

# PIC 单片机 实践与系统设计

彭树生 编著

单片机与嵌入式系统



电子工业出版社

PUBLISHING HOUSE OF ELECTRONICS INDUSTRY

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

高等学校规划教材

# PIC 单片机 实践与系统设计

彭树生 编著

电子工业出版社

Publishing House of Electronics Industry

北京·BEIJING

## 内 容 简 介

本书是与《PIC 单片机原理与接口技术》配套的实践教材，是在原《PIC 单片机实验教程》部分内容的基础上，根据多年教学经验和科研中积累的成功案例，以工程应用为主线，经认真改编和完善而成的。主要目的是使学习者更快融入具体的工程应用中，激发或提升其参与实践的兴趣，享受成功的快乐。

本书以美国 Microchip 公司的 PIC16F87x 系列单片机为主控制器，详细介绍每个实验与系统的设计原理和方法，以及相关的基础知识。内容包括：步进电动机驱动与控制技术、数字函数发生器原理、LED 与 LCD 显示原理与驱动电路、数字电压表原理、A/D 与 D/A 转换原理、I<sup>2</sup>C 总线原理、数字电位器原理、电子式电能表原理、USB 接口技术、CMOS 图像传感器原理等。本书内容丰富，通俗易懂，实用性强，每一个实例都来自成功的工程案例，程序都已调试成功，可以直接录入运行。

本书可作为高等学校电类各专业本科或研究生的教材或参考书，也可作为科研和工程技术人员的培训用书。

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

PIC 单片机实践与系统设计 / 彭树生编著. —北京：电子工业出版社，2007.11

高等学校规划教材

ISBN 978-7-121-04912-5

I. P… II. 彭… III. 单片微型计算机—高等学校—教材 IV. TP368.1

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2007) 第 131055 号

责任编辑：王 纲 文字编辑：宋兆武

印 刷：北京市李史山胶印厂  
装 订：

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：787×1 092 1/16 印张：19.5 字数：576 千字 插页：4

印 次：2007 年 11 月第 1 次印刷

印 数：4 000 册 定价：28.00 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

随着电子技术、计算机技术和控制技术的发展,以及实际应用需求的迅速增长,智能控制逐渐渗入到各行各业的各类产品中。在工业电子、农业电子、消费电子等领域,越来越多地应用了带有一定智能的控制设备或仪器仪表,这些应用使自动化程度越来越高,机电的配合越来越密切。其中,这些应用中大量使用的主控芯片就是单片计算机芯片,即单片机,又称微控制器。单片机对于现在从事电子技术应用的工程师们来说,已经是很平常的一类器件了。正是由于单片机的加入,使很多传统的设计理念和设计方法发生了改变,设备越来越智能化、小型化,性价比也得到大大提高。

PIC (Peripheral Interface Controller) 单片机是由美国 Microchip 公司开发生产的 8 位单片机。它的硬件系统设计简捷,指令系统设计精炼,抗干扰能力强,功耗低,运行速度快,驱动能力强,并且指令少。在所有的单片机品种中,PIC 单片机具有性能完善,功能强大,学习容易,开发应用方便及人机界面友好等突出优点。多年来,PIC 单片机以其独特的优势、完整的系列产品,在国外得到广泛的应用,特别是在仪器仪表行业,更显示出其独特的魅力。

与 51 系列单片机相比,PIC 单片机进入市场较晚,但它从一开始就是一款与众不同的芯片。第一,它没有兼容当时市场上流行的任何一种单片机结构,而是采用了程序空间和数据空间完全分离的哈佛总线结构,实现了精简指令集。这种体系结构大大降低了 PIC 单片机的总体成本,同时提高了运行效率。第二,PIC 单片机不搞简单的功能堆积,而是提供了不同系列、不同型号的单片机。众多型号的单片机运行性能有高有低,片上功能资源有多有少,但始终保持了高度一致的可移植性。第三,它没有沿用掩膜定制单片机的做法,而是保证了现场可编程的灵活性。从早期的 OTP 芯片(用户一次可编程)到现在的 Flash 芯片(闪存多次可编程),PIC 一直在追求加快产品的开发和上市速度,避免开发和生产中的风险,提高产品升级换代的灵活性,这正好符合整个市场快速变化的需求。第四,注重产品的高稳定性和高可靠性。Microchip 公司芯片设计的严格细致和制造过程的精益求精息息相关。

