-разрядным АЦП, TMR1 и TMR2, ЖКИ контроллером
PIC 17C4х	Старшее подсемейство. Корпуса с 40 выводами, 16-разрядное процессорное ядро, аппаратный умножитель, USART
PIC 17C5х	Старшее подсемейство. Корпус с 68 выводами, 16-разрядное процессорное ядро, аппаратный умножитель, 10-разрядный АЦП, варианты с интерфейсами USART и I ² C
PIC 17C6х	Старшее подсемейство. Корпус с 84 выводами, 16-разрядное процессорное ядро, аппаратный умножитель, 12-разрядный АЦП, USART, I ² C и SPI
PIC 18Cxxx	Старшее подсемейство. Корпуса с 28/40 выводами**, 16-разрядное усовершенствованное процессорное ядро, 10-разрядный АЦП, варианты с интерфейсами USART, I ² C и SPI
* Словосочетание «12-разрядное процессорное ядро» в терминологии фирмы Microchip означает, что процессор оперирует 12-разрядными командами. Аналогично и для другой разрядности. – Прим. ред.	
** Устаревшие сведения. – Прим. ред.	

Таблица 2.2

Характеристики микроконтроллеров PIC18Cxxx® среднего подсемейства

Обозначение	Комментарии
16Cx1	Корпуса с 18 выводами. 1К слов памяти программ, встроенные интерфейсы отсутствуют. PIC 16C61 и 16C71 в настоящее время не применяются
16Cx2	Корпуса с 28 выводами. 2К слов памяти программ. SPI, TMR1 и TMR2
16Cx3	Корпуса с 28 выводами. 4К слов памяти программ. USART, SPI, TMR1 и TMR2
16Cx4	Корпуса с 40 выводами. 4К слов памяти программ. USART, SPI, PSP, TMR1 и TMR2
16Cx5	Корпуса с 40 выводами. 4К слов памяти программ. USART, SPI, PSP, TMR1 и TMR2
16Cx6	Корпуса с 28 выводами. 8К слов памяти программ. USART, SPI, I ² C, PSP, TMR1 и TMR2
16Cx7	Корпуса с 40 выводами. 8К слов памяти программ. USART, SPI, I ² C, PSP, TMR1 и TMR2

Г Л А В А 3

**КОРПУСА
PIS-МИКРОКОНТРОЛЛЕРОВ
И НАЗНАЧЕНИЕ ВЫВОДОВ**

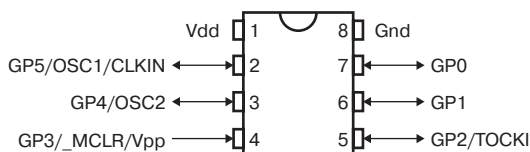
Как правило, микроконтроллеры в стандартных *DIP*- и *CERDIP*-корпусах (в обозначениях приборов им соответствуют буквенные классификаторы P и JW) с *двухрядными штыревыми выводами*, предназначенными для установки в *сквозные отверстия*, имеют поперечный размер 0,300" или 0,600" и *шаг выводов* 0,100". При этом высота прибора зависит от конкретного типа используемого корпуса.

Устройства, ориентированные на технологию *поверхностного монтажа*, выполняются в *плоских корпусах* с двухрядным расположением выводов (типа SO) или в квадратных пластмассовых *корпусах с четырехсторонним расположением выводов* (классификаторы PT, PQ и L).

Конкретные размеры каждого корпуса можно найти в спецификациях, содержащихся на лазерном диске или на Web-сайте фирмы Microchip. Следует отметить, что различным корпусам микроконтроллеров PICmicro® соответствуют различные по размерам и форме *контактные площадки для выводов*.

МИКРОКОНТРОЛЛЕРЫ МЛАДШЕГО ПОДСЕМЕЙСТВА

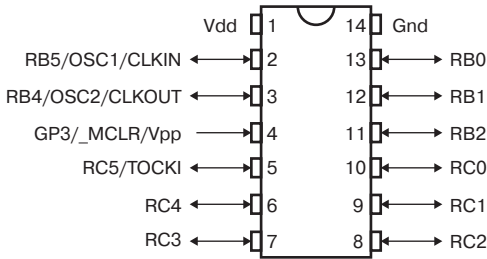
Микроконтроллеры *младшего подсемейства* имеют 12-разрядное процессорное ядро. Они изготавливаются в корпусах с двухрядным расположением выводов, при этом назначение выводов микроконтроллеров с однотипными корпусами одинаковое. Корпуса могут быть планарными, рассчитанными на *технологии поверхностного монтажа* или технологию, ориентированную на использование сквозных отверстий (рис. 3.1–3.4).



