

案例解说单片机 C语言开发

——基于PIC+Proteus仿真

程国钢 编著



电子工业出版社
PUBLISHING HOUSE OF ELECTRONICS INDUSTRY

<http://www.phei.com.cn>

案例解说单片机 C 语言开发 ——基于 PIC+Proteus 仿真

程国钢 编著

電子工業出版社

Publishing House of Electronics Industry

北京 • BEIJING

内 容 简 介

MPLAB 是目前应用最广泛的 PIC 单片机软件开发环境, Proteus 是目前应用最广泛的硬件仿真环境。本书基于 MPLAB 和 Proteus 介绍 PIC 单片机体系结构、内部资源及常用扩展器件的使用方法, 并且提供了相应的 Proteus 应用电路和 C 语言应用实例代码。

全书分为 3 大部分: 第 1 章和第 2 章是基础部分, 介绍 MPLAB 和 Proteus 的基础方法。第 3 章到第 9 章是基础应用部分, 介绍 PIC 单片机的内部资源和典型外部扩展器件的使用方法, 对这些资源和器件进行了基础知识和 Proteus 库的介绍, 还提供了详细的实例。第 10 章是综合应用部分, 介绍 PIC 单片机应用系统的基础设计方法, 提供了呼吸灯、简易压力计、仓库自动通风系统 3 个大型综合应用实例。

本书提供了大量实例, 它们都有详细的设计思路、典型器件列表、Proteus 应用电路、C 语言应用代码和仿真运行结果, 适合具有初步单片机基础的工程师进阶学习, 也可供高等院校电子类专业的学生和单片机爱好者阅读, 还可作为工程设计人员的参考手册。

未经许可, 不得以任何方式复制或抄袭本书之部分或全部内容。

版权所有, 侵权必究。

图书在版编目(CIP)数据

案例解说单片机 C 语言开发: 基于 PIC+Proteus 仿真/程国钢编著. —北京: 电子工业出版社, 2013.10
ISBN 978-7-121-21474-5

I. ①案… II. ①程… III. ①单片微型计算机—C 语言—程序设计 IV. ①TP368.1②TP312

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2013)第 215105 号

策划编辑: 陈韦凯

责任编辑: 万子芬

印 刷: 北京中新伟业印刷有限公司

装 订: 北京中新伟业印刷有限公司

出版发行: 电子工业出版社

北京市海淀区万寿路 173 信箱 邮编 100036

开 本: 787×1092 1/16 印张: 26 字数: 666 千字

印 次: 2013 年 10 月第 1 次印刷

印 数: 4 000 册 定价: 53.00 元

凡所购买电子工业出版社图书有缺损问题, 请向购买书店调换。若书店售缺, 请与本社发行部联系, 联系及邮购电话: (010) 88254888。

质量投诉请发邮件至 zltz@phei.com.cn, 盗版侵权举报请发邮件至 dbqq@phei.com.cn。

服务热线: (010) 88258888。

前言

行业背景

PIC 单片机具有可靠性高、功能强、价格低的特点,在工业控制、数据采集、智能仪表、机电一体化、家用电器等领域有着广泛的应用,可以大大提高生产、生活的自动化水平。近年来,随着嵌入式的应用越来越广泛,PIC 单片机的开发也变得更加灵活和高效,其开发和应用已经成为嵌入式应用领域的一个重大课题。

关于本书

本书以 Proteus 硬件仿真环境和 MPLAB 软件开发环境为依托,介绍了 PIC 单片机的应用方法,包括 PIC 单片机的体系结构、C 语言、内部资源的应用、外部器件的扩展应用方法、PIC 单片机综合应用系统的开发方法和实例。

本书对于各内部资源/外围器件的介绍包括:器件基础、Proteus 中的器件库说明、Proteus 应用电路、应用代码、仿真结果和总结。读者既可以了解器件的基础知识和对应的驱动代码,也可以在 Proteus 中进行仿真并且观察仿真结果。

本书的各章内容说明如下:

第 1 章介绍 PIC 单片机基础知识,包括 PIC 单片机的体系结构、C 语言和 MPLAB 软件开发环境的基本使用方法。

第 2 章介绍 Proteus 硬件仿真环境的基本使用方法,包括它与 MPLAB 软件开发环境联合调试的方法。

第 3 章主要介绍 PIC 单片机的内部资源应用,包括 I/O 引脚、外部中断、定时器、CCP 模块、USART 串行口、MSSP 接口模块。

第 4 章主要介绍 PIC 单片机的人机交互通道使用方法,包括发光二极管、数码管、液晶模块、数字键盘等。

第 5 章主要介绍 PIC 单片机的信号采集通道使用方法,包括 A/D 通道、时钟日历芯片、温度传感器等。

第 6 章主要介绍 PIC 单片机信号输出通道使用方法,包括 D/A 通道、I/O 扩展芯片等。

第 7 章主要介绍 PIC 单片机的存储器使用方法,包括内部 E²PROM、外部 RAM 芯片和外部 E²PROM。

第 8 章主要介绍 PIC 单片机的执行机构使用方法,包括三极管、电动机、蜂鸣器等。

第 9 章主要介绍 PIC 单片机的通信扩展模块使用方法,包括 RS-232、RS-422 和 RS-485 通信扩展。

第 10 章是 PIC 单片机的综合应用实例,这是前面所有章节内容的综合应用,提供了呼吸灯、简易压力计、仓库自动通风系统等应用实例。

需要说明的是,本书中的很多电路图都是由 Proteus 软件直接生成的,为了便于读者与

实际的软件操作界面对应，对书中的这类电路图没有进行标准化处理，保持了原样。

本书特色

- 适合具有初步单片机基础的工程师进阶学习，以及高等院校电子类专业的学生和单片机爱好者阅读。
- 涵盖了 PIC 单片机从内部资源到用户输入通道、A/D 信号采集、温度/湿度传感芯片、有线通信模块等常用资源或者扩展器件。
- 基于 Proteus 硬件开发环境提供了相应的仿真运行实例及其输出结果。
- 对于相应的资源或者器件的介绍都按照基础知识、Proteus 库介绍、实例的设计思路和应用代码、实例的仿真运行输出和总结的循序渐进的方式。
- 提供了大量的 Proteus 应用电路和 MPLAB 开发环境的工程文件，读者可以登录华信教育资源网（www.hxedu.com.cn）查找本书，免费下载，直接运行仿真。

作者介绍

本书由程国钢编写，同时，参与本书编写工作的还有孙明、唐伟、王杨、顾辉、李成、刘启才、陈杰、郑宏、张霁芬、张计、陈军、张强、杨明、张玉兰等人。由于时间仓促、程序和图表较多，受学识水平所限，错误之处在所难免，请广大读者批评指正。

编著者

目 录

第1章 PIC16F87XA 应用基础	1
1.1 PIC16F87XA 的体系结构	1
1.1.1 PIC16F87XA 的内核	3
1.1.2 PIC16F87XA 的存储器体系	6
1.1.3 PIC16F87XA 的系统时钟	13
1.1.4 PIC16F87XA 的电源管理和休眠模式	14
1.1.5 PIC16F87XA 的复位	15
1.1.6 PIC16F87XA 的外部引脚封装	16
1.1.7 PIC16F87XA 的中断系统	19
1.1.8 PIC16F87XA 的配置寄存器	24
1.2 PIC16F87XA 中的 C 语言	25
1.2.1 PIC16F87XA 中 C 语言的数据类型、运算符和表达式	25
1.2.2 PIC16F87XA 中 C 语言的结构	28
1.2.3 PIC16F87XA 中 C 语言的函数	29
1.2.4 PIC16F87XA 中 C 语言的数组和指针	30
1.2.5 PIC16F87XA 中 C 语言的自构造类型	32
1.3 MPLAB 集成开发环境	34
1.3.1 MPLAB 集成开发环境应用基础	34
1.3.2 MPLAB 的工作界面	37
1.3.3 MPLAB 的菜单栏	38
1.3.4 MPLAB 的工具栏	43
1.3.5 MPLAB 的状态栏	45
1.3.6 MPLAB 的库函数	46
1.3.7 使用 MPLAB	46
1.4 HI-TECH ANSI C Compiler C 的一些说明	52
1.4.1 一个完整的 PIC 单片机 C 语言程序的构成	52
1.4.2 乘、除法运算和浮点数	52
1.4.3 关于变量的强制类型转换	52
1.4.4 常量和变量的关键字	53
1.4.5 位变量和可位寻址寄存器	55
1.4.6 绝对变量	55

