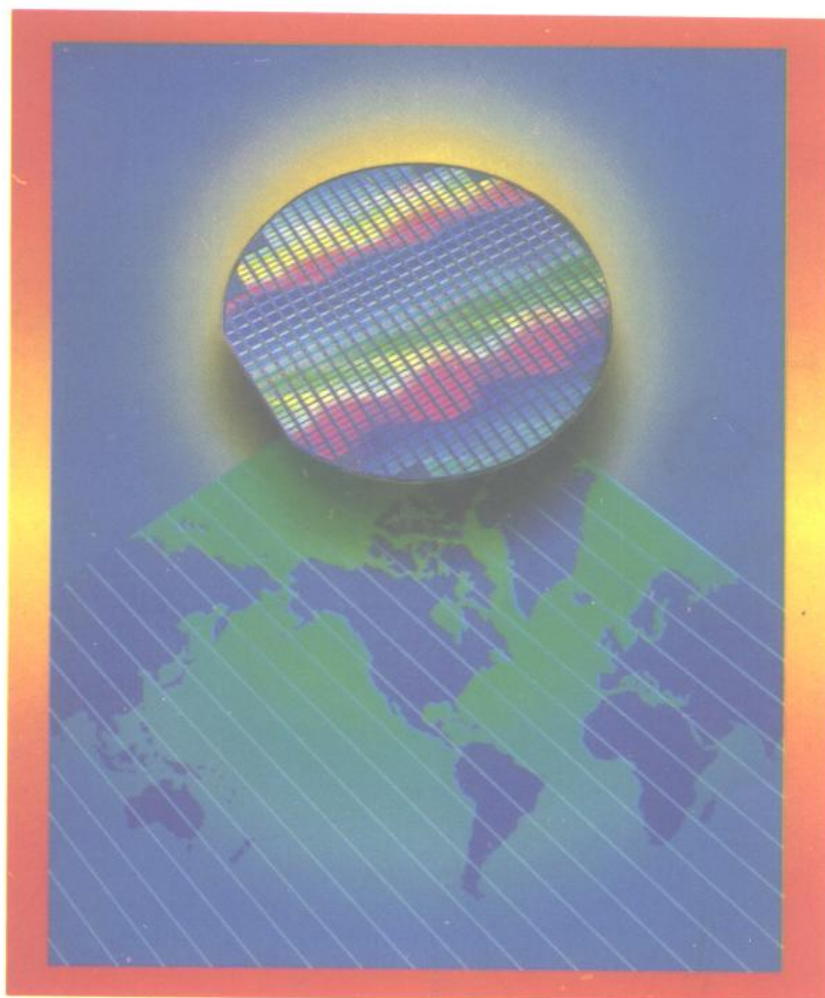


PIC 16/17

单片机原理和应用

蔡纯洁 邢 武 编



中国科学技术大学出版社

PIC16/17

单片机原理和应用

蔡纯洁 邢 武 编

中国科学技术大学出版社

1997·合肥

内 容 简 介

本书系统介绍了 PIC 系列单片机的硬件结构、特殊功能部件和指令系统,同时介绍了单片机的程序设计方法和开发工具,并结合实际应用给出了相应的应用程序。

内容包括 PIC16C5X, PIC16C62X, PIC16C6X, PIC16C7X, PIC16C8X, PIC17C4X 等。本书是国内第一部系统介绍 PIC 系列单片机的图书,内容全面,选材颇新,适合工业自动化、仪器仪表和计算机应用等方面的工程技术人员使用。

责任编辑:黄 德 金 革

封面设计:王瑞荣

JS283/06

图书在版编目(CIP)数据

PIC16/17 单片机原理和应用/蔡纯洁 邢武 编。

——合肥:中国科学技术大学出版社,1997 年 4 月

ISBN 7-312-00872-0

- I PIC16/17 单片机原理和应用
- II 蔡纯洁 邢武
- III ①单片机 ②PIC ③原理 ④应用
- IV TP

中国科学技术大学出版社出版发行
(安徽省合肥市金寨路 96 号,邮编:230026)
中国科学技术大学印刷厂印刷
全国新华书店经销

开本:787×1092/16 印张:29 字数:690 千
1997 年 4 月第 1 版 1997 年 4 月第 1 次印刷
印数:1—3500 册

ISBN 7-312-00872-0/TP·164 定价:38.00 元

2218840

序 言

随着 IC 技术的日益精进,单片机的功能及应用范围已更加广泛,几乎在我们的生活范围,举凡各类家用电器、仪表、玩具、工业控制、电脑及其周边产品,乃至军事科技,到处都可看到单片机的应用范例,由于使用量日趋庞大,使它的价格也相对更有竞争性,因此吸引了越来越多的 IC 厂家竞相投入这类产品的开发、生产。