Корпуса типа JW, P, SO
Ширина корпусов со штыревыми выводами
составляет 0,300"

Рис. 3.1

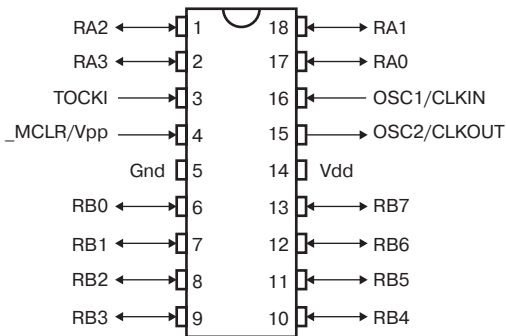
Выводы микроконтроллеров PIC 12C508/PIC 12C509



Корпуса типа JW, P, SO
 Ширина корпусов со штыревыми выводами
 составляет 0,300"

Рис. 3.2

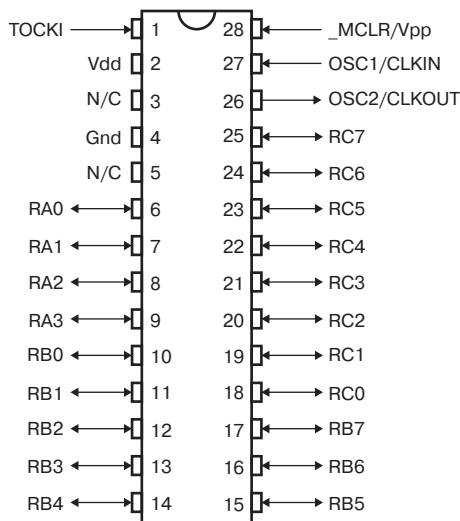
Выводы микроконтроллера PIC 16C505



Корпуса типа JW, P, SO
 Ширина корпусов со штыревыми выводами
 составляет 0,300"

Рис. 3.3

Выводы микроконтроллеров PIC 16C54/PIC 16C56



Корпуса типа JW, P, SO, SP, SS

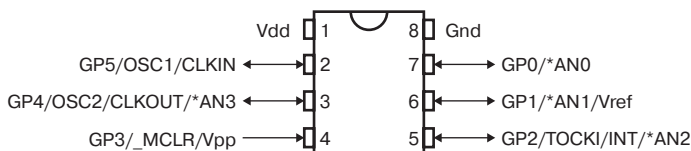
Ширина корпусов со штыревыми выводами составляет 0,600", за исключением корпусов типа SP, которые имеют ширину 0,300"

Рис. 3.4

Выводы микроконтроллеров PIC 16C55/PIC 16C57

МИКРОКОНТРОЛЛЕРЫ СРЕДНЕГО ПОДСЕМЕЙСТВА

Микроконтроллеры *среднего подсемейства* имеют 14-разрядное процессорное ядро. Номенклатура корпусов микроконтроллеров среднего подсемейства гораздо шире номенклатуры корпусов младшего подсемейства (рис. 3.5–3.10). Как правило, основное назначение



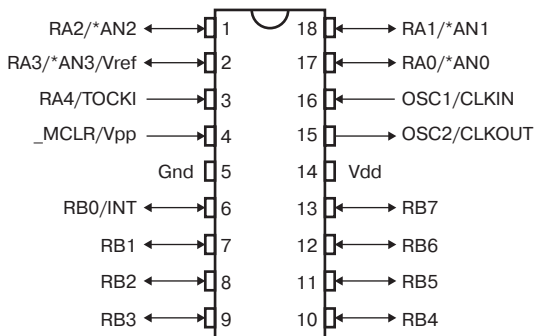
* – аналоговые входы

Корпуса типа JW, P, SO

Ширина корпусов со штыревыми выводами составляет 0,300"