1.4.7	在C语言中使用汇编语言	55
1.4.8	头文件 pic.h 和 pic1687xa.h	56
第2章	Proteus 硬件仿真环境	72
2.1	Proteus 应用基础	72
2.1.1	Proteus 的界面	73
2.1.2	Proteus 支持的文件格式	74
2.1.3	Proteus 的菜单	74
2.1.4	Proteus 的快捷工具栏和工具箱	87
2.2	使用 Proteus	89
2.3	Proteus 中的 PIC16F877A	91
2.4	Proteus 和 MPLAB 的联合调试应用实例	92
第3章	Proteus 中的 PIC16F87XA 内部基础资源应用实例	98
3.1	PIC16F87XA 的 I/O 引脚应用实例	98
3.1.1	I/O 引脚基础	98
3.1.2	I/O 引脚输出高低脉冲电平应用实例	100
3.2	PIC16F87XA 的外部中断/引脚状态变化应用实例	104
3.2.1	外部中断应用基础	104
3.2.2	外部中断控制 I/O 引脚输出应用实例	104
3.2.3	引脚状态变化中断应用基础	107
3.2.4	引脚状态变化中断应用实例	107
3.3	PIC16F87XA 的定时器应用实例	110
3.3.1	定时器基础	111
3.3.2	定时器 TMR0 控制 I/O 引脚输出方波应用实例	116
3.3.3	定时器 TMR0 中断模拟外部中断应用实例	118
3.3.4	定时器 TMR1 控制 I/O 引脚输出方波应用实例	121
3.3.5	定时器 TMR2 控制 I/O 引脚输出方波应用实例	124
3.4	PIC16F87XA 的 CCP 模块应用实例	126
3.4.1	CCP 模块基础	126
3.4.2	CCP 的捕捉工作模式应用实例	129
3.4.3	CCP 的比较工作模式应用实例	132
3.4.4	CCP 的 PWM 工作模式应用实例	134
3.5	PIC16F87XA 的 USART 模块应用实例	135
3.5.1	USART 模块基础	135
3.5.2	PIC16F87XA 串口应用实例	140
3.6	PIC16F87XA 的 SPI 总线接口应用实例	146
3.6.1	SPI 总线接口基础	146
3.6.2	PIC16F87XA 的 SPI 总线数据通信应用实例	149
3.7	PIC16F87XA 的 I ² C 总线接口应用实例	156

3.7.1	I ² C 总线接口基础	156
3.7.2	PIC16F87XA 的 I ² C 总线数据通信应用实例	162
第 4 章 Proteus 中的 PIC16F87XA 人机交互通道应用实例		164
4.1	发光二极管应用实例	164
4.1.1	器件基础	164
4.1.2	应用实例设计分析	166
4.1.3	应用实例的代码	167
4.1.4	应用实例的仿真结果和说明	168
4.2	单位数码管应用实例	168
4.2.1	器件基础	169
4.2.2	应用实例设计分析	171
4.2.3	应用实例的代码	172
4.2.4	应用实例的仿真结果和说明	173
4.3	多位数码管应用实例	174
4.3.1	器件基础	174
4.3.2	应用实例设计分析	176
4.3.3	应用实例的代码	177
4.3.4	应用实例的仿真结果和说明	179
4.4	MAX7219 应用实例	180
4.4.1	器件基础	180
4.4.2	应用实例设计分析	184
4.4.3	应用实例的代码	186
4.4.4	应用实例的仿真结果和说明	188
4.5	1602 液晶应用实例	189
4.5.1	器件基础	189
4.5.2	应用实例设计分析	192
4.5.3	应用实例的代码	194
4.5.4	应用实例的仿真结果和说明	196
4.6	独立按键应用实例	197
4.6.1	器件基础	197
4.6.2	应用实例设计分析	199
4.6.3	应用实例的代码	200
4.6.4	应用实例的仿真结果和说明	202
4.7	行列扫描键盘应用实例	203
4.7.1	器件基础	203
4.7.2	应用实例设计分析	204
4.7.3	应用实例的代码	205
4.7.4	应用实例的仿真结果和说明	208