PIC16F87x 系列单片机是 Microchip 公司最新推出的中档 8 位单片机,是其第二代具有 Flash 程序存储器的产品,并且内置有 ICD 功能,支持在线串行编程,同时与其他型号的单片机保持了良好的兼容性。本书采用 PIC16F87X 系列单片机为主控芯片来设计应用系统,注重开发方法和应用技巧,强调培养学生将所学知识应用于实际工程的能力。希望能借本书为读者提供一个容易激发学习热情和创作欲望的,可操作性很强的学习途径和实践平台。

全书分为 3 篇。第 1 篇即第 1 章,主要简介 PIC16F87x 系列单片机的特性。第 2 篇包含 6 章,即第 2~7 章,为基础实践。其中,前 5 章由原《PIC 单片机实验教程》的第 4 章“应用设计实验”改编而成,第 7 章是本书新增内容。第 2 篇围绕一些基础知识和 PIC16F87x 的基本端口功能介绍一些基础实验,内容涉及步进电动机的概念、A/D 和 D/A 转换、LED 和 LCD 的驱动与显示、数字电位器及放大器自动控制等。第 3 篇包含 4 章,即第 8~11 章,每一章都是一个具体的工程应用案例。第 8 章介绍的是 320×240 像素分辨率的 DMF50081 液晶显示器的控制与显示编程技术,第 9 章介绍的是单相电子式预付费集抄电

能表的设计，第 10 章介绍的是步进电动机细分驱动电路设计，第 11 章介绍的是基于 USB 接口的图像采集电路设计。

编写本书的“蓄意”已久，但一直没有最终成稿，去年得到电子工业出版社的鼓励和支持，终于下决心来完成。此书的编写目标是通过一个个实实在在的工程应用案例，让有志于迈进单片机王国的初学者或爱好者从烦琐的理论或无从下手的状态中走出来，尽快上手，尽快体验到工程开发的乐趣。书中每一个实例，都倾注着作者的心血，都是来自实践，都有应用背景，都可以应用到实践中。特别提醒读者，虽然书中的程序都通过了实际电路的验证，但因应用开发环境不同等各种原因，读者在引用这些程序或电路时，一定要亲自认真验证，以免造成不必要的损失。

本书在编写过程中参考了大量的文献资料和相关网站，由于编写的时间较长，未能一一记录，在参考文献中可能没有列全，敬请相关的作者或版主谅解。在编写过程中，得到了美国微芯公司-南京理工大学单片机联合实验室和电子工业出版社的大力支持；在硬件设计中，得到了 MAXIM 公司、INTERSIL 公司、ADI 公司、NS 公司的芯片样片支持；在程序验证方面，得到了多位学生的帮助，他们是周旋、赵刚峰、郁继宗、邢跃键、汪青华、辛红伟、杨盈等，在此一并致以诚挚的谢意。

因作者的水平和时间有限，故书中难免出错，敬请读者批评指正。有什么意见和实践出现什么困难，可以通过电子邮件进行交流：[njust\\_lab@163.com](mailto:njust_lab@163.com)。书中涉及实验的实验板，可以有偿提供，需要的读者也可以通过 E-mail 联系。本书的思考题的参考答案和教学建议，以及附录中图的电子文档，可以从电子工业出版社的华信教育资源网站（[www.hxedu.com.cn](http://www.hxedu.com.cn) 或 [www.huaxin.edu.cn](http://www.huaxin.edu.cn)）上免费注册下载。

作者  
于金陵

# 目 录

## 第 1 篇 PIC16F87x 基础

<b>第 1 章 PIC16F87x 单片机概述</b> .....	3
1.1 PIC16F87x 单片机原理.....	3
1.2 PIC16F87x 单片机的封装与引脚功能.....	5
1.2.1 PIC16F87x 的封装形式.....	5
1.2.2 引脚功能.....	7
1.3 PIC16F87x 单片机的最小系统.....	11
1.3.1 电源电路.....	11
1.3.2 复位电路.....	11
1.3.3 时钟电路.....	13
1.4 PIC16F87x 单片机指令集.....	15
1.4.1 PIC 汇编语言指令格式.....	17
1.4.2 面向字节的文件寄存器操作类指令.....	17
1.4.3 面向位的文件寄存器操作类指令.....	22
1.4.4 面向立即数和控制操作类指令.....	23