Рис. 3.5

Выводы микроконтроллеров PIC 12C67x

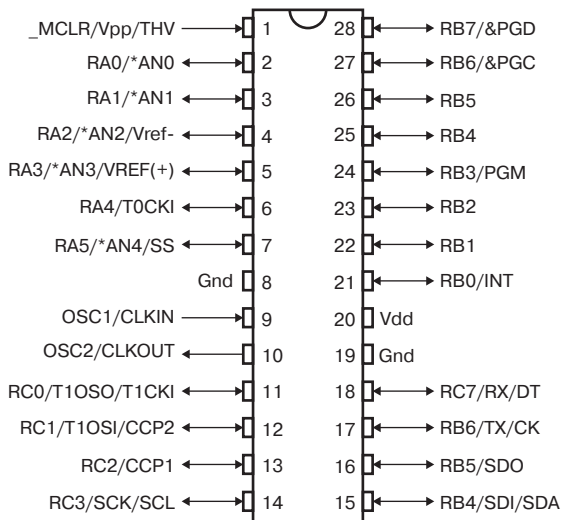


* – аналоговые входы для микроконтроллеров PIC16C62x и PIC16C71(x)

Корпуса типа JW, P, SO
Ширина корпусов со штыревыми выводами составляет 0,300"

Рис. 3.6

Выводы 18-контактных PIC-микроконтроллеров среднего подсемейства

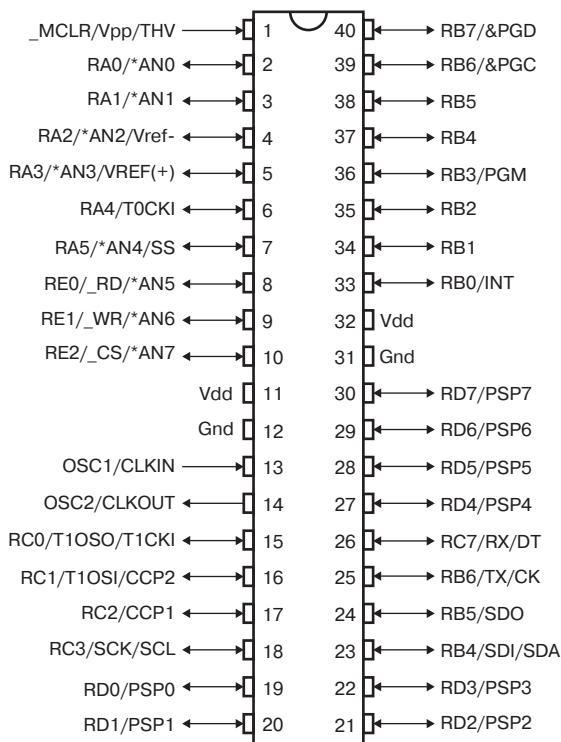


* – аналоговые входы
& – выводы для программирования и отладки микроконтроллеров PIC16F87x

Корпуса типа JW, P, SO
Ширина корпусов со штыревыми выводами составляет 0,300"

Рис. 3.7

Выводы 28-контактных PIC-микроконтроллеров среднего подсемейства



* – аналоговые входы
 & – выводы для программирования
 и отладки микроконтроллеров PIC16F87х

Корпуса типа JW, P
 Ширина корпусов со штыревыми
 выводами составляет 0,600"

Рис. 3.8

Выводы 40-контактных микроконтроллеров среднего подсемейства

выводов микроконтроллеров с одностипными корпусами одинаково, однако во многих микроконтроллерах выводы имеют альтернативное назначение. Конкретные функциональные назначения каждого электрического вывода даны в спецификациях фирмы Microchip.

Так, микроконтроллер PIC 14000, предназначенный для работы с сигналами смешанного типа (аналоговыми и цифровыми), изготавливается в 28-контактных корпусах, назначение его выводов проиллюстрировано на рис. 3.11.