4.8	拨码开关应用实例	209
4.8.1	器件基础	209
4.8.2	应用实例设计分析	210
4.8.3	应用实例的代码	211
4.8.4	应用实例的仿真结果和说明	213
第5章	Proteus 中 PIC16F87XA 的信号采集通道应用实例	215
5.1	PIC16F87XA 的内置比较器模块应用实例	215
5.1.1	内置比较器模块基础	215
5.1.2	参考电压模块应用实例	218
5.1.3	比较器模块应用实例（一）	223
5.1.4	比较器模块应用实例（二）	224
5.2	PIC16F87XA 的内置 A/D 模块应用实例	227
5.2.1	内置 A/D 模块基础	227
5.2.2	A/D 模块应用实例	230
5.3	ADC0832 应用实例	234
5.3.1	器件基础	234
5.3.2	应用实例设计分析	237
5.3.3	应用实例的代码	238
5.3.4	应用实例的仿真结果和说明	242
5.4	DS12C877 应用实例	243
5.4.1	器件基础	243
5.4.2	应用实例设计分析	247
5.4.3	应用实例的代码	248
5.4.4	实例的仿真结果和说明	253
5.5	DS1302 应用实例	254
5.5.1	器件基础	254
5.5.2	应用实例设计分析	256
5.5.3	应用实例的代码	258
5.5.4	应用实例的仿真结果和说明	265
5.6	DS18B20 应用实例	265
5.6.1	器件基础	265
5.6.2	应用实例设计分析	269
5.6.3	应用实例的代码	270
5.6.4	应用实例的仿真结果和说明	275
5.7	TC77 应用实例	276
5.7.1	器件基础	276
5.7.2	应用实例设计分析	279
5.7.3	应用实例的代码	280

5.7.4	应用实例的仿真结果和说明	283
第 6 章	Proteus 中的 PIC16F87XA 信号输出通道应用实例	284
6.1	DAC0832 应用实例	284
6.1.1	器件基础	284
6.1.2	应用实例设计分析	286
6.1.3	应用实例的代码	287
6.1.4	应用实例的仿真结果和说明	288
6.2	74HC164 应用实例	289
6.2.1	器件基础	289
6.2.2	应用实例设计分析	290
6.2.3	应用实例的代码	291
6.2.4	应用实例的仿真结果和说明	293
6.3	74HC165 应用实例	293
6.3.1	器件基础	294
6.3.2	应用实例设计分析	295
6.3.3	应用实例的代码	296
6.3.4	应用实例的仿真结果和说明	297
6.4	74HC595 应用实例	298
6.4.1	器件基础	298
6.4.2	应用实例设计分析	300
6.4.3	应用实例的代码	301
6.4.4	应用实例的仿真结果和说明	304
6.5	8255A 应用实例	304
6.5.1	器件基础	304
6.5.2	应用实例设计分析	307
6.5.3	应用实例的代码	308
6.5.4	应用实例的仿真结果和说明	310
第 7 章	Proteus 中的 PIC16F87XA 存储器应用实例	312
7.1	PIC16F87XA 内部 E ² PROM 和 Flash ROM 应用实例	312
7.1.1	E ² PROM 和 Flash ROM 基础	312
7.1.2	E ² PROM 读/写应用实例	315
7.2	外部 RAM 芯片 6264 应用实例	317
7.2.1	器件基础	317
7.2.2	应用实例设计分析	319
7.2.3	应用实例的代码	320
7.2.4	应用实例的仿真结果和分析	322
7.3	外部 E ² PROM 芯片 24C04A 应用实例	322
7.3.1	器件基础	323