## 第 2 篇 基础实践

<b>第 2 章 步进电动机控制设计</b> .....	29
2.1 实验内容.....	29
2.2 实验原理与方法.....	29
2.2.1 电路原理.....	29
2.2.2 键盘接口电路.....	30
2.2.3 L298 驱动器.....	31
2.3 软件设计.....	33
2.3.1 参考程序流程图.....	33
2.3.2 参考程序.....	35
2.4 相关知识.....	41
2.4.1 步进电动机的基本原理.....	41
2.4.2 步进电动机的驱动方法.....	43
思考题 2.....	44
<b>第 3 章 数字函数发生器设计</b> .....	45
3.1 实验内容.....	45
3.2 实验原理与方法.....	45

3.2.1	电路原理	45
3.2.2	TLC7226 功能	45
3.2.3	实验项目	48
3.3	软件设计	49
3.3.1	参考程序流程图	49
3.3.2	参考程序	49
3.4	相关知识	56
	思考题 3	57
<b>第 4 章</b>	<b>LED 数码管显示器的驱动与显示</b>	<b>58</b>
4.1	实验内容	58
4.2	实验原理与方法	58
4.2.1	电路原理	58
4.2.2	MAX7219 特性	59
4.2.3	显示内容	63
4.3	软件设计	63
4.3.1	参考程序流程图	63
4.3.2	参考程序	63
4.4	相关知识	70
4.4.1	LED 数码管的构成	70
4.4.2	数码管的驱动方法	71
	思考题 4	71
<b>第 5 章</b>	<b>LCD 显示器的驱动与显示</b>	<b>72</b>
5.1	实验内容	72
5.2	实验原理与方法	72
5.2.1	电路原理	72
5.2.2	笔段字符型的 LCD	72
5.2.3	点阵字符型的 LCD	76
5.2.4	显示内容	83
5.3	软件设计	83
5.3.1	参考程序流程图	83
5.3.2	参考程序	84
5.4	相关知识	90
5.4.1	LCD 的基本原理	90
5.4.2	LCD 的基本参数	91
5.4.3	LCD 的驱动方法	92
	思考题 5	93
<b>第 6 章</b>	<b>直流数字电压表的设计</b>	<b>94</b>
6.1	实验内容	94
6.2	实验原理与方法	94
6.2.1	电路原理	94

6.2.2	量程的设计	94
6.2.3	LED 显示设计	96
6.2.4	实验项目	96
6.3	软件设计	96
6.3.1	参考程序流程图	96
6.3.2	参考程序	97
6.4	相关知识	103
6.4.1	A/D 转换原理	103
6.4.2	A/D 转换的技术指标	105
	思考题 6	106
<b>第 7 章</b>	<b>放大器的增益控制设计</b>	<b>107</b>
7.1	实验内容	107
7.2	实验原理与方法	107
7.2.1	电路原理	107
7.2.2	实验项目	109
7.3	软件设计	110
7.3.1	参考程序流程图	110
7.3.2	参考程序	112
7.4	相关知识	128
7.4.1	I <sup>2</sup> C 总线协议	128
7.4.2	I <sup>2</sup> C 总线的电路接口	129
7.4.3	数字电位器	130
	思考题 7	131

### 第 3 篇 应用系统设计

<b>第 8 章</b>	<b>DMF50081ZNB 与 PIC16F877 的接口技术</b>	<b>135</b>
8.1	引言	135
8.2	DMF50081ZNB 液晶显示器硬件接口电路	135
8.2.1	电路原理	135
8.2.2	DMF50081ZNB 接口特性	136
8.2.3	SED1335 控制板	137
8.2.4	PIC16F877 与液晶控制板的接口电路	140
8.3	软件接口	140
8.3.1	初始化	140
8.3.2	中英文字符的显示	143
8.3.3	图形的显示技术	152
	思考题 8	178
<b>第 9 章</b>	<b>基于 PIC 单片机的单相电子式预付费集抄电能表</b>	<b>179</b>
9.1	引言	179