一般而言,单片机都有其共同的限制:

- 需要开掩膜及开掩膜费
- 需要 4~8 周的打样时间
- 需要约三个月的订货时间
- 有最少数量的限制

包含原来的设计时间,一个产品至少须要 6 个月以上的时间才能开发上市。对于一个瞬息万变的电子市场,6 个月的时间确实太长,并且容易丧失商机,造成产品更大的风险。

现在 Microchip 提出 16C5X、16C6X、16C7X、16C8X、17C4X 系列的 OTP (ONE TIME PROGRAMABLE) 产品,并且在适中的价位推出,使得生产厂商在设计完成后,可在样品、产量各阶段均可随时买到需要的 OTP 产品,因此 OTP 产品与 Mask Type 有几乎相同的性能、价格,没有任何等待的时间,也不须担心软件的修改造成库存的积压,另外 Microchip 的 OTP 有以下特点:

- 一个易学、易懂的单片机
- 一个简单而容易使用的单片机
- 一个耗电量微小的单片机
- 一个使用精简指令(RISC)的单片机

本书深入浅出、循序渐进地介绍了 PIC 单片机的原理及应用实例,另外还介绍了单片机的开发工具,这必将有助于更多的工程师、科研人员以及大专院校的教师开发、应用 PIC 单片机。

同时为了使您能具有系统的研习相关方面的知识,我们列出各种阅读的順序,以减少您研读的时间,并能获得完整、相关的知识。

MICROCHIP 大中华区总经理
E. H. CHEN

前 言

单片机进入国内已有相当时日,但其应用方式仍以带片外 EPROM 程序存储器的所谓“单片机最小系统”最为普遍,甚至有以价格为代价使用紫外线擦除型芯片做产品的,这都不能算真正意义上的商业应用。究其原因,一是用户对单片机种类的选择余地太小,另一个重要因素是掩膜困难。做掩膜首先需要一定的定制数量,一次性投资很大,如需修改又要重新投资;再者做掩膜需要几个月的定货周期,这在瞬息万变的电子产品市场上风险很大。因此,PIC 系列单片机一进入国内就受到热烈欢迎。

PIC 系列单片机以一次性可编程(OTP)芯片为主,其生产厂商 Microchip 公司重视 OTP 产品的价格,并能为用户保证充足的货源,包括通过代理商向用户提供零散供货。由于 PIC 的 OTP 芯片价格和掩膜型价格相差无几,使得少量多样和大批量生产之间已无明显界限。PIC 单片机不搞单纯的功能堆积,而是从实际出发,重视产品的性价比,以发展多种型号来满足不同层次用户的需要。设计人员再也无需将主要精力花费在重复性的系统扩展上,而把精力放在那些更具创造性的工作上。

Microchip 公司可提供或推荐 PIC 单片机的仿真开发系统及编程器。国内有关公司经过多年努力,已成功地开发了相应的开发工具,因其价格较低,更适合国内用户。本书介绍的是福州高尔齐电子贸易有限公司生产的仿真器及编程器。

由于本书包含芯片种类甚多,因此不可能对每种芯片都作完整详尽的叙述,为使读者更快、更好地阅读本书,根据不同的使用对象,我们推荐几种阅读顺序:

PIC16C5X:绪篇→第一篇→第四篇

PIC16C62X:绪篇→第五章→第六章→第四篇

PIC16C6X:绪篇→第五章→第七章→第六章(5~8、12~15 小节)→第四篇

PIC16C6X:绪篇→第五章→第八章→第六章(5~8、12~15 小节)→第四篇

PIC16C8X:绪篇→第五章→第九章→第六章(5~8、12~15 小节)→第四篇

PIC17CXX:绪篇→第三篇→第四篇

当然,我们希望读者能完整地阅读本书。

本书承蒙美国 Microchip 公司大中华区经理 E. H. CHEN 先生作序,福州高尔齐电子贸易有限公司杨维坚先生提供了大量的资料,并对本书的完成给予了很大的帮助,笔者在此对他们致以衷心的感谢。同时,笔者还要向本书所借鉴和引用的参考文献的作者深表谢意。