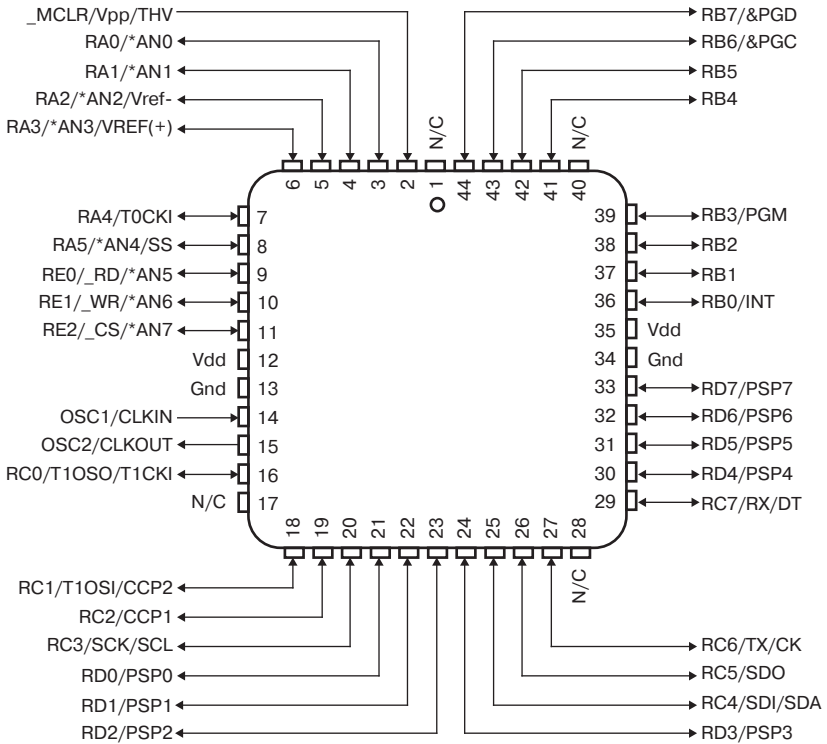


Рис. 3.9
Выводы PIC-микроконтроллеров среднего подсемейства в 44-контактных PLCC-корпусах

PIC-микроконтроллеры, снабженные схемой управления *жидкокристаллическим дисплеем – ЖКД* (Liquid Crystal Display – LCD), имеют достаточно большое число выводов. На рис. 3.12 показан 64-контактный корпус с двухрядным расположением выводов (корпус типа DIP). Для таких микроконтроллеров могут также использоваться корпуса типа PLCC и TQFP.

МИКРОКОНТРОЛЛЕРЫ PIC 17CXX

Микроконтроллеры PIC 17Cxx относятся к *старшему подсемейству PIC-микроконтроллеров*, имеющему 16-разрядное процессорное ядро. Микроконтроллеры PIC 17Cxx изготавливаются в 40- или

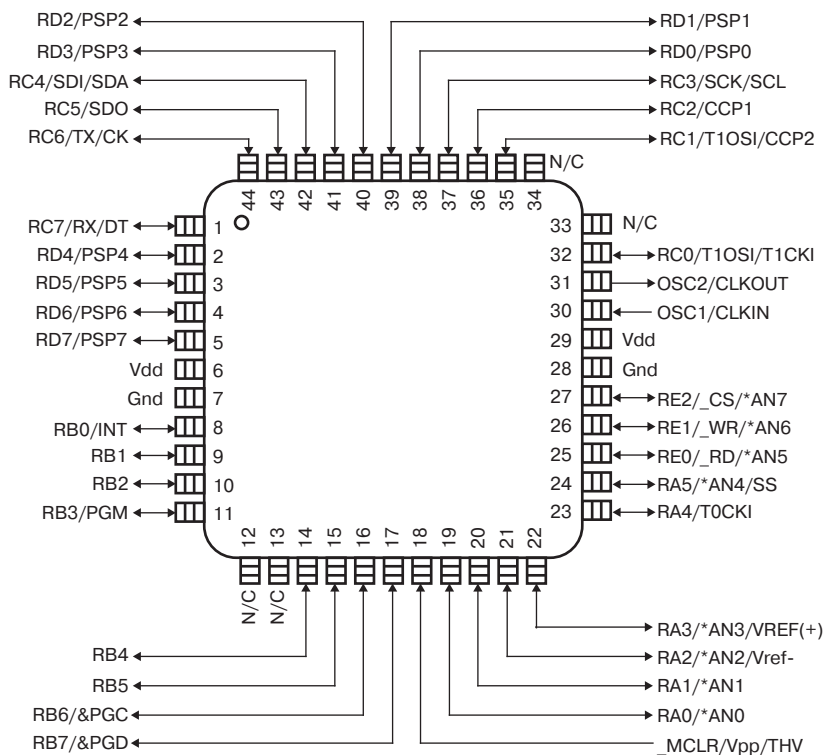


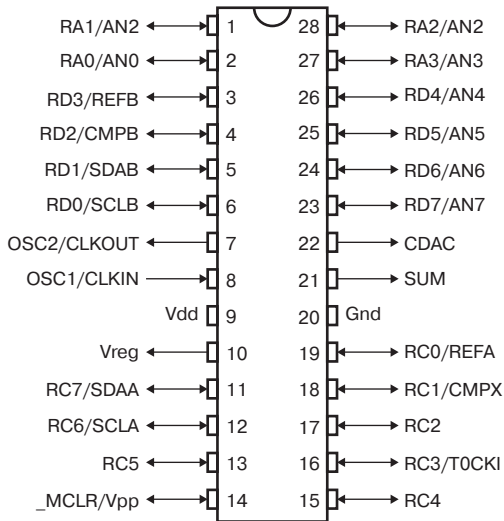
Рис. 3.10

Выходы PIC-микроконтроллеров среднего подсемейства в 44-контактных QFP-корпусах

64-контактных корпусах типа DIP (рис. 3.13–3.14) или корпусах типа PLCC и TQFP (рис. 3.15–3.16).