9.1.1	电能表功能	179
9.1.2	系统功能的实现	179
9.2	硬件电路的设计	180
9.2.1	电源电路	180
9.2.2	计量电路	181
9.2.3	单片机系统电路	182
9.2.4	RS-485 接口电路	198
9.3	系统的软件设计	212
9.4	样机实物	222
	思考题 9	222
<b>第 10 章</b>	<b>基于 PIC16F876 的步进电动机细分驱动电路设计</b>	<b>223</b>
10.1	引言	223
10.1.1	步进电动机	223
10.1.2	细分驱动	223
10.1.3	系统功能的实现	224
10.2	硬件电路的设计	225
10.2.1	单片机控制电路	225
10.2.2	斩波电路	227
10.2.3	相选电路	231
10.2.4	温度/限流报警电路	232
10.2.5	+5V 电源电路	233
10.2.6	相选/拍选/细分选择电路	233
10.2.7	数字电位器 X9511 的分压电路	234
10.2.8	电平位移转换电路	235
10.2.9	功率驱动电路	236
10.3	系统的软件设计	236
10.3.1	电动机运行方式与方向的软件实现	236
10.3.2	线性加正弦规律的数学模型	237
10.3.3	系统软件流程图	238
10.4	样机实物与测试波形	239
	思考题 10	240
<b>第 11 章</b>	<b>基于 PIC16F87x 的 USB 图像采集电路设计</b>	<b>241</b>
11.1	引言	241
11.2	系统的构成	241
11.3	各功能模块与电路的设计	242
11.3.1	单片机控制电路	242
11.3.2	图像传感电路	251
11.3.3	FIFO 帧存储电路	259
11.3.4	CPLD (可编程逻辑器件) 控制电路	265
11.3.5	USB 接口电路	268

11.4 系统运行	273
11.5 样机实物	277
思考题 11	278

# 第 1 篇 PIC16F87x 基础

这一篇只包含一章，主要是介绍 PIC16F87x 的基本特性，包括它的功能组成，引脚特性，最小系统电路和指令系统，以方便实验时查阅。



# 第1章 PIC16F87x 单片机概述

对于微处理器 (MCU) 来说, 通常有两种体系结构: 冯·诺伊曼结构和哈佛结构。冯·诺伊曼结构也称普林斯顿结构, 是一种将程序指令存储器和数据存储器合并在一起的存储器结构。在这种结构中, 程序指令存储地址和数据存储地址在物理分配上属于同一空间, 程序指令和数据的宽度相同, 读取指令和存取数据只能公用一条总线, 数据流量受到一定的限制。哈佛结构是一种将程序指令存储器和数据存储器分开的存储器结构。MCU 首先到程序指令存储器中读取程序指令内容, 解码后得到数据地址, 再到相应的数据存储器中读取数据, 并进行下一步的操作 (通常是执行)。程序指令存储器和数据存储器分开, 可以使指令和数据有不同的数据宽度, 这样读取指令和存取操作数就可以同时进行, 即可以引入指令流水线机制, 以提高单片机内部的数据流量, 提高代码的运行效率。Microchip 公司的 PIC 系列单片机采用哈佛总线结构, PIC16 系列的程序指令是 14 位宽度, 数据是 8 位宽度。

## 1.1 PIC16F87x 单片机原理

美国 Microchip Technology 公司推出的 8 位 PIC 系列单片机, 集成了多种先进技术和制造工艺, 具有实用、低价、低功耗、高速度、功能强等特点, 具有独特的 RISC (精简指令集) 结构, 数据总线和指令总线分离的哈佛总线结构, 使指令只有单字长的特性, 且允许指令码的位数可多于 8 位的数据位数, 这与传统的采用 CISC 结构的 8 位单片机相比, 可以达到 2:1 的代码压缩, 速度提高了 4 倍。它分为初级、中级和高级 3 大系列, 其指令系统向上兼容, 其中 PIC16F87x 属于中级产品。因为中级产品品种最丰富, 应用也最为广泛, 因此在此主要以 PIC16F873, PIC16F874, PIC16F876 和 PIC16F877 为主进行介绍, 它们的简单特性见表 1.1。