7.3.2	应用实例设计分析	324
7.3.3	应用实例的代码	324
7.3.4	应用实例的仿真结果和分析	329
第8章 Proteus 中的 PIC16F87XA 执行机构应用实例		330
8.1	三极管应用实例	330
8.1.1	器件基础	330
8.1.2	应用实例设计分析	331
8.1.3	应用实例的代码	333
8.1.4	应用实例的仿真结果和说明	334
8.2	ULN2803 应用实例	335
8.2.1	器件基础	335
8.2.2	应用实例设计分析	336
8.2.3	应用实例的代码	337
8.2.4	应用实例的仿真结果和说明	339
8.3	光电隔离器应用实例	339
8.3.1	器件基础	339
8.3.2	应用实例设计分析	341
8.3.3	应用实例的代码	342
8.3.4	应用实例的仿真结果和说明	343
8.4	直流电动机应用实例	343
8.4.1	器件基础	343
8.4.2	应用实例设计分析	344
8.4.3	应用实例的代码	346
8.4.4	应用实例的仿真结果和说明	348
8.5	步进电机应用实例	349
8.5.1	器件基础	349
8.5.2	应用实例设计分析	351
8.5.3	应用实例的代码	352
8.5.4	应用实例的仿真结果和说明	356
8.6	继电器应用实例	356
8.6.1	器件基础	356
8.6.2	应用实例设计分析	357
8.6.3	应用实例的代码	358
8.6.4	应用实例的仿真结果和说明	360
8.7	蜂鸣器应用实例	360
8.7.1	器件基础	360
8.7.2	应用实例设计分析	362
8.7.3	应用实例的代码	363

8.7.4 应用实例的仿真结果和说明	365
第 9 章 Proteus 中的 PIC16F87XA 通信应用实例	366
9.1 MAX232 应用实例	366
9.1.1 器件基础	366
9.1.2 应用实例设计分析	368
9.1.3 应用实例的代码	369
9.1.4 实例的仿真结果和说明	369
9.2 SN75179 应用实例	370
9.2.1 器件基础	370
9.2.2 应用实例设计分析	371
9.2.3 应用实例的代码	373
9.2.4 实例的仿真结果和说明	375
9.3 MAX487 应用实例	376
9.3.1 器件基础	376
9.3.2 应用实例设计分析	377
9.3.3 应用实例的代码	379
9.3.4 实例的仿真结果和说明	379
第 10 章 在 Proteus 中设计 PIC16F87XA 的应用系统	380
10.1 PIC16F87XA 综合应用实例设计基础	380
10.2 呼吸灯应用实例	384
10.2.1 呼吸灯的需求分析和系统设计	384
10.2.2 呼吸灯的硬件设计	385
10.2.3 频率计的软件设计	386
10.2.4 实例的仿真结果和总结	388
10.3 简易压力计应用实例	389
10.3.1 简易压力计的需求分析和系统设计	389
10.3.2 简易压力计的硬件设计	389
10.3.3 简易压力计的软件设计	391
10.3.4 实例的仿真结果和总结	395
10.4 仓库自动通风系统应用实例	395
10.4.1 仓库自动通风系统的需求分析和系统设计	396
10.4.2 仓库自动通风系统的硬件设计	396
10.4.3 仓库自动通风系统的软件设计	398
10.4.4 实例的仿真结果和总结	404

第 1 章 PIC16F87XA 应用基础

单片机是单片微型计算机的简称，是一种将运算控制器、存储器、寄存器 I/O 接口以及一些常用的功能模块都集成到一块芯片上的计算机，常常用于工业控制、小型家电等需要嵌入式控制的场合。PIC16F87XA 系列单片机是 Microchip 公司出品的 8 位 Flash 精简指令集（RISC）单片机，它采用数据总线和指令总线分离独立的哈佛结构，具有很高的流水处理速度，本章将简要介绍 PIC16F87XA 系列单片机的体系结构、C 语言和 MPLAB 软件开发环境。

1.1 PIC16F87XA 的体系结构

PIC16F87XA 系列单片机包括 PIC16F873A、PIC16F874A、PIC16F876A 和 PIC16F877A 等型号，各个型号的对比如表 1.1 所示。

表 1.1 PIC16F87XA 系列单片机

	PIC16F873A	PIC16F874A	PIC16F876A	PIC16F877A
最大工作频率/MHz	20	20	20	20
程序存储器（14 位宽度）/KB	4	4	8	8
数据存储器/B	192	192	368	368
E ² PROM/B	128	128	256	256
中断源数目	13	14	13	14
I/O 端口	A、B、C	A、B、C、D、E	A、B、C	A、B、C、D、E
内置定时器数目	3	3	3	3
内部比较、捕捉模块	2	2	2	2
串行通信模块	MSSP、USART	MSSP、USART	MSSP、USART	MSSP、USART
并行通道端口	无	PSP	无	PSP
内置 10 位 A/D 通道数目	5	8	5	8
总指令数	35	35	35	35