МИКРОКОНТРОЛЛЕРЫ PIC 18СХХ

Микроконтроллеры PIC 18Схх также относятся к старшему подсемейству (16-разрядное процессорное ядро). Разводка их выводов представлена на рис. 3.17–3.20.



Корпуса типа JW, P, SO
 Ширина корпусов со штыревыми
 выводами составляет 0,300"

Рис. 3.11

Выводы 28-контактного микроконтроллера PIC 14000

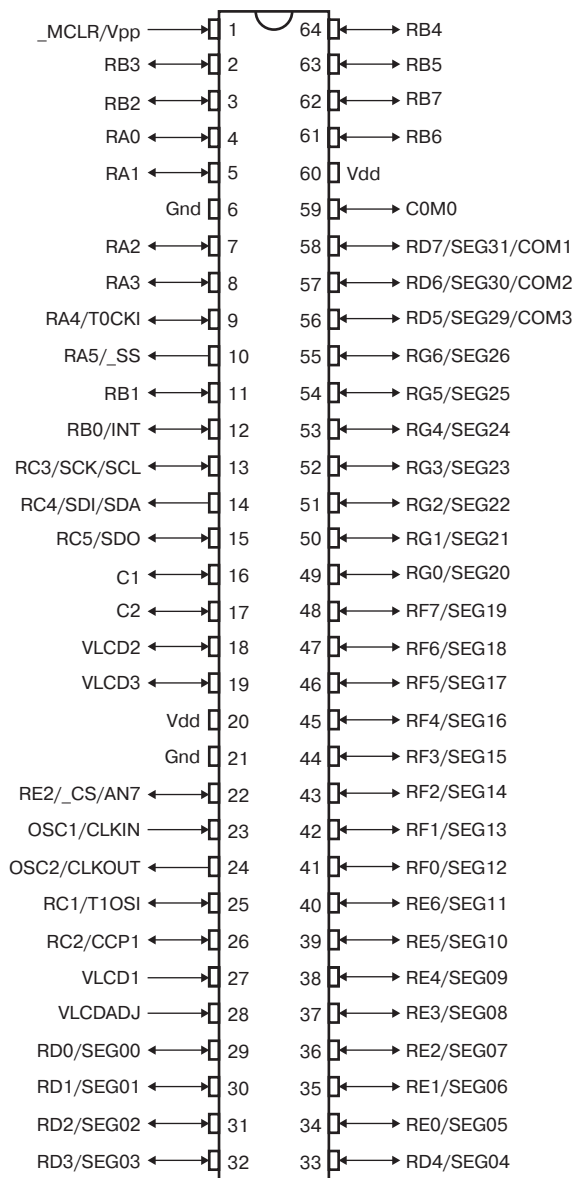
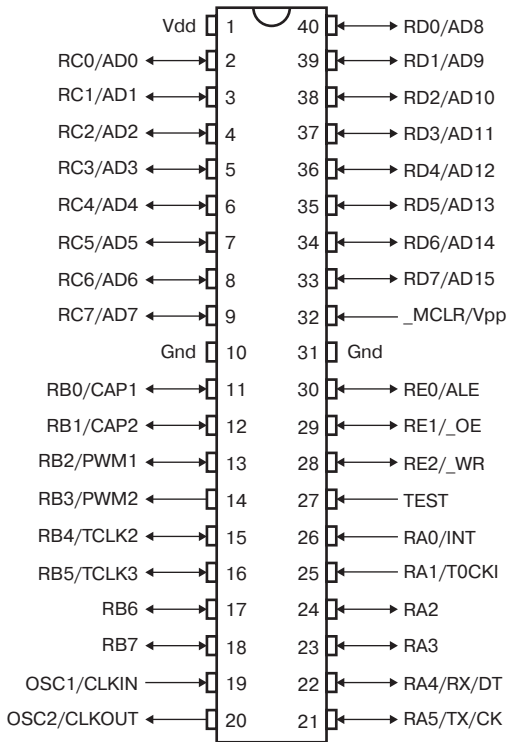