表 1.1 PIC16F87x 系列单片机的简单特性

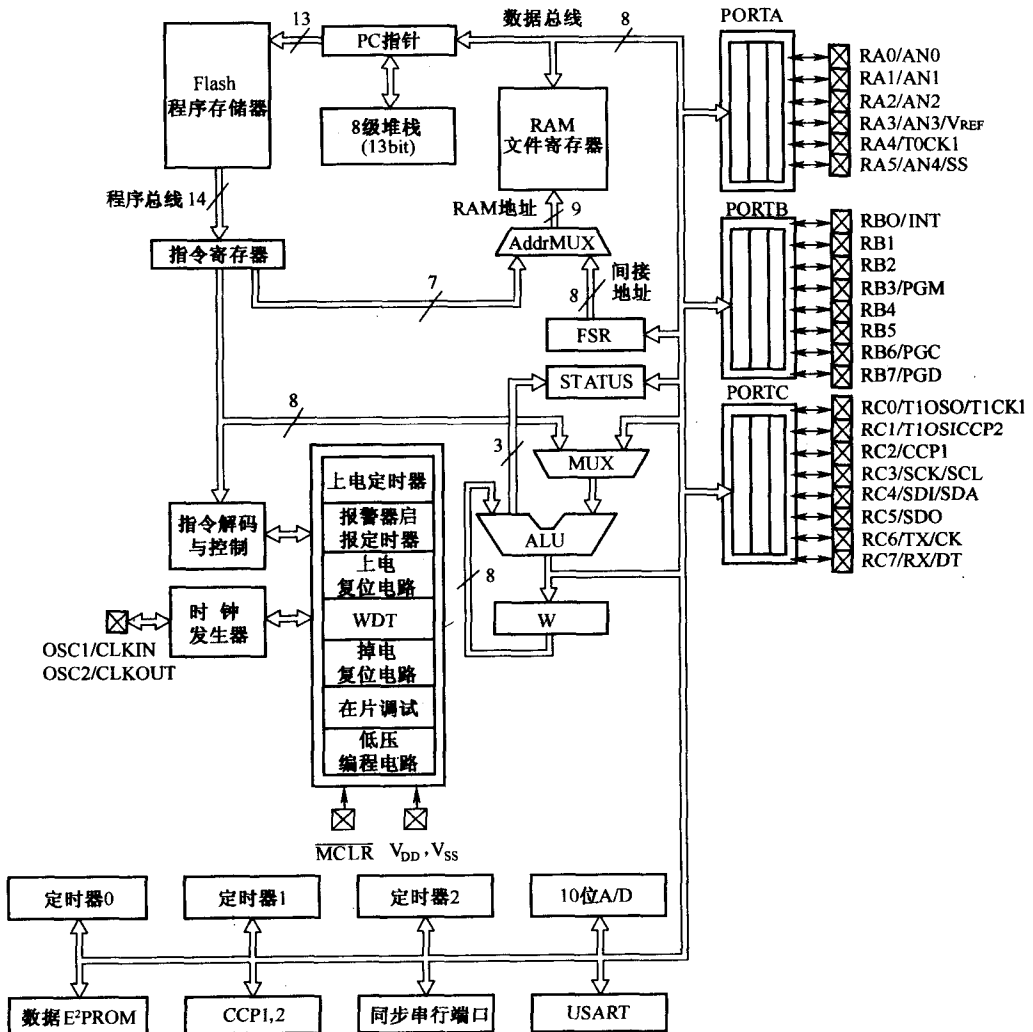
型号	PIC16F873	PIC16F874	PIC16F876	PIC16F877
功能	PIC16F873A	PIC16F874A	PIC16F876A	PIC16F877A
工作频率	DC-20MHz	DC-20MHz	DC-20MHz	DC-20MHz
FPRAM <sup>①</sup> (位)	4K×14	4K×14	8K×14	8K×14
RAM (位)	192×8	192×8	368×8	368×8
E <sup>2</sup> PROM (位)	128×8	128×8	256×8	256×8
中断 (个)	13	14	13	14
I/O 端口	A,B,C	A,B,C,D,E	A,B,C	A,B,C,D,E
定时器 (个)	3	3	3	3
CCP <sup>®</sup> 模块 (个)	2	2	2	2
串行通信模块	MSSP <sup>®</sup> , USART <sup>®</sup>	MSSP, USART	MSSP, USART	MSSP, USART
并行通信模块	—	PSP <sup>®</sup>	—	PSP
A/D 通道数 (个)	5	8	5	8
指令集 (条)	35	35	35	35
复位/ (延时)	POR <sup>®</sup> , BOR <sup>®</sup> / (PWRT <sup>®</sup> , OST <sup>®</sup> )	POR, BOR/ (PWRT, OST)	POR, BOR/ (PWRT, OST)	POR, BOR/ (PWRT, OST)