PIC16F87XA 系列单片机的主要特点如下：

- 采用 RISC 结构，速度快，性能高。
- 仅有 35 条单字指令，除了程序分支指令需要两个执行周期之外，都仅需要一个执行周期。
- 最高支持 20MHz 的时钟输入频率。
- 内置 4KB/8KB 的 14 位 Flash 程序存储器、368/192 字节的数据存储器、128/256 字节的 E²PROM 数据存储器。

- 提供 14 个中断源的中断系统。
- 内置 8 级深度的硬件堆栈。
- 内置上电复位 (POR)、上电定时器 (PWRT) 和振荡启动定时器 (OST)。
- 内置三个定时/计数器, 包括带预分频的 8 位定时/计数器 Timer0; 带预分频的、可以使用外部晶体振荡时钟的 16 位定时/计数器 Timer1; 带有 8 位周期寄存器、预分频器和后分频器的 8 位定时/计数器 Timer2。
- 内置 2 个 16 位最大分辨率为 12.5ns 的捕捉器;
- 内置 2 个 16 位最大分辨率为 200ns 的比较器。
- 内置 2 个最大分辨率为 10 位的 PWM 模块。
- 内置 5~8 通道的 10 位多通道 A/D 模块。
- 内置带有 SPI (主模式) 和 I²C (主/从) 模式的 SSP。
- 内置带有 9 位地址探测的通用同步异步发送/接收器 (USART/SCI)。
- 内置带 RD (读)、WR (写)、CS (使能) 的并行端口。
- 内置支持降压复位的降压检测模块。
- 内置监视定时器 (WDT) 和片内 RC 振荡器。
- 支持在线串行编程 ICSP 和单 5V 电压供电的内部电路串行编程。
- 支持 2.0~5.5V 的宽电压工作。

PIC16F87XA 系列单片机提供 28/40 引脚的 PDIP、SOIC、PLCC 和 QFP 封装可供用户选择, 图 1.1 是 40 引脚的 PDIP 封装 PIC16F877A/PIC16F874A 引脚示意, 部分说明如下。



图 1.1 40 引脚 PDIP 封装的 PIC16F877A/PIC16F874A 引脚示意

- 外部 I/O 引脚 RA~RE: 具有第二或者第三功能的 I/O 引脚, 详细可以参考 3.1 节。
- MCLR/Vpp/THV: 复位输入、可编程电压输入或者高电压测试模式控制引脚, 当用作复位输入的时候, 为 Active Low 动作。
- OSC1/CLKI: 振荡器输入/外部时钟源输入引脚。
- OSC2/CLKO: 振荡器输出引脚, 在振荡模式下该引脚应该连接到外部晶体/晶振, 在 RC 模式下, 该引脚输出为 OSC1 上频率四分频的时钟信号 CLKOUT。
- Vss: 电源地引脚。

- VDD: 电源输入引脚。

PIC16F877A/PIC16F874A 单片机的组成结构如图 1.2 所示, 它由 ALU、通用寄存器、Flash 程序存储器、RAM 数据存储器、中断模块和其他扩展资源组成。