本书由蔡纯洁、邢武编写,由于学识和水平所限,书中不当、错误之处,恳请读者批评指正。

作 者

1996 年 4 月于合肥

目 录

绪 篇

第一章 PIC16/17 单片机概述	2
1.1 PIC16/17 单片机特点	2
1.2 PIC 单片机分类	3

第一篇 PIC16C5X 单片机

第二章 PIC16C5X 体系结构	8
2.1 PIC16C5X 单片机概况及应用	8
2.2 型号介绍	8
2.3 主要性能特点	9
2.4 PIC16C5X 单片机引脚描述	10
2.5 内部结构	12
2.6 时钟/指令时序	13
2.7 程序存储器、程序计数器(PC)及堆栈	14
2.8 数据存储器	17
2.9 算术逻辑运算单元 ALU 和工作寄存器 W	19
2.10 状态寄存器(STATUS(F3))	19
2.11 文件选择寄存器(FSR)F4 和间址寄存器 INDF(F0)	22
2.12 OPTION 寄存器(预分频/TMR0 选择寄存器)	23
2.13 输入/输出(I/O)	24
2.14 实时定时/计数器(TMR0(F1))	26
2.15 预分频器(Prescaler)	28
2.16 监视定时器	29
2.17 配置 EPROM	31
2.18 振荡电路	32
2.19 复位	34
2.20 低功耗方式 SLEEP	39
第三章 PIC16C5X 指令系统与程序设计基础	40
3.1 指令系统概述	40
3.2 寻址方式	42
3.3 指令系统	43

3.4	程序设计初步	52
3.5	算术运算子程序	59
第四章	PIC16C5X 系统扩展及应用设计	71
4.1	I/O 扩展	71
4.2	LED 显示接口	73
4.3	LCD 显示扩展	77
4.4	键盘接口	80
4.5	PIC16C5X 单片机系统低功耗设计方法	82
4.6	欧姆表与温度检测器	86
4.7	I ² C 总线接口	91
4.8	PIC16C5X 中断技术	96

第二篇 PIC16CXX 单片机

第五章	PIC16CXX	103
5.1	概述	103
5.2	PIC16CXX 指令系统	106
第六章	PIC16C62X	115
6.1	PIC16C62X 单片机概述	115
6.2	主要性能特点	115
6.3	引脚说明	116
6.4	内部结构	117
6.5	程序存储器、程序计数器及堆栈	118
6.6	数据存储器	120
6.7	I/O 端口	127
6.8	定时器模块 TMR0	131
6.9	比较器模块(COMPARETOR MODULE)	135
6.10	参考电压(VOLTAGE REFERENCE)模块	141
6.11	配置位	143
6.12	振荡电路	144
6.13	复位	146
6.14	电源上电复位、上电定时器、振荡启动定时器和降压复位	148
6.15	中断	152
6.16	监视定时器 WDT	154
6.17	低功耗方式 SLEEP	156
第七章	PIC16C6X 单片机系列	157
7.1	概述	157
7.2	存储器结构	165

7.3	I/O 口	178
7.4	定时器模块	185
7.5	捕捉器/比较器/PWM (CCP 模块)	189
7.6	同步串行口 (SSP)	204
7.7	串口通讯 (SCI) 模式	216
7.8	CPU 特性	234
7.9	PIC16C62 特性	240
7.10	PIC16C63 特性	242
第八章	PIC16C7X 单片机系列	243
8.1	概述	243
8.2	存储器结构	254
8.3	I/O 口	267
8.4	定时器模块	267
8.5	捕捉器/比较器/PWM 模块	267
8.6	串口 (SPI/I ² C, SCI)	278
8.7	中断	278
8.8	A/D 转换	282
8.9	CPU 特性	302
第九章	PIC16C8X 单片机	307
9.1	概述	307
9.2	主要功能特点	307
9.3	引脚说明	309
9.4	PIC16C8X 内部结构	309
9.5	程序存储器、程序计数器及堆栈	310
9.6	数据存储器	312
9.7	I/O 端口	315
9.8	定时/计数器 0 (TMR0) 模块	318
9.9	EEPROM 数据存储器	318
9.10	配置 EPROM	321
9.11	振荡电路	322
9.12	复位	324
9.13	中断系统	325
9.14	监视定时器 WDT	327
9.15	低功耗方式 SLEEP	327