注: ① FPRAM——程序闪存 (Flash Program Memory);

- ② CCP——捕捉器/比较器/PWM (Capture/Compare/PWM);
- ③ MSSP——主同步串行口 (Master Synchronous Serial Port);
- ④ USART——通用同步异步接收器和发送器 (Universal Synchronous Asynchronous Receiver Transmitter);
- ⑤ PSP——并行从属端口 (Parallel Slave Port);
- ⑥ POR——上电复位 (Power-on Reset);
- ⑦ BOR——掉电复位 (Brown-out Reset);
- ⑧ PWRT——上电定时器 (Power-up Timer);
- ⑨ OST——振荡器起振定时器 (Oscillator Start-up Timer)。

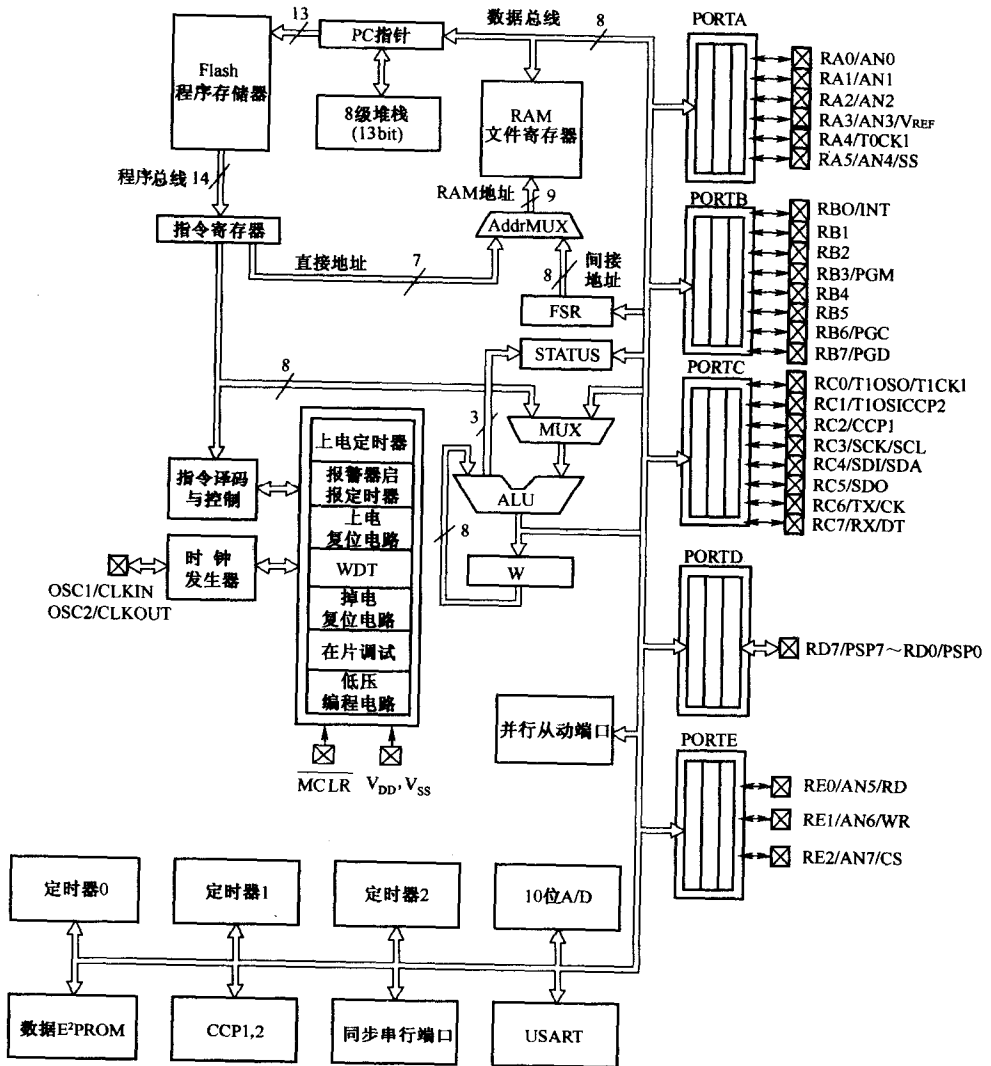
PIC16F87x 芯片上集成有 4KB/8KB 的 Flash 可重复编程存储器, 192/368B 的数据存储器, 128/256B 的 E<sup>2</sup>PROM 数据存储器, 3 个定时/计数器, 2 个集捕捉、比较、脉宽调制三项功能于一身的 CCP 模块, 同步串行通信端口, 10 位多通道 A/D 转换器, 以及时钟、上电复位、看门狗等。其内部结构如图 1.1 所示。