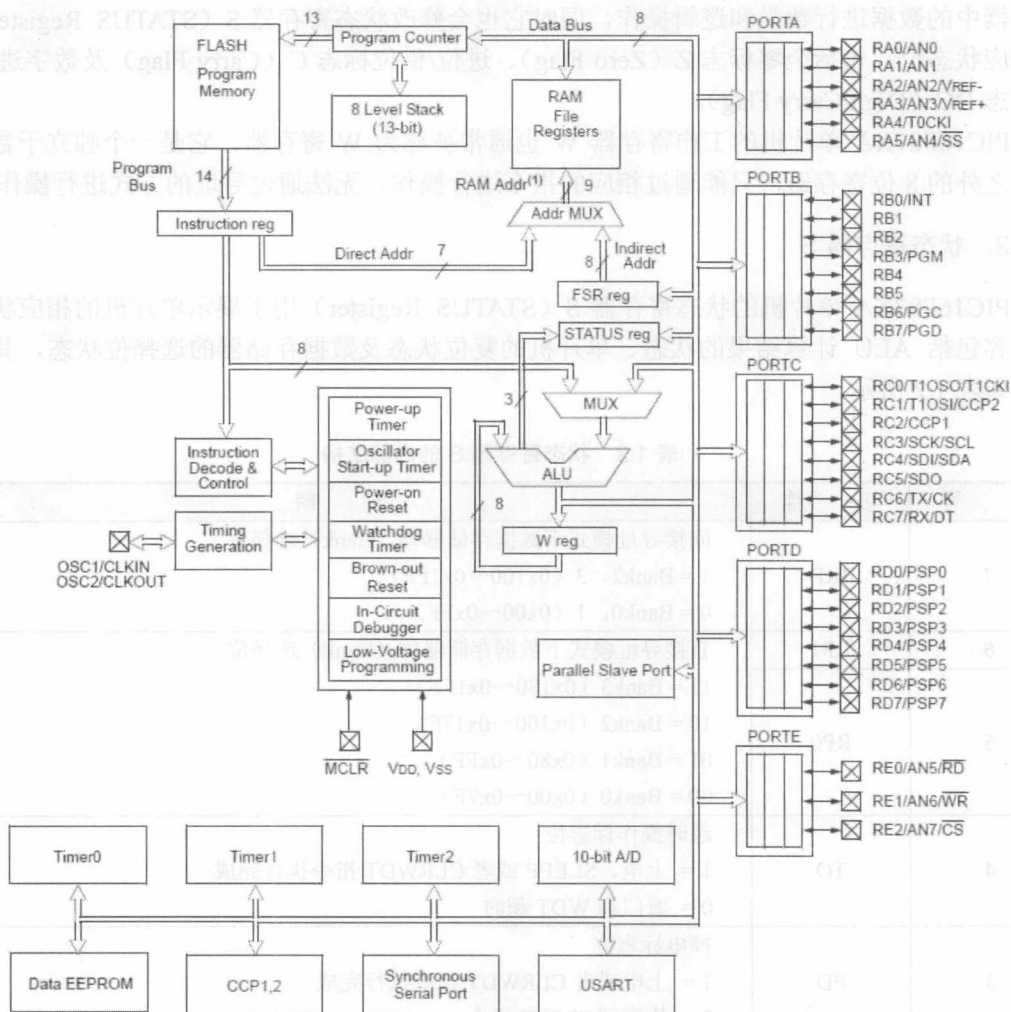


图 1.2 PIC16F877A/PIC16F874A 单片机的组成结构

注意: 本书通常使用 PIC16F877A/PIC16F874A 作为讲解示范, 关于 PIC16F873A/PIC16F876A 读者可以自行参阅相应的资料。

1.1.1 PIC16F87XA 的内核

PIC16F87XA 的内核由算术逻辑单元 ALU、工作寄存器 W、状态寄存器组成。

1. 算术逻辑单元 ALU 和工作寄存器 W

算术逻辑单元 (ALU) 是 PIC16F87XA 单片机内核中负责执行各种算术和逻辑运算操作

的部件，其基本操作包括加、减、乘、除四则运算（算术运算），与、或、非、异或等逻辑操作（逻辑预算），以及移位、比较和传送等操作。

ALU 可以对 PIC16F87XA 单片机的工作寄存器 W（Working Register）中的数据和其他寄存器中的数据进行数学和逻辑操作，同时它也会修改状态寄存器 S（STATUS Register）中的相应状态位，包括全零标志 Z（Zero Flag）、进位/借位标志 C（Carry Flag）及数字进位/借位标志 DC（Digit Carry Flag）。

PIC16F87XA 单片机的工作寄存器 W 也通常被称为 W 寄存器，它是一个独立于数据存储器之外的 8 位寄存器，只能通过相应的指令进行操作，无法通过寻址的方式进行操作。

2. 状态寄存器 S

PIC16F87XA 单片机的状态寄存器 S（STATUS Register）用于展示单片机的相应状态，其内容包括 ALU 计算结果的状态、单片机的复位状态及数据存储器的选择位状态，其内部结构如表 1.2 所示。