第三篇 PIC17CXX

第十章	PIC17C4X 单片机系列	330
------------	-----------------------------	------------

10.1	概述	330
10.2	复位	336
10.3	中断	340
10.4	存储器结构	345
10.5	乘法器	354
10.6	I/O 口	357
10.7	定时器(TMR0)	362
10.8	TMR1、TMR2、TMR3、PWM 和捕捉器	364
10.9	串行通讯外设 SCI 模式	373
10.10	CPU 特性	382
10.11	指令系统	384

第四篇 PICRICE 通用开发系统

第十一章	RASM 交叉宏汇编使用说明	412
11.1	交叉宏汇编概论	412
11.2	RASM 的启动及生成文件	413
11.3	源代码语名格式	414
11.4	伪指令	415
11.5	错误信息	420
第十二章	PICRICE 通用实时在线仿真器	423
12.1	系统功能	423
12.2	系统结构	426
12.3	准备启动	427
12.4	屏幕显示及功能热键	428
12.5	调试命令	433
12.6	主菜单及其功能	439
12.7	错误信息	444
12.8	PICRICE 仿真器对应用系统的调试	446
第十三章	软件仿真器 SRICE	448
第十四章	PIC16/17 通用编程器 PICALL	449
14.1	简介	449
14.2	安装说明	449
14.3	PICALL 的使用	450
参考文献		455

绪 篇

第一章 PIC16/17 单片机概述

1.1 PIC16/17 单片机特点

美国 Microchip 公司的大规模 CMOS 工艺闻名于世,其推出的 PIC 系列单片机深受市场的欢迎,体现了单片机的新趋势。它实用、低价、易学、省电、高速等,至今已有两亿片以上的销售量,应用领域遍及家电、电脑外设、办公室设备、汽车电子、通讯等。为便于读者更好地阅读本书,本章对 PIC16/17 单片机的全貌作一概括性叙述。

一、OTP 型产品

单片机产品以 OTP 型为主, Microchip 首创的 OTP 型单片机一经推出就受到市场的青睐,并得到业内同行的认同, NS、SGS、Motorola、Zilog 现都在大力发展其 OTP 型产品。OTP 型产品至少有下列优点。

1. 价格低廉,和掩膜型相当接近。
2. 产品上市零等待,程序代码完成后即可迅速上市。
3. 程序代码用户化,修改方便。
4. 货源充足,小批量及零散用户也可及时得到供应,而不象掩膜需要一定的定制数量。

二、RISC 技术

哈佛结构,程序存储器和数据存储器总线相互独立,采用长字指令 (Long Word Instruction),所有指令都为单字长。

相对小的指令集合和相对少的寻址方式,使用固定的指令格式,大多数指令在一个指令周期内执行。

指令流水线结构,取指令和执行指令可以重叠进行,效率较高。

文件寄存器概念,特殊功能寄存器和通用寄存器采用相同的寻址方式。

由于上述特点, PIC 单片机较 CISC 结构单片机可节省一半以上的程序空间和两倍以上执行速度。

三、CMOS 工艺

高速。PIC17C4X 单片机指令周期可达到 160ns; PIC16CXX 可达 200ns。

工作电压范围宽,一般可从 2.5V~6.25V。不同型号略有差别。

低功耗。正常运行时为 2mA,电压和工作频率降低时,功耗更低。PIC 单片机更提供一种低功耗睡眠方式。此时,电流可降至 3 μ A 以下。

I/O 口具有全 CMOS 输出驱动能力,减少用户使用外部驱动芯片,可直接驱动 LED 显示。

四、信息交换方式增多

将模拟功能集成到片内,如 PIC16C62X 有模拟比较器、PIC16C7X 的 A/D 转换器以及 PWM 输出。多功能定时器,除普遍结构的定时/计数器外,还提供了监视定时器 WDT,可有效检测由于干扰引起的软件“跑飞”现象,自动复位 CPU,恢复程序运行。某些型号具有的捕捉/比较模块与标准的定时/计数器相比,可提供更准确的定时,减少软件干预,并提供多种工作方式,提高 I/O 速度,以最快的速度读取外部事件或触发外部设备。采用新型串行总线接口,如 I²C、SPI 总线,使得扩展连线大为减少。串行通讯接口 SCI/USART 为与上位机通讯和构成网络系统提供了方便条件。