芯片	程序存储器	数据存储器	数据E <sup>2</sup> PROM
PIC16F873	4KB	192B	128B
PIC16F876	8KB	368B	256B



(a) PIC16F873和PIC16F876的内部结构框图

芯片	程序存储器	数据存储器	数据E <sup>2</sup> PROM
PIC16F874	4KB	192B	128B
PIC16F877	8KB	368B	256B



(b) PIC16F874和PIC16F877的内部结构框图

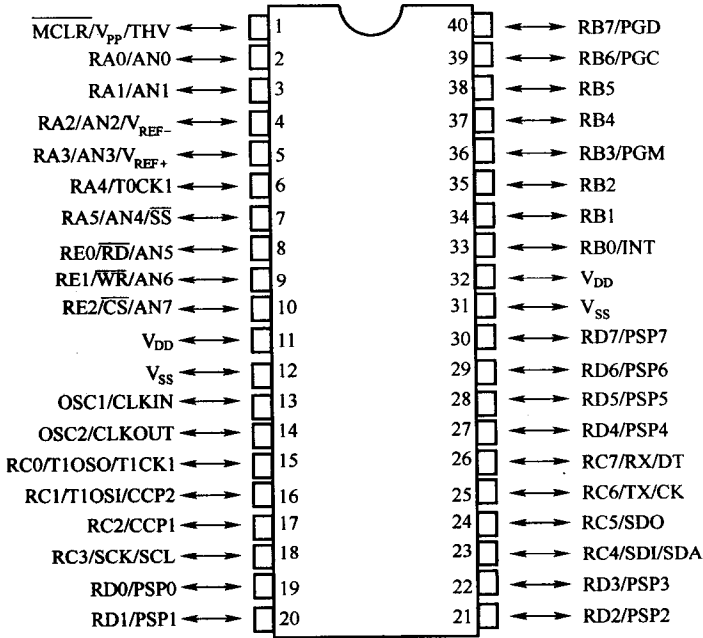
图 1.1 PIC16F87x 单片机的内部结构

## 1.2 PIC16F87x 单片机的封装与引脚功能

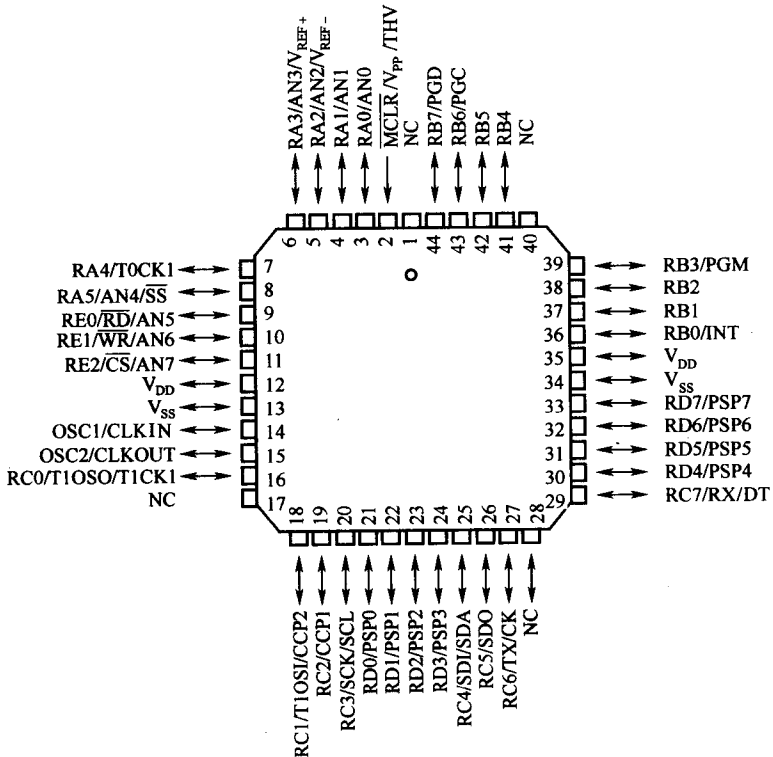
### 1.2.1 PIC16F87x 的封装形式

PIC16F87x 系列单片机有 PDIP, PLCC 和 QFP 三种封装形式。PIC16F877/874 采用的是