Рис. 3.12

Выходы 64-контактных микроконтроллеров PIC 16C92x



Корпуса типа JW, P
 Ширина корпусов со штыревыми
 выводами составляет 0,600"

Рис. 3.13

Выводы 40-контактных микроконтроллеров PIC 17C6x

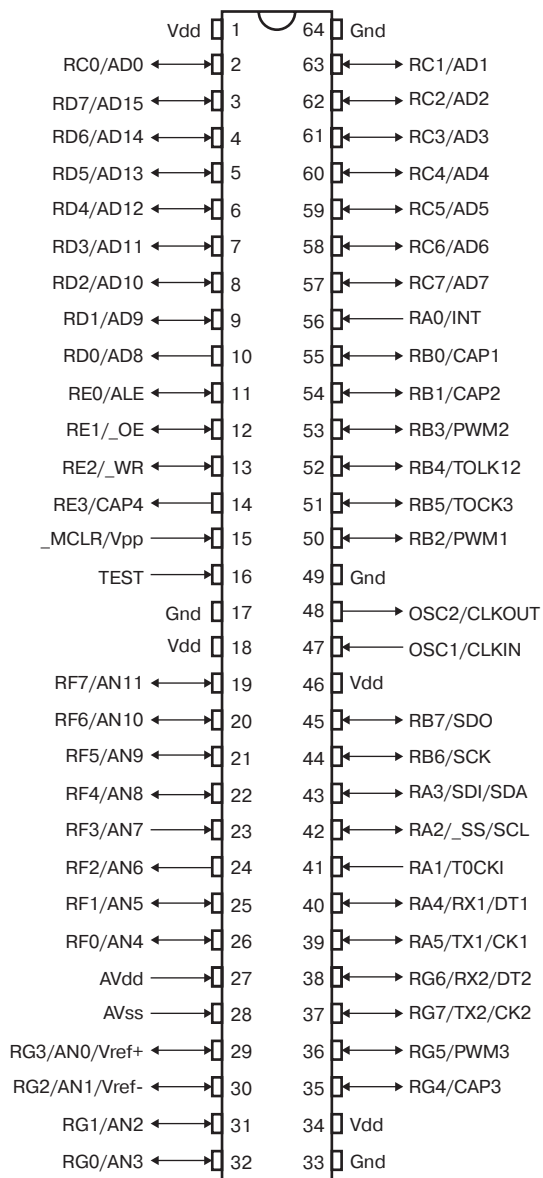


Рис. 3.14

Выходы 64-контактных микроконтроллеров PIC 17C75x

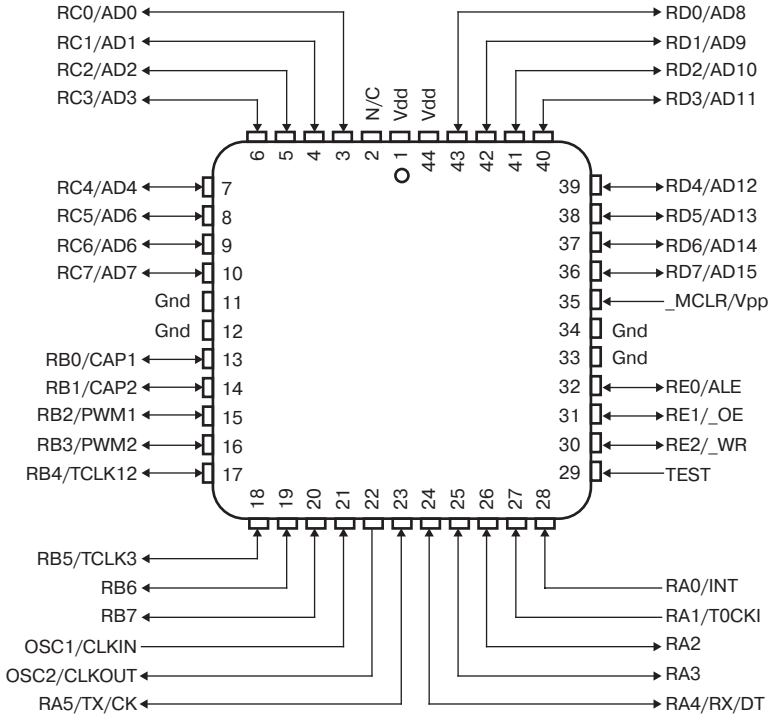


Рис. 3.15

Выходы 44-контактных микроконтроллеров PIC 17C4x в корпусе типа PLCC