五、芯片配置可选择

PIC 单片机的配置 EPROM 可由用户根据实际需要加以编程,以选择不同的振荡方式、WDT 使能/禁止、PWRT 使能/禁止、BOD 使能/禁止、程序代码加密等。值得一提的是,PIC 芯片内部具有上电复位电路,绝大多数应用场合下不需要外接复位电路。

1.2 PIC 单片机分类

按照习惯,PIC 单片机可分为三大类:

1. PIC16C5X
2. PIC16CXX(除 PIC16C5X 以外所有以 PIC16C 开头的芯片)
3. PIC17CXX

其组成如表 1-1 所示。

一、PIC16C5X 单片机

PIC16C5X 为 PIC 家族中的低档产品,因其价格较低,且有较完善的开发手段,因此在国内应用最为广泛。它有以下特点。

1. 指令字长 12 位,程序存储器分页寻址,0.5K 为一页。
2. 无中断功能,堆栈为 2 级。
3. 33 条单字指令。
4. OPTION、TRIS 寄存器不可寻址。

5. 复位向量指向程序存储器最低部。

表 1-1 PIC16/17 单片机一览表

	类 别	结 构 特 点	名 称	工 艺	型 号
PIC16C5X	低档 8 位 单片机	• 12 位字长指令 • 20MHz 时钟 • 指令周期 200ns	PIC16C5X PIC16C5XA	OTP 型程序 存储器	PIC16C54 PIC16C54A PIC16C55 PIC16C56 PIC16C57 PIC16C58A
			PIC16CR5X PIC16CR5XA	ROM 型程序 存储器	PIC16CR54 PIC16CR57A PIC16CR58A
PIC16C6X	中档 8 位 单片机	• 14 位字长指令 • 内部/外部中断 • 20MHz 时钟 • 指令周期 200ns	PIC16C6X	OTP 型程序 存储器	PIC16C61 PIC16C62 PIC16C63 PIC16C64 PIC16C65
			PIC16C62X	OTP 型程序 存储器	PIC16C620 PIC16C621 PIC16C622
			PIC16C7X	OTP 型程序 存储器	PIC16C70 PIC16C71 PIC17C71A PIC16C72 PIC16C73 PIC16C73A PIC16C74 PIC16C74A
			PIC16C8X	EEPROM 程序存储器 数据存储器	PIC16C83 PIC16C84 PIC16C84A
			PIC16CR8X	ROM 程序存 储器 EEPROM 数据 存储器	PIC16CR83 PIC16CR84
17CXX	高档 8 位 单片机	• 16 位字长指令 • 内部/外部中断 • 25MHz 时钟 • 指令周期 160ns	PIC17C4X	OTP 型程序 存储器	PIC17C42 PIC17C43 PIC17C44

本书第一篇详细描述了 PIC16C5X 单片机的原理及应用。该篇中的 I/O 口、TMR0、

WDT、OSC、外接复位等内容对学习后面各器件有相当参考意义。

二、PIC16CXX 单片机

PIC16CXX 单片机是 Microchip 公司近来重点发展的系列产品,目前由以下系列组成:

PIC16C62X

PIC16C6X

PIC16C7X

PIC16C8X

计划推出的还有带 LCD 显示驱动 PIC16C9XX 系列。

PIC16CXX 较 PIC16C5X 提高之处在于:

1. 指令字长提高到 14 位,程序存储器页面寻址范围为 2K,寄存器寻址以 128 字节为一页。
2. 增加了中断功能,中断向量为 0004h。
3. 堆栈加深到 8 级。
4. 复位向量改为 000h。
5. 对寄存器的复位做了改进,可以识别 6 种不同的复位(或唤醒)类型。
6. 通过中断可将芯片从睡眠方式中唤醒。
7. 增加了一独立的“上电定时器”PWRT,以保障可靠的上电复位过程。
8. 增加了降压检测功能,提高了稳定性。
9. T0CKI 引脚也可做为一般 I/O 脚(RA4)。
10. 端口 B 具有可编程上接电阻,并增加了电平变化引起中断的能力。
11. OPTION、TRIS 变得可寻址。