40 引脚的 PDIP、44 引脚的 PLCC 和 44 引脚的 QFP 形式，PIC16F876/873 采用的是 28 引脚的 PDIP 或 SOIC 形式，如图 1.2 所示。在 PIC 系列单片机中，除电源和地线引脚之外，其他的引脚基本上都可以通过编程选择多功能复用。

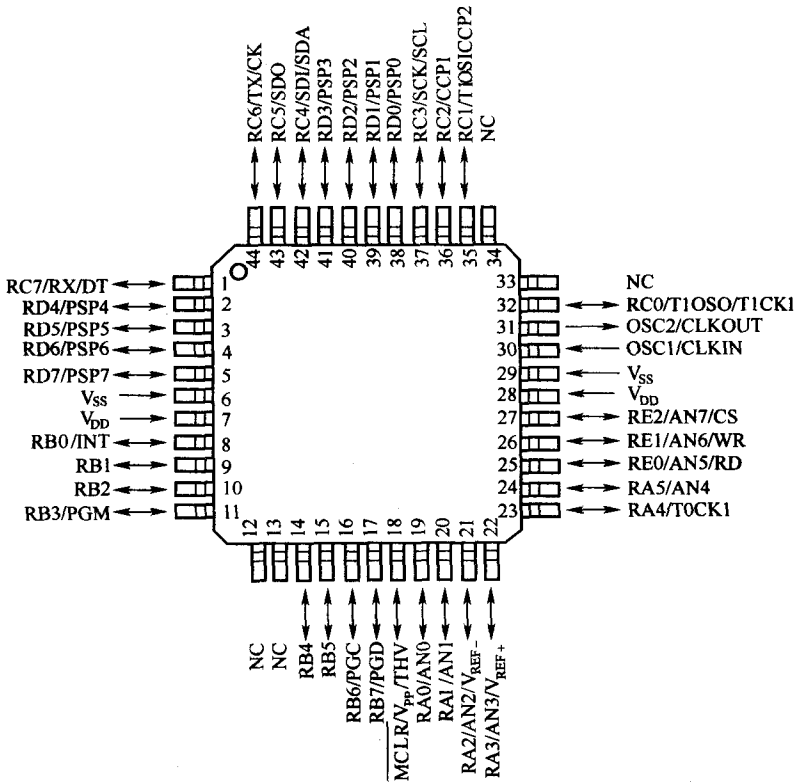


(a) PIC16F877/874 PDIP封装

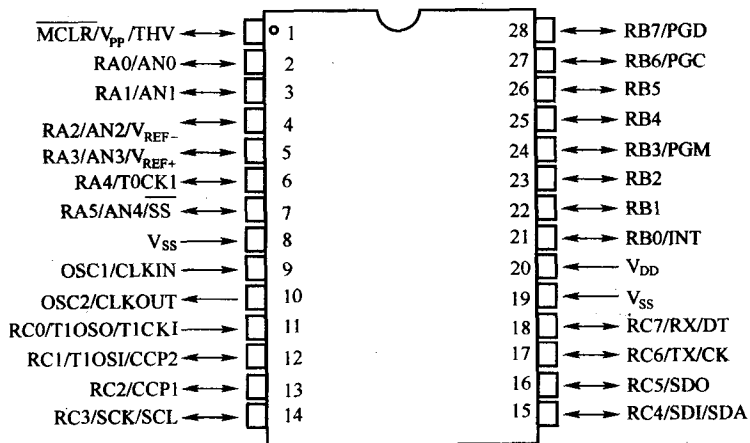


(b) PIC16F877/874 PLCC封装





(c) PIC16F877/874 QFP封装



(d) PIC16F876/873 PDIP和SOIC封装

图 1.2 PIC16F87x 单片机的封装与引脚图

### 1.2.2 引脚功能

PIC 单片机的引脚除了电源和地之外，大部分都具有多功能性，可以通过内部寄存器来设置。端口的输入/输出特性，可以通过软件由方向寄存器设置。