表 1.2 状态寄存器 S 的内部结构

序 号	名 称	说 明
7	IRP	间接寻址模式下数据存储器体（Bank）选择位 1 = Bank2、3（0x100~0x1FF） 0 = Bank0、1（0x00~0xFF）
6	RP1	直接寻址模式下数据存储器体（Bank）选择位
5	RP0	11 = Bank3（0x180~0x1FF） 10 = Bank2（0x100~0x17F） 01 = Bank1（0x80~0xFF） 00 = Bank0（0x00~0x7F）
4	TO	超时操作标志位 1 = 上电、SLEEP 或者 CLRWDWT 指令执行完成 0 = 看门狗 WDT 超时
3	PD	掉电标志位 1 = 上电或者 CLRWDWT 指令执行完成 0 = 执行了 SLEEP 指令
2	Z	0 标志位 1 = 算术或逻辑运算结果为 0 0 = 算术或逻辑运算结果不为 0
1	DC	半进位/半借位操作标志位 1 = 发生了一次半进位或者半借位操作 0 = 没有发生半进位或者半借位操作
0	C	进位/借位操作标志位 1 = 发生了一次进位或者借位操作 0 = 没有发生进位或者借位操作

需要注意的是，TO 和 PD 两位是只读的，而并不是所有的操作指令都会影响到 Z、DC 和 C 标志位。

3. 程序计数器 PC

PIC16F87XA 的程序计数器 (Program Counter) 用来记录下一条需要执行的指令在程序存储器中的地址, 其宽度为 13 位, 可以寻址 8KB 的程序空间。当单片机执行完当前的指令后, 会将下一条指令的地址放入 PC 中。

13 位的 PC 计数器可以分为 PCL[7~0] 和 PCH[13~8] 两部分, 前者是一个存储器映像寄存器, 地址为 0x02, 而后者则不能直接进行操作。

在通常情况下, PC 内值的变化情况为以下三种情况之一:

- 连续递增, 此时 PC 的值自动增加。
- 调用 Goto 和 Call 指令进行跳转, 此时 PC 中[10~0]位由指令给出, 而 PC 中[12~11]位由 PCLATH 寄存器的[4~3]位给出。
- 使用 PCL 寄存器作为操作数和目的寄存器, 此时单片机使用查表操作, PC[7~0]来自 PCL 寄存器, 而 PC[12~8]则来自 PCLATH[4~0]。

4. 堆栈 Stack

PIC16F87XA 内部集成了一个宽度为 13 位、8 层深的硬件堆栈, 用于放置当程序中有中断或者子程序调用时程序计数器 PC 的内容。

注意: PIC16F87XA 的堆栈空间是一个独立的空间, 并不属于任何存储器空间, 其指针 (堆栈指针 SP) 也不能被读取或者控制。

当 PIC16F87XA 的中断发生的时候, PC 的值被压入堆栈中, 然后将中断矢量的地址 (0x04) 送入 PC, 应用代码从中断服务子程序开始执行; 当中断服务子程序执行完成后, 从堆栈中取出之前的 PC 值并且继续执行。

除了 PC 值之外, 在中断发生或者调用子程序的时候, 还需要将相应的参数值压入堆栈中, 这个动作被称为压栈 (PUSH), 将参数从堆栈中取出的动作称为弹出 (POP), 但是 PIC16F87XA 并没有提供相应的指令, 所以用户需要自己保护相应的值。

由于 PIC16F87XA 的堆栈有 8 层深度, 按照先进后出、后进先出的规则实现进栈和出栈操作。8 层深度通常来说是不够用的, 但是如果已经 PUSH 了 8 个 PC 值之后继续 PUSH, 则会出现第 9 个值占据了第 1 个值位置的情况, 此时 PIC16F87XA 并不会有任何溢出或者警告标志, 因此如果有多层程序调用时, 需要注意堆栈的溢出问题。

5. 选择寄存器 OPTION_REG

选择寄存器 OPTION_REG 用于设置输入/输出端口 (PORTB) 的特殊功能及定时计数器 (Timer0) 的相应功能, 包括预分频、外部中断设置, TMR0 和弱上拉等, 表 1.3 是选择寄存器的内部结构说明。

表 1.3 PIC16F87XA 选择寄存器的内部结构

BIT	RBPU	INTEDG	T0CS	T0SE	PSA	PS2	PS1	PS0
读/写	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W
初始值	1	1	1	1	1	1	1	1