PIC16CXX 家族各系列都有独特之处。

PIC16C6X: I²C 总线、SPI 总线、CCP 模块

PIC16C62X: 模拟比较器、参考电压模块

PIC16C7X: A/D 转换、CCP 模块、I²C 总线、SPI 总线

PIC16C8X: EEPROM 程序存储器和数据存储器。

作为同一家族成员,PIC16CXX 中所有芯片都具有相当多的共同(或相近)之处。如 TMR0 模块、RB 口、WDT、SLEEP、振荡方式选择、复位、寻址方式等。

在本书第二篇 PIC16CXX 单片机中,限于篇幅,不可能对每种型号都做详细介绍,在前面已介绍的部分,后面有关章节只做功能性描述。读者应首先了解 PIC16CXX 中各系列产品的特点,相同之处的详细说明则需参考前面有关内容。

三、PIC17CXX

PIC17CXX 是 PIC 的高档产品,目前仅有一个 PIC17C4X 系列,共三种产品 PIC17C42、PIC17C43、PIC17C44。其特点如下:

1. 58 条单字指令

2. 指令字长 16 位
3. 硬件乘法器(PIC16C73/74)
4. 四种程序存储器方式
5. 程序存储器寻址可达 64K。
6. 硬件堆栈增加到 16 级。
7. 四个定时/计数器。
8. 两个 16 位捕捉器,分辨率 160ns。
9. 两个 10 位 PWM 输出。
10. 时钟频率提高 25MHz,指令周期为 160ns。

PIC17CXX 适合高级复杂系统的开发,如马达控制、音调合成等。本书第三篇对 PIC17CXX 做了详细说明。

第一篇 PIC16C5X 单片机

第二章 PIC16C5X 体系结构

美国 Microchip 公司推出的 PIC16C5X 单片机是一个较为优秀的单片机系列, 它的很大优点表现在引脚少, 功能好, 可带 LED 负载, 具有低功耗工作方式等。在这一章中, 介绍这个系列单片机的性能特点和有关型号, 同时也简要介绍这个系列的特殊器件和有关应用情况。

2.1 PIC16C5X 概况及应用

一、概 况

PIC16C5X 是由 Microchip 公司开发的系列 CMOS 单片机。它具有低功耗、高性能、全静态等特点。它采用 RISC 技术, 只有 33 条单字指令。除了跳转指令需要 2 个指令周期外, 其余指令均为单周期, 每条指令的执行时间最快可达 200ns。PIC16C5X 在价格接近时比其它公司单片机性能要高。指令字长 12 位, 且高度对称, 从而比同类的 8 位单片机压缩了一半以上的程序量。这种易于使用和记忆的指令系统可大大减少其开发时间。

PIC16C5X 系列产品是作为减少系统价格和功率而设计的特殊单片机。它的上电复位和器件复位定时器能有效减少对外部复位电路的依赖。有 4 种振荡器方式可选, 包括省电 LP 振荡器及廉价 RC 振荡器。省电的 SLEEP 方式, 监视定时器 WDT 及代码保护等特点改善了系统价格、功耗和可靠性, 使得 PIC16C5X 成为一种较为理想的商用单片机。

二、应 用

PIC16C5X 有广阔的应用范围, 包括从高速汽车、实用马达控制到低功率的遥控器、定时设备、电信设备等。EPROM 技术使应用程序用户化, 其小型引脚封装和外形装配使其方便应用于各种空间有限的场合。低价格、低功率、高性能、易使用及 I/O 编程灵活使 PIC16C5X 系列获得广泛的应用, 甚至在以前没有考虑使用单片机的领域, 例如大系统的逻辑置换, 协处理器中也得到应用。另外, PIC16C5X 系列具有较高的性价比, 使其在民用品应用中受到广泛青睐。

2.2 型号介绍

表 2-1 展示了 PIC16C5X 全系列器件, 各型号间的差别体现在程序存储器、数据